

Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин,  
В.П. Иванов, В.М. Константинов

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

## СПРАВОЧНИК

*Под редакцией д-ра техн. наук  
проф. В.П. Иванова*



МОСКВА

МАШИНОСТРОЕНИЕ" 2003

**УДК 631.3004.67(075.8)**

**ББК 30.83**

**В76**

**Рецензент проф. А.Г. Схиртладзе**

**В76**      **Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Панте-**  
**леенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов; Под ред.**  
**В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с., ил.**

Определены значение процесса восстановления деталей машин в структуре ремонтного производства, содержание процесса восстановления деталей и системы средств технологического оснащения. Приведены способы и средства для очистки деталей от эксплуатационных и технологических загрязнений, а также для определения состояния ремонтных деталей.

Даны ремонтные материалы и рекомендации по их выбору; описаны технологии нанесения покрытий при создании ремонтных заготовок различными способами и определены рациональные области их применения.

Комплексно рассмотрены процессы механической, термической и химико-термической обработки деталей с целью восстановления их основных свойств и технологии ремонта типовых деталей.

Обоснованы содержание и объемы организационной и технологической подготовки ремонтного производства.

Для специалистов ремонтно-восстановительного производства, преподавателей и студентов высших и средних учебных заведений.

**УДК 631.3004.67(075.8)**

**ББК 30.83**

**ISBN 5-217-03188-3**

**© Издательство «Машиностроение», 2003**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>11</b>
<b>Глава 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДСТВА ПО ВОССТА-</b> <b>НОВЛЕНИЮ ДЕТАЛЕЙ .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1. Характеристика восстанавливаемых деталей .....</b>	<b>14</b>
1.1.1. Определение детали и ее состояний .....	14
1.1.2. Классификация деталей и их элементов .....	15
1.1.3. Причины достижения деталями предельного со-	
стояния .....	21
<b>1.2. Содержание процесса восстановления деталей .....</b>	<b>26</b>
1.2.1. Технические требования к восстановленным дета-	
лям .....	26
1.2.2. Структура процесса восстановления деталей .....	26
<b>1.3. Место восстановительного производства в техноло-</b> <b>гии ремонта машин .....</b>	<b>31</b>
1.3.1. Ремонт машин в системе содержания их в исправ-	
ном состоянии .....	31
1.3.2. Определение понятий «восстановление» и «уп-	
рочнение» деталей .....	32
1.3.3. Восстановление деталей в процессе ремонта ма-	
шин .....	35
<b>1.4. Состав и особенности восстановительного производ-</b> <b>ства .....</b>	<b>36</b>
1.4.1. Определение восстановительного производства,	
его цель и задачи .....	36
1.4.2. Отличительные признаки и особенности восстано-	
вительного производства .....	37
1.4.3. Структура восстановительного производства .....	37
1.4.4. Виды восстановительных производств .....	40
<b>1.5. Система средств технологического оснащения вос-</b> <b>становительного производства .....</b>	<b>41</b>
1.5.1. Состав, назначение и характеристика средств	
технологического оснащения .....	41
1.5.2. Классификация средств технологического осна-	
щения .....	44

1.5.3. Система создания средств технологического оснащения .....	47
1.5.4. Структурный синтез исполнительных агрегатов (модулей) средств технологического оснащения ..	51
1.5.5. Параметрический синтез рядов исполнительных агрегатов .....	62
1.5.6. Система исполнительных агрегатов технологических машин .....	69
1.5.7. Компонование технологических машин .....	74
1.5.8. Порядок заказа и приобретения специального оборудования .....	78
1.6. Роль восстановительного производства в обеспечении качества и сбережении ресурсов при ремонте машин .....	79
1.6.1. Показатели качества восстановления детали .....	79
1.6.2. Источники экономической эффективности восстановительного производства .....	82
<b>Глава 2. ИСХОДНЫЕ ЗАГОТОВКИ РЕМОНТА .....</b>	<b>87</b>
2.1. Очистка деталей .....	87
2.1.1. Классификация и свойства загрязнений .....	87
2.1.2. Физические основы очистки поверхностей деталей от загрязнений .....	92
2.1.3. Очистные технологические среды .....	97
Органические растворители .....	97
Растворяюще-эмульгирующие средства .....	99
Очистные среды на основе растворов щелочных веществ и ПАВ .....	100
Твердые очистные среды, расплавы, кислоты и щелочи .....	105
2.1.4. Процессы и средства очистки деталей .....	105
Схема процесса очистки .....	105
Очистное оборудование и его характеристика .....	106
Контроль качества очистки деталей .....	115
2.2. Определение технического состояния исходных заготовок и их сортировка .....	116
2.2.1. Виды и классификация повреждений .....	117
2.2.2. Процессы и средства для определения повреждений .....	117
2.2.3. Организация работ .....	129
2.2.4. Определение остаточного ресурса деталей .....	131



2.2.5. Обеспечение сохранности деталей при разборке агрегатов .....	133
2.2.6. Формирование маршрутов восстановления и партий деталей .....	133
	136
<b>Глава 3. РЕМОНТНЫЕ ЗАГОТОВКИ .....</b>	<b>136</b>
<b>3.1. Виды и применение способов создания ремонтных заготовок .....</b>	<b>136</b>
3.1.1. Определение и назначение ремонтных заготовок ..	136
3.1.2. Классификация и общая характеристика способов создания ремонтных заготовок .....	138
<b>3.2. Материалы .....</b>	<b>143</b>
3.2.1. Общая характеристика материалов .....	143
3.2.2. Выбор материалов для восстановления деталей ...	149
3.2.3. Металлическая проволока и лента .....	168
3.2.4. Штучные электроды и прутки .....	169
3.2.5. Порошки .....	189
3.2.6. Порошковая проволока, ленты и шнуры .....	213
<b>3.3. Источники тепла в процессах нанесения покрытий ..</b>	<b>230</b>
3.3.1. Распределение источников тепла по удельной тепловой мощности .....	230
3.3.2. Газовое пламя .....	231
3.3.3. Электрическая дуга .....	233
3.3.4. Плазма .....	237
3.3.5. Индукционный нагрев .....	239
3.3.6. Искровой разряд .....	239
3.3.7. Электронный луч .....	240
3.3.8. Лазерное излучение .....	240
3.3.9. Процессы трения .....	241
3.3.10. Нагрев от прохождения электрического тока ...	241
<b>3.4. Сварка в процессах создания ремонтных заготовок ..</b>	<b>241</b>
3.4.1. Определение и классификация видов сварки .....	241
3.4.2. Характеристика сварки металлов .....	242
3.4.3. Газовая сварка .....	244
3.4.4. Электродуговая сварка .....	248
3.4.5. Прогрессивные виды сварки .....	262
3.4.6. Особенности сварки деталей из различных материалов .....	265
<b>3.5. Наплавка покрытий .....</b>	<b>271</b>
3.5.1. Определение и общая характеристика способа ...	271
3.5.2. Подготовка материалов и заготовок к наплавке ...	273

3.5.3. Классификация и применение электродуговой наплавки .....	274
3.5.4. Технологические особенности и расчеты электродуговой наплавки .....	275
3.5.5. Ручная электродуговая наплавка .....	279
3.5.6. Электродуговая наплавка под слоем флюса .....	280
3.5.7. Электрошлаковая наплавка .....	290
3.5.8. Наплавка в среде защитного газа .....	292
3.5.9. Наплавка открытой дугой самозащитными материалами .....	297
3.5.10. Вибродуговая наплавка .....	298
3.5.11. Импульсно-дуговая наплавка .....	302
3.5.12. Плазменная наплавка .....	302
3.5.13. Электромагнитная наплавка .....	311
3.5.14. Лазерная наплавка .....	312
3.5.15. Электронно-лучевая наплавка .....	316
3.5.16. Индукционная наплавка .....	318
3.5.17. Наплавка намоуживанием .....	322
3.5.18. Газовая наплавка .....	324
3.6. Электроконтактная приварка металлического слоя ..	326
3.6.1. Сущность и классификация видов способа .....	326
3.6.2. Материалы и технологии .....	328
3.6.3. Оборудование для электроконтактной приварки металлического слоя .....	334
3.7. Напыление материала .....	337
3.7.1. Классификация и характеристика видов напыления .....	337
3.7.2. Технологический процесс напыления .....	341
3.7.3. Электродуговое напыление .....	347
3.7.4. Газопламенное напыление .....	354
3.7.5. Плазменное напыление .....	358
3.7.6. Детонационное напыление .....	366
3.7.7. Индукционное напыление .....	371
3.7.8. Вакуумное конденсационное напыление .....	372
3.7.9. Упрочняющая обработка напыленных покрытий ..	378
3.8. Электроискровая обработка в процессах восстановления деталей .....	379
3.8.1. Сущность процесса .....	379
3.8.2. Применение электроискровой обработки в процессах восстановления деталей .....	380
3.8.3. Материалы .....	384

3.8.4. Оборудование .....	384
<b>3.9. Установка и закрепление дополнительных ремонтных деталей .....</b>	<b>385</b>
3.9.1. Характеристика и классификация видов способа .....	385
3.9.2. Механическое закрепление дополнительных ремонтных деталей .....	386
3.9.3. Закрепление дополнительных ремонтных деталей сваркой, пайкой и клеем .....	389
3.9.4. Вставки, стяжки .....	390
<b>3.10. Пластическое деформирование материала .....</b>	<b>393</b>
3.10.1. Область применения и особенности способа .....	394
3.10.2. Восстановление размеров деталей .....	395
3.10.3. Восстановление формы .....	401
3.10.4. Упрочнение поверхностей .....	402
<b>3.11. Электролиз в процессах создания ремонтных заготовок .....</b>	<b>406</b>
3.11.1. Определения, область применения и технологические расчеты процесса электролиза .....	406
3.11.2. Классификация способов нанесения электрохимических покрытий .....	411
3.11.3. Технологический процесс и оборудование для нанесения покрытий .....	412
3.11.4. Основы электрокристаллизации и кинетика осаждения покрытий .....	420
3.11.5. Железнение .....	424
3.11.6. Хромирование .....	426
3.11.7. Цинкование .....	428
3.11.8. Гальванические композиционные покрытия .....	429
3.11.9. Микродуговое оксидирование .....	430
3.11.10. Средства интенсификации процессов нанесения покрытий .....	431
3.11.11. Свойства гальванических покрытий .....	437
3.11.12. Обезвреживание отходов гальванического производства .....	439
<b>3.12. Нанесение покрытий химическим способом .....</b>	<b>441</b>
3.12.1. Нанесение металлических покрытий .....	441
3.12.2. Нанесение неметаллических покрытий .....	443
<b>3.13. Технико-экономический анализ способов создания ремонтных заготовок .....</b>	<b>448</b>
3.13.1. Структура затрат на создание ремонтных заготовок .....	448

3.13.2. Анализ затрат на создание ремонтных заготовок .	449
3.13.3. Области применения ремонтных заготовок различных видов . . . . .	454
<b>Глава 4. МЕХАНИЧЕСКАЯ, ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА В ПРОЦЕССАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ . . . . .</b>	<b>456</b>
4.1. Задачи и особенности механической обработки восстанавливаемых деталей . . . . .	456
4.2. Технологические базы в процессах механической обработки восстанавливаемых деталей: назначение, применение и смена . . . . .	458
4.3. Лезвийная обработка . . . . .	465
4.4. Абразивная обработка . . . . .	469
4.5. Смазывающе-охлаждающие жидкости при механической обработке . . . . .	476
4.6. Измерение линейных величин . . . . .	478
4.7. Упрочнение при механической обработке . . . . .	484
4.8. Термическая и химико-термическая обработка в процессах восстановления деталей . . . . .	485
4.8.1. Задачи и особенности термической и химико-термической обработки восстанавливаемых деталей . . . . .	485
4.8.2. Термическая обработка в процессах восстановления деталей . . . . .	498
4.8.3. Химико-термическая обработка в процессах восстановления деталей . . . . .	507
4.9. Термическое оборудование . . . . .	507
<b>Глава 5. ВОССТАНОВЛЕНИЕ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ . . . . .</b>	<b>511</b>
5.1. Восстановление размеров, расположения, формы и шероховатости рабочих поверхностей . . . . .	511
5.1.1. Восстановление расположения и формы поверхностей . . . . .	511
5.1.2. Восстановление размеров поверхностей . . . . .	512
5.1.3. Восстановление шероховатости поверхностей . . . . .	517
5.2. Восстановление износостойкости трущихся элементов . . . . .	520
5.3. Восстановление прочности деталей и герметичности их стенок и стыков . . . . .	527
5.3.1. Восстановление прочности материала деталей . . . . .	527

5.3.2. Устранение трещин и пробоин в стенках детали . .	527
5.3.3. Клеевые композиции . . . . .	533
5.3.4. Уплотнение стыков . . . . .	535
<b>5.4. Восстановление усталостной прочности элементов детали . . . . .</b>	<b>537</b>
<b>5.5. Восстановление жесткости деталей . . . . .</b>	<b>542</b>
5.5.1. Содержание процесса восстановления жесткости .	542
5.5.2. Способы восстановления жесткости . . . . .	544
<b>5.6. Восстановление массы детали и ее распределения относительно осей вращения и инерции . . . . .</b>	<b>546</b>
5.6.1. Восстановление массы деталей . . . . .	546
5.6.2. Восстановление распределения массы деталей относительно осей вращения и инерции . . . . .	547
<b>5.7. Основы упрочнения элементов восстанавливаемых деталей . . . . .</b>	<b>553</b>
 <b>Глава 6. ВЫБОР ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УНИФИКАЦИЯ . . . . .</b>	 <b>557</b>
<b>6.1. Выбор и оптимизация способа восстановления детали . . . . .</b>	<b>557</b>
6.1.1. Критерий оптимизации при технологическом проектировании . . . . .	557
6.1.2. Постановка и оптимизация задачи выбора способа восстановления детали . . . . .	560
6.1.3. Пример выбора способа восстановления детали . .	565
<b>6.2. Направления технологической унификации процессов восстановления деталей . . . . .</b>	<b>569</b>
6.2.1. Виды технологической унификации . . . . .	569
6.2.2. Типовая и групповая технологии . . . . .	569
6.2.3. Модульная технология . . . . .	570
6.2.4. Технологическая документация . . . . .	571
<b>6.3. Восстановление типовых деталей . . . . .</b>	<b>574</b>
6.3.1. Корпусные детали . . . . .	574
6.3.2. Полые тела вращения . . . . .	577
6.3.3. Валы, оси . . . . .	581
6.3.4. Вкладыши подшипников . . . . .	587
6.3.5. Шатуны, рычаги, коромысла . . . . .	590
6.3.6. Поршни . . . . .	592
6.3.7. Клапаны . . . . .	594
6.3.8. Зубчатые колеса . . . . .	595
6.3.9. Упругие элементы . . . . .	597
6.3.10. Рабочие органы почвотрежущих машин . . . . .	598

---

<b>Глава 7. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ</b> .....	606
<b>7.1. Задачи и принципы организации процессов восстановления деталей</b> .....	606
7.1.1. Содержание организации процессов восстановления деталей .....	606
7.1.2. Организация производства в пространстве .....	608
7.1.3. Организация производства во времени .....	613
7.1.4. Специализация и концентрация производства ....	615
<b>7.2. Централизованное восстановление деталей</b> .....	618
<b>7.3. Организация системы качества восстановления деталей</b> .....	623
7.3.1. Содержание и цель системы качества восстановления деталей .....	624
7.3.2. Принципы функционирования системы качества ..	626
7.3.3. Концепция и политика качества .....	628
7.3.4. Ответственность за качество и полномочия работников .....	630
7.3.5. Управление производственными процессами .....	632
7.3.6. Контроль и проведение испытаний на всех стадиях производства .....	633
7.3.7. Маркирование и прослеживаемость продукции ...	633
7.3.8. Корректирующие и предупреждающие мероприятия .....	635
7.3.9. Аттестация производства .....	637
7.3.10. Организация контроля качества .....	638
<b>7.4. Организация маркетинговой и технологической подготовки восстановительного производства</b> .....	642
7.4.1. Маркетинговые исследования рынка продукции и услуг .....	643
7.4.2. Цель и состав технологической подготовки восстановительного производства .....	645
7.4.3. Планирование технологической подготовки восстановительного производства .....	650
7.4.4. Организация работ .....	653
7.4.5. Контроль исполнения .....	655
<b>Глава 8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	656
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	666
<b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ</b> .....	667

## ВВЕДЕНИЕ

Ограниченные государственные запасы материалов и энергии не позволяют в достаточной мере развивать машиностроение, и с целью сохранения парка машин в работоспособном состоянии требуется развивать и совершенствовать ремонтное производство.

Ремонт машин существует со времени создания их парка как объективная необходимость приведения машин в исправное состояние в перерывах между использованием по назначению. Ремонт состоит в устранении неисправностей и восстановлении ресурса машин, а главная задача ремонтного производства заключается в экономически эффективном восстановлении надежности машин в результате наиболее полного использования остаточной долговечности их деталей.

Ремонтное производство включает в себя заводы по ремонту автомобилей, тракторов, бронетехники, самолетов, судов, тепловозов и экскаваторов, бытовой техники и агрегатов в системе министерств сельского хозяйства и продовольствия, транспорта, обороны и др. По своей мощности, функциям и задачам это производство является крупной отраслью национального хозяйства, которая, по сути, осуществляет вторичное производство машин. В настоящее время в эксплуатации находится больше отремонтированных машин, чем новых.

Научная база ремонта машин создавалась на трудах профессоров В.Э. Вейриха, И.В. Грибова, В.В. Ефремова, В.И. Казарцева, К.Т. Кошкина, В.А. Шадричева и др. Предмет науки о ремонте машин составляют закономерности подготовки и организации производства к ремонту машин, обеспечивающего требуемое качество и заданное количество отремонтированной техники с наименьшими затратами труда, энергии и материалов. Ремонтное производство имеет существенные отличия от машиностроительного производства, что определяет необходимость изучения его специфических процессов, в том числе восстановления свойств, утраченных машинами в течение их длительной эксплуатации.

Основной источник экономической эффективности ремонта заключается в восстановлении изношенных деталей. При восстановлении используют доремонтные материалы и формы деталей. Заготовки ремонта, полученные в результате разборки и очистки машины, значительно де-

шевле заготовок машиностроения, изготовленных в литейном или кузнечно-штамповочном производстве. При восстановлении детали обрабатывают меньшее число поверхностей, что объясняет и меньшую трудоемкость обработки. Обоснованный процесс восстановления обеспечивает получение детали со свойствами, близкими к свойствам новой детали или превосходящими их.

Восстановление изношенных деталей в системе вторичного производства машин является природоохранным и ресурсосберегающим производством. На изготовление, например, одного коленчатого вала автомобильного двигателя с рабочим объемом 4,8 л расходуют 57 кг металла, 183 МДж энергии, масса отходов при этом равна 2,5 кг. При восстановлении эти величины имеют значения, примерно в 20 раз меньше: соответственно 2,6 кг, 9,5 МДж и 0,12 кг.

Большой научный вклад в технологию восстановительного производства внесли В.И. Черноиванов, Е.Л. Воловик, В.А. Какуевецкий, Н.Н. Дорожкин, М.И. Черновол, А.Н. Батищев, В.С. Ивашко, Н.В. Молодык, А.С. Зенкин, В.П. Усков и другие ученые.

Однако послеремонтная наработка техники с восстановленными деталями уступает ее нормативной наработке: она в 1,5...2,5 раза меньше наработки новых изделий. На долю устранения отказов приходится до 60 % общих затрат на поддержание машин в работоспособном состоянии, а наработка на сложный отказ в среднем на 30 % ниже нормативных значений. Эти показатели объясняются тем, что восстановительное производство в количественном и качественном отношении оснащено только на 15...25 % по сравнению с предприятиями по изготовлению машин.

В то же время опыт ремонта самолетов, судов, тепловозов, автомобилей и двигателей силами заводов-изготовителей, а также опыт ремонта машин западными фирмами свидетельствуют о возможности достижения послеремонтной наработки объектов не меньше, чем у новых изделий, при затратах, не превышающих 60 % затрат на их производство. Практика показывает, что научно обоснованные технология и организация восстановления деталей позволяют достичь нормативной наработки техники, а в отдельных случаях и превзойти наработку новых изделий.

*Цель настоящего издания* заключается в обеспечении специалистов восстановительного производства современными сведениями о структуре, задачах, роли и организации этого производства, материалах для нанесения покрытий, внедренных и перспективных способах создания ремонтных заготовок, их термической и механической обработке, выборе способа восстановления детали, основах маркетинговой и технологической подготовки производства к освоению восстановления деталей и ме-



---

тодах создания оборудования и оснастки в собственном вспомогательном производстве.

При написании справочника были использованы опыт работы передовых ремонтных заводов и материалы последних научно-технических конференций на темы восстановления деталей, в том числе в Москве (во Всероссийском НИИ технологии упрочнения, восстановления и изготовления деталей – ВНИИТУВИД «Ремдеталь», 1994, 1997 и 1999 гг.), Киеве (1998–2002 гг.), Санкт-Петербурге (2002 г.), Новополоцке (в Полоцком государственном университете – ПГУ, 1997, 1999 и 2001 гг.), Минске (в Белорусском аграрном техническом университете – БАТУ, 1999 г.), Кишиневе (в Молдавском государственном аграрном университете – МГАУ, 2000 г.), Кировограде (в Кировоградском техническом университете – КТУ, 2001 г.).

Основные термины, включенные в предметный указатель, выделены в тексте курсивом.

## Глава 1

# ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДСТВА ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ДЕТАЛЕЙ

### 1.1. Характеристика восстанавливаемых деталей

#### 1.1.1. *Определение детали и ее состояний*

Машины состоят из первичных неразделяемых элементов – деталей. *Деталь* (по ГОСТ 2.101–68) – это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. К деталям относят также изделия с покрытиями и изделия, полученные с помощью сварки, пайки, склеивания и подобных процессов.

Деталь может пребывать в исправном, неисправном, работоспособном, неработоспособном и предельном состояниях.

В *исправном состоянии* деталь соответствует всем требованиям нормативной, конструкторской или технологической документации, а если деталь не соответствует хотя бы одному из требований этой документации, то она признается *неисправной*.

*Работоспособное* состояние детали такое, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданную функцию, соответствуют требованиям нормативной документации. Если значение хотя бы одного из этих параметров не отвечает требованиям нормативной документации, то деталь признается *неработоспособной*.

*Предельное состояние* детали определяется тем, что ее дальнейшее применение по назначению технически невозможно или экономически нецелесообразно. При достижении предельного состояния деталь может обладать или нет остаточной долговечностью. В первом случае деталь может быть восстановлена, а во втором она отправляется в утиль.

*Примеры состояний* детали, при которых ее восстановление невозможно: 1) необратимые явления усталости; 2) межкристаллитная коррозия металлических материалов; 3) потеря прочности деталей из полимерных материалов в результате старения.

### 1.1.2. Классификация деталей и их элементов

Выделение классификационных групп восстанавливаемых объектов обусловлено цели сокращения объема однотипных работ при технологической и организационной подготовке восстановительного производства путем приведения его к типовому или модульному видам как наиболее прогрессивным в технико-экономическом отношении.

Исследования по классификации деталей в машиностроении базируются на трудах А.П. Соколовского, С.П. Митрофанова, Ф.С. Демьянюка, И.В. Бойцова, Т. Опитцера, Д. Циммермана и других ученых. В ремонтном производстве применяют классификации К.Т. Кошкина и Г.А. Маышева как развитие классификации Ф.С. Демьянюка. В современных работах, где рассматриваются большие массивы объектов, используют формальную логику, теории множеств и распознавания образов, кластерный анализ и др.

При построении классификаций деталей исходят из различных признаков, среди которых: наименование, отраслевая принадлежность, геометрическая форма контура детали, форма отдельных элементов, значения основных параметров, размеры, функции, выполняемые деталью, материал, совокупность операций при изготовлении, показатели точности, шероховатость поверхности, масса, дополнительная информация.

В качестве классификационных признаков выбирают виды рабочих поверхностей деталей, на которых предусматривают припуски для последующей механической обработки с сопутствующей термической обработкой. Рассматриваемое множество деталей представляют матрицей вида

$$\|C_{ij}\| = \begin{vmatrix} F_1 & F_1 & \dots & F_n \\ C_{11} & C_{11} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \vdots & & \dots & \vdots \\ C_{m1} & C_{m1} & \dots & C_{mn} \end{vmatrix} \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{matrix}, \quad (1.1)$$

где  $F = (F_1, F_2, \dots, F_n)$  – множество классификационных признаков деталей;  $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$  – множество деталей;  $i = 1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, m$ ;  $C_{ij}$  – переменная, принимающая значение 1, если деталь имеет признак  $F_i$ , или 0, если такой признак отсутствует.

Фактор объективности при классификация деталей требует применения количественного критерия для разделения их на классификацион-

ные группы. Рассчитывают коэффициент подобия деталей  $K_n$  в каждой их паре как отношение числа совпадающих признаков  $n_1$  к общему числу различающихся между собой признаков деталей этой пары  $n_2$ :

$$K_n = n_1/n_2. \quad (1.2)$$

В одну классификационную группу должны входить детали, у которых не менее половины признаков одинаковые. Вначале находят детали с полным совпадением классификационных признаков, т.е. те, для которых  $K_n = 1$ . Затем эти группы дополняют деталями, совпадающими с каждой из ранее введенных групп не менее как половиной признаков. Если отдельную деталь можно отнести к нескольким группам, то предпочтение отдают той группе деталей, с которой данная деталь имеет наибольшее среднее арифметическое коэффициентов подобия. Оставшиеся детали группируют в новые подмножества с учетом приведенных принципов.

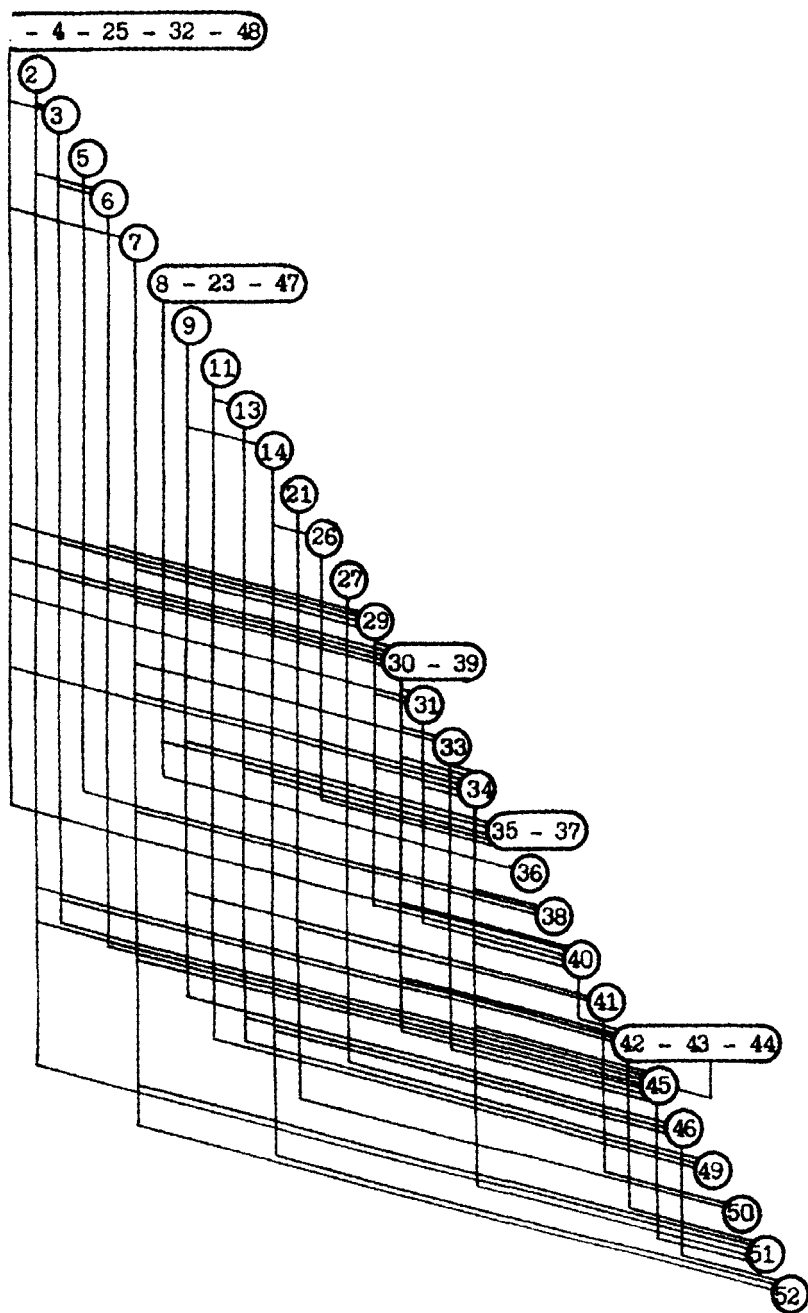
Работы по классификации ремонтируемых объектов проводят для конкретных ремонтных предприятий.

**Пример.** Основные детали двигателя внутреннего сгорания могут быть сведены в следующие десять групп (рис. 1.1): 2 – 3 – 6 – 51; 1 – 4 – 25 – 29 – 30 – 31 – 32 – 33 – 34 – 39 – 40 – 42 – 43 – 44 – 45 – 48; 9 – 10 – 16 – 17; 8 – 23 – 36 – 37 – 47; 5 – 27 – 13 – 38; 11 – 14 – 15; 7 – 21 – 24 – 41 – 46 – 49 – 50 – 52; 19 – 20 – 22; 26 – 28; 12 – 18 – 35. Эти группы деталей определяются совокупностями признаков:

1) детали с цилиндрическими внутренними единичными и групповыми поверхностями с параллельными и перпендикулярными осями, плоскими торцами и стыками, внутренними резьбами: блок цилиндров,

**Рис. 1.1. Граф отношений деталей ремонтируемого двигателя ( $K_n > 0,5$ ):**

1 – кронштейн крепления двигателя; 2 – блок цилиндров; 3 – крышка распределительных шестерен; 4 – крышка коробки толкателей; 5 – гильза цилиндра; 6 – головка цилиндров; 7 – шатун; 8 – поршневой палец; 9 – поршень; 10 – коленчатый вал; 11 – маховик; 12, 18 и 35 – шестерни; 13 – упорная шайба; 14 – ступица; 15 – шкив; 16 – храповик; 17 – распределительный вал; 19 – толкатель; 20 – штанга; 21 – коромысло; 22 – винт; 23 – ось коромысел; 24 – стойка; 25 – крышка коромысел; 26 – клапан; 27 – втулка клапана; 28 – седло клапана; 29 – выпускной коллектор; 30 – впускная труба; 31 – выпускной патрубок водяной рубашки; 32 – масляный картер; 33 – корпус масляного насоса; 34 – крышка; 36 – вал; 37 – плунжер; 38 – корпус привода распределителя; 39 – корпус бензонасоса; 40 – головка бензонасоса; 41 – рычаг бензонасоса; 42 – корпус карбюратора; 43 – крышка поплавковой камеры; 44 – смесительная камера; 45 – крышка водяного насоса; 46 – крыльчатка; 47 – валик; 48 – кожух сцепления; 49 – нажимной диск; 50 – оттяжной рычаг; 51 – картер сцепления; 52 – вилка



крышка распределительных шестерен, головка цилиндров, корпус бензонасоса, картер сцепления и др.;

2) детали с цилиндрическими внутренними единичными и групповыми поверхностями с параллельными осями, стыками, внутренними резьбами: впускная труба, крышка коробки толкателей, патрубок выпускной трубы, выпускной коллектор, кожух сцепления, масляный картер, головка бензонасоса, крышка коромысел, корпус масляного насоса, корпус водяного насоса, крышка масляного насоса, корпус карбюратора, крышка карбюратора, смесительная камера и др.;

3) детали – тела вращения с наружными соосными и несоосными цилиндрическими и профильными поверхностями, торцами, стыками и внутренними резьбами: коленчатый вал, распределительный вал, поршень;

4) детали – тела вращения с наружными цилиндрическими поверхностями: поршневой палец, ось коромысел, валик водяного насоса, валик масляного насоса, плунжер масляного насоса;

5) детали – тела вращения с наружными и внутренними соосными цилиндрическими поверхностями: гильза цилиндра, втулка клапана, корпус привода распределителя;

6) детали – тела вращения с наружными и внутренними соосными цилиндрическими поверхностями, группами отверстий: шкив, маховик, ступица коленчатого вала;

7) детали с ориентированными отверстиями, выполненными во втулках, торцами и стыками: шатун, стойка коромысел, коромысло;

8) детали с цилиндрическими и сферическими поверхностями: толкатель, штанга;

9) детали с цилиндрическими и коническими поверхностями: клапан, седло клапана;

10) зубчатые колеса: шестерни коленчатого и распределительного валов; шестерни масляного насоса.

Наибольшее количество поверхностей деталей двигателей внутреннего сгорания приходится на внутренние цилиндры (29,7 %). Наружные цилиндрические поверхности составляют 14,1 %, поверхности сложного профиля (конические и сферические) – 4,9 %. На резьбы внутренние и наружные падает соответственно 11,6 и 1,7 %. Внутренние полости 3 % деталей должны быть герметичными. На трущиеся торцы приходится 14,9 % поверхностей и на стыки – 18,2 % поверхностей.

Наибольшее влияние на надежность отремонтированных агрегатов оказывает качество восстановления таких групп деталей:

– неподвижных: станин, корпусов, картеров, гильз;

- вращающихся: валов, дисков, зубчатых колес, кулачков, эксцентриков;
- движущихся поступательно: поршней, штоков, ползунов, клапанов;
- участвующих в преобразовании видов движений: рычагов, шатунов, штанг.

Около 90 % трудоемкости и себестоимости приходится на восстановление приведенных групп деталей. Технологии их восстановления могут быть использованы как типовые.

Многообразие видов восстанавливаемых объектов еще больше сокращается при переходе от деталей к их элементам и классификации последних (табл. 1.1). Элементом деталей соответствуют характерные повреждения и совокупность восстанавливаемых свойств.

**1.1. Основные элементы деталей, виды нагрузок и повреждений, восстанавливаемые свойства**

Элементы деталей			Восстанавливаемые свойства
Наименование	Виды нагрузок	Характер повреждений	
1	2	3	4
Стенки	Удары, гидростатическое давление, вибрации	Пробойны, трещины	Прочность, герметичность
Шейки	Моменты и поперечные силы, переменные по величине и направлению	Износ, усталостные трещины	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость, усталостная прочность
Прямолинейные направляющие	Осевые силы	Износ	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Трущиеся горцы			
Стыки	Усилия смыкания деталей	Деформации	Плоскостность, параметры расположения

Продолжение табл. 1.1

1	2	3	4
Бобышки с гладкими отверстиями	Поперечные силы, переменные по величине и направлению	Деформации, износ	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Резбовые отверстия	Усилие затяжки, вибрации	Деформации, износ, разрушение резьбы	Форма, размеры, шероховатость
Наружные резьбы			
Конические фаски	Осевые силы, переменные по величине	Износ, наклеп	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Зубья	Контактные нагрузки	Питтинговый износ, разрушение	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость, усталостная прочность
Кулачки, эксцентрики	Поперечные силы	Износ	Износостойкость, форма, размеры, шероховатость
Шлицы	Силы, нормальные к поверхностям		
Упругие элементы	Вибрационные нагрузки	Изменение размеров, усталостные трещины, потеря жесткости	Размеры, усталостная прочность, жесткость

Организация процессов восстановления деталей, основанная на использовании классификации элементов этих деталей, обладает экономическими преимуществами. Такая организация предполагает разработку технологических модулей восстановления элементов разнотипных деталей, из которых образуют технологии восстановления конкретных деталей. Системный эффект от применения такого подхода выражается в



уменьшении трудоемкости технологической подготовки восстановительного производства. Основной методологический принцип концепции заключается в применении ограниченного числа типовых и модульных технологических операций восстановления элементов деталей к восстановлению деталей различных видов.

### ***1.1.3. Причины достижения деталями предельного состояния***

Детали поступают на восстановление с различными сочетаниями повреждений. Некоторые из этих сочетаний определяют предельное состояние детали. Знание природы достижения деталями предельного состояния позволяет обоснованно назначать мероприятия по повышению их долговечности.

Основная доля деталей в составе сопряжений с другими деталями достигает предельного состояния из-за изнашивания. В результате этого процесса происходят разрушение материала, отделение его от поверхности твердого тела и (или) накопление его остаточной деформации при трении. Указанные явления приводят к постепенному изменению размеров и (или) формы детали.

В зависимости от условий изнашивания и активности окружающей среды различают основные виды изнашивания: механическое, коррозионно-механическое и эрозионное.

*Механическое изнашивание* происходит в результате механических воздействий. Основные виды этого изнашивания: абразивное, усталостное, кавитационное и изнашивание при заедании.

*Абразивное изнашивание* – это механическое изнашивание материала в результате режущего или царапающего действия на него твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии. В зависимости от вида среды (жидкость или газ), перемещающей твердые частицы, различают гидроабразивное и газоабразивное изнашивание.

Абразивные частицы размером 1...30 мкм всегда присутствуют в воздухе, смазочном материале и на трущихся поверхностях. Абразивными частицами могут служить продукты изнашивания, твердые частицы оксидов, частицы нагара и др.

Скорость абразивного изнашивания зависит от контактных напряжений, относительной скорости частиц и направления их потока к рабочей поверхности детали, твердости частиц и материала изнашиваемой поверхности, структуры материала. Абразивное изнашивание наиболее характерно для деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Технологические способы повышения стойкости к механическому изнашиванию сводятся к выбору материала трущихся поверхностей, его структуры и твердости.

Многие детали машин под действием знакопеременной нагрузки подвергаются *усталостному изнашиванию* и утрачивают в работе часть усталостной прочности. Критическим напряжением при усталости является предел выносливости. Этот показатель в отличие от других прочностных характеристик (пределов упругости, текучести и прочности) во многом зависит от состояния поверхности детали.

Процесс разрушения при усталости металлических деталей состоит из зарождения и распространения усталостных трещин. Период зарождения усталостных трещин состоит, в свою очередь, из циклических микро- и макротекучести и упрочнения.

На стадии циклического упрочнения появляются первые микротрещины размером  $\sim 1$  мкм за счет накопления несовершенств кристаллической решетки (дислокаций, вакансий) и их движения к границам зерен. Эта стадия характеризуется множественными перемещениями дислокаций, повышением их плотности, формированием самоорганизующихся дислокационных структур и упрочнением материала. Стадия циклического упрочнения заканчивается достижением линии необратимой повреждаемости (линии Френча), на которой размер микротрещин сопоставим с размерами зерен материала. Этим заканчивается период зарождения усталостных трещин.

Следующий период – распространение усталостных трещин – состоит из трех стадий: медленного (припорогового), стабильного и ускоренного роста трещин.

Таким образом, уже с первых циклов нагружения в металле происходит эволюция дислокационной структуры. Изменения сосредоточиваются в зоне пластического деформирования у вершины магистральной трещины. В зависимости от расстояния от вершины трещины до рассматриваемого участка материала меняется напряженное состояние и формируется дислокационная структура: мелкочечная у самой вершины трещины; далее в виде дислокационных стенок; завершается она полосовой и венной структурами, дислокационными петлями и скоплениями. Все основные процессы эволюции дислокационной структуры, ее превращения и неравновесные фазовые переходы в полной мере происходят лишь в поверхностных слоях металла. В этих слоях имеются и нераспространяющиеся трещины размером 10...120 мкм.

Кроме того, в процессе циклического деформирования происходят фазовые превращения (например, образование мартенсита деформации в метастабильных аустенитных сталях), процессы возврата или старения.

Усталостную прочность поверхностного слоя повышают его пластическим деформированием.

Следует различать контактную усталость поверхностных слоев, которая возникает при трении качения и называется «питтинг», и усталостное изнашивание при трении скольжения, хотя усталостная природа разрушения в обоих случаях одинакова.

*Кавитационное изнашивание* – это разрушение материала от соприкосновения его с движущейся жидкостью, в которой нарушается сплошность ее объема из-за образования полостей, заполненных паром, газом или их смесью.

Интенсивность кавитационного изнашивания возрастает с повышением скорости потока жидкости. При завихрении сплошной поток жидкости разрывается из-за локального уменьшения давления и в нем образуются парогазовые полости в виде пузырей или полос размером порядка десятых долей миллиметра. За 0,002 с кавитационный пузырек может вырасти до 6 мм в диаметре и разрушиться за 0,001 с. В течение 1 с на площади в 1 см<sup>2</sup> могут образоваться и разрушиться более 30 млн. таких пузырьков. Исчезновение (захлопывание) пузырьков происходит в зонах повышения давления, которое сопровождается конденсацией паров и растворением газов. Движение жидкости с большим ускорением в полость исчезающего пузырька создает гидравлические удары. Кавитационные явления вызывают вибрации работающих поверхностей.

Кавитационная стойкость материала определяется его составом и структурой. Повышение содержания углерода до 0,8 % увеличивает ее. Пластинчатый перлит более стойкий, чем зернистый. Введение никеля и хрома в сталь повышает эту стойкость. Наиболее стойким является низколегированный чугун (1 % Ni и 0,3 % Mo) с шаровидным графитом. Закалка ТВЧ, цементация, поверхностное упрочнение, наплавка твердых сплавов уменьшают кавитационное изнашивание.

*Изнашивание при заедании* – это вид механического изнашивания в результате схватывания трущихся поверхностей, глубинного вырывания материала, переноса его с одной поверхности трения на другую и абразивного воздействия возникших неровностей на сопрягаемую поверхность. Для этого вида изнашивания характерно разрушение оксидных и масляных пленок, разделяющих поверхности.

При взаимодействии двух поверхностей в точках фактического контакта наблюдаются удаление адсорбционных и оксидных пленок, сближение ювенильных поверхностей до расстояния действия межатомных сил. Вследствие взаимодействия атомов происходит схватывание поверхностей, сопровождающееся выделением энергии. При относитель-

ном перемещении поверхностей происходят вырывы материала в виде микроскопических частиц с одной поверхности и перенос их на другую поверхность.

Заедание в неподвижных соединениях объясняется ростом и сращиванием оксидных пленок и соединением их кристаллических решеток.

Большое значение для уменьшения интенсивности изнашивания при заедании имеют способ подачи смазочного материала, количество и качество присадок к основному маслу.

*Коррозионно-механическое изнашивание* – это результат механического воздействия, которое сопровождается химическим и (или) электрическим взаимодействием материала со средой. Одним из видов коррозионно-механического изнашивания является окислительное изнашивание, при котором основное влияние на изнашивание оказывает химическая реакция материала с кислородом или окисляющей окружающей средой, а также изнашивание при фреттинг-коррозии.

Окислительное изнашивание характеризуется образованием и разрушением вторичных структур в поверхностных слоях детали при их нагружении и трении. При этом на поверхности трения образуются твердые растворы или химические соединения с кислородом, водородом и азотом. Механизм окислительного изнашивания включает три стадии:

- непосредственный механический контакт трущихся поверхностей или через среду и образование тонкого слоя деформированного активированного металла;
- химическую реакцию образовавшегося слоя с активными элементами среды и образование вторичных структур толщиной 0,01...0,02 мкм с низкой механической прочностью;
- разрушение и удаление вторичных структур механическими воздействиями. На ювенильных поверхностях практически мгновенно образуются новые вторичные структуры, которые затем также разрушаются.

Повышение износостойкости в условиях окислительного изнашивания происходит за счет повышения химической стойкости и твердости поверхностного слоя деталей.

*Изнашивание при фреттинг-коррозии* – вид изнашивания соприкасающихся тел при малых колебательных относительных перемещениях. Механизм этого вида изнашивания следующий:

- пластическое деформирование микровыступов, повышение контактных температур, разрушение пленок оксидов, адгезионное схватывание поверхностей, срезание образовавшихся связей, усталостные явления. Разрушившиеся выступы быстро окисляются кислородом воздуха;

– инкубационное накопление усталостных повреждений, уменьшение скорости изнашивания вследствие адсорбции на продуктах изнашивания кислорода и влаги;

– поверхностно-усталостное разрушение.

Фреттинг-коррозия развивается на поверхностях сопряжении с натягом, контактных поверхностях шарнирных механизмов. При этом ослабляется натяг поверхностей или их заклинивание, если продукты изнашивания не выходят из зоны контакта.

Уменьшение или предотвращение фреттинг-коррозии достигается конструктивными или технологическими методами. Первое направление заключается в увеличении натяга в сопряжениях, использовании демпфирующих устройств, применении жидких и твердых смазочных материалов. Второе направление включает упрочнение поверхностей пластическим деформированием, термической, химико-термической обработкой, нанесение гальванических или полимерных покрытий.

*Эрозионное изнашивание* – это механическое изнашивание поверхности в результате воздействия на нее потока жидкости и (или) газа.

Электроэрозионное изнашивание усложняется разрушением поверхности детали вследствие воздействия разрядов при прохождении электрического тока, сопровождающееся переносом ионов материала и появлением оксидных пленок. Интенсивность изнашивания зависит от плотности тока, контактного электрического сопротивления, скорости перемещения контакта, механической нагрузки, температуры поверхностей и вида материала деталей.

*Деформация* деталей проявляется в виде изменения формы поверхностей и параметров их взаимного расположения. Это происходит под действием релаксации внутренних напряжений и длительного действия эксплуатационных нагрузок при рабочей температуре механизма.

Внутренние напряжения, возникающие при изготовлении, эксплуатации и восстановлении деталей, распределяются в объеме детали неравномерно. При деформировании кристаллических тел, приводящем к повышению напряженного состояния, все большее число зерен участвует в пластической деформации. Когда внешняя нагрузка снимается, зерна, оставшиеся в различном упругопластическом состоянии, неспособны возратить весь объем детали в исходное состояние вследствие анизотропии кристаллов.

*Коррозия* поверхностей – это результат их химического или электрохимического взаимодействия с коррозионной средой. Существует много видов коррозии: газовая, атмосферная, коррозия при трении, фреттинг-коррозия, щелевая, ножевая, коррозия под напряжением и др.

*Старение* материала – это процесс изменения строения и свойств материалов, происходящий или самопроизвольно, или в течение длительного времени при рабочей температуре деталей. Старение характеризуется переходом материала из метастабильного состояния в стабильное. Старение металлов включает аллотропическое превращение, мартенситное превращение и распад мартенситной структуры, растворение металлов в твердом состоянии и распад пересыщенных твердых растворов, упорядочение и разупорядочение твердых растворов и ряд других процессов.

## **1.2. Содержание процесса восстановления деталей**

### **1.2.1. Технические требования к восстановленным деталям**

Ряд значений восстанавливаемых свойств деталей определен нормативной документацией, они являются ограничениями, которые обеспечивают не менее чем 80%-ную послеремонтную наработку детали от наработки нового изделия. Сведения об этих свойствах приведены в разделе «Состояние деталей, поступающих на сборку» Руководства по капитальному ремонту агрегата (машины).

В этом документе определены: чистота (в виде остаточной загрязненности) и шероховатость поверхностей, форма и взаимное расположение элементов деталей, точность размеров, жесткость упругих элементов, сплошность стенок корпусных деталей, значение массы движущихся деталей и ее распределение относительно осей вращения и инерции.

Необходимо регламентировать и ввести в нормативную документацию на восстановление деталей параметры структуры и строения материала детали, значения величин износостойкости, прочности и усталостной выносливости элементов и коррозионной стойкости поверхностей.

Задача технолога состоит в разработке технологического процесса, который обеспечит указанные ограничения при наименьшем расходе материальных, трудовых и энергетических ресурсов.

### **1.2.2. Структура процесса восстановления деталей**

Изношенная деталь ремонтного фонда на пути своего превращения в годную деталь в результате технологических воздействий на нее исполнителей и средств ремонта проходит такие стадии (рис. 1.2): *исходная заготовка, ремонтная заготовка, восстановленная деталь.*

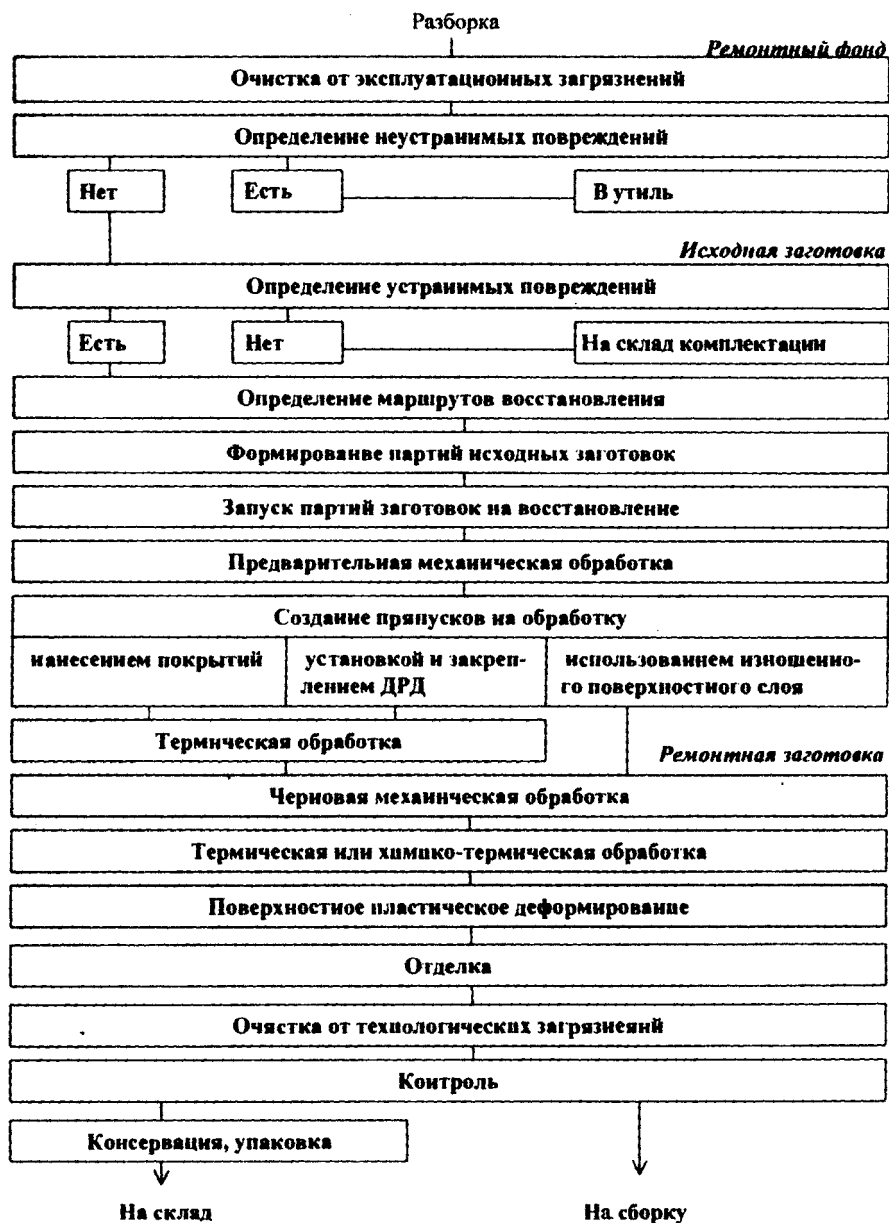


Рис. 1.2. Схема технологического процесса восстановления детали

В результате очистки от эксплуатационных загрязнений и работ по определению технического состояния ремонтного фонда выявляют детали, которые имеют устранимые повреждения и подлежат восстановлению. Такие детали являются исходными заготовками, которые собирают в группы с одинаковыми сочетаниями устраняемых повреждений и в виде партий направляют на соответствующие участки восстановления. Таким образом, исходная заготовка – это очищенная деталь ремонтного фонда с устранимыми повреждениями.

Исходная заготовка в общем случае превращается в ремонтную заготовку путем создания припусков на восстанавливаемых поверхностях и нанесения швов на трещины, а ремонтная заготовка в деталь – в результате химико-термической и механической обработки.

Технологические воздействия на восстанавливаемую деталь образуют блоки операций: подготовку изношенных элементов под нанесение покрытий или установку дополнительной ремонтной детали (ДРД); установку и закрепление ДРД, сварку трещин; нанесение покрытий или перераспределение материала путем его объемного пластического деформирования; размерную и структурную стабилизацию элементов; термическую обработку; механическую обработку черновую и чистовую; поверхностное пластическое деформирование; отделку, уравнивание; очистку от технологических загрязнений; контроль и консервацию.

Предварительная механическая обработка придает правильную геометрическую форму восстанавливаемым элементам перед нанесением покрытий или установкой ДРД.

Ремонтное производство располагает хорошо изученным множеством способов создания припусков под механическую обработку на восстанавливаемых поверхностях. Это различные виды наплавки, напыления, нанесения гальванических покрытий, объемного пластического деформирования, установки ДРД и др.

Ряд деталей машин (валы, гильзы, поршни и др.) допускают восстановление под ремонтные размеры их шеек, отверстий и плоскостных элементов. В таком случае ремонтные заготовки получают из исходных заготовок без нанесения или перемещения материала. Для достижения экономичности процесса восстановления должны быть использованы все предусмотренные ремонтные размеры заготовок путем:

- обеспечения производства сопрягаемыми деталями всех ремонтных размеров (например, вкладышами коленчатого вала, поршнями и др.);
- правки длинных деталей типа валов перед обработкой;
- равномерного снятия припуска при механической обработке, чему способствует совмещение осей обрабатываемых отверстий и шпинделя



расточного станка, а также адаптивное базирование деталей при обработке шеек.

Если возможность использования ремонтных размеров исчерпана, то ремонтную заготовку создают путем нанесения восстановительного покрытия или установкой и закреплением ДРД, или перемещением материала заготовки.

Необходимая износостойкость восстанавливаемых поверхностей достигается выбором их материала, условий его нанесения, а также последующей термической, химико-термической и механической обработкой. Вид и свойства поверхностного слоя должны быть совместимы со способом его обработки.

На стадии создания ремонтной заготовки в основном формируются материал и структура рабочих поверхностей детали, что определяет ее послеремонтную надежность.

Следование технологических операций в процессе восстановления детали подчинено накоплению и усилению необходимых свойств детали под влиянием вложенных в заготовку материалов и энергии. Перед нежелательными свойствами ставятся технологические «барьеры». Явление *технологической наследственности* выражается влиянием предшествующих операций на конечные свойства восстанавливаемых деталей. Первые операции обычно влияют на эти свойства слабее, чем заключительные. Все операции процесса восстановления детали рассматривают не изолированно друг от друга, а во взаимосвязи, потому что формирование конечных свойств поверхностей происходит на протяжении всего процесса восстановления детали.

За форму и взаимное расположение поверхностей в наибольшей степени отвечают первые операции механической обработки, за размеры и шероховатость – последние, за износостойкость – материалы, операции нанесения и термической обработки, за усталостную прочность и жесткость – термические операции и поверхностное пластическое деформирование. Технологическая наследственность по шероховатости поверхности, например, проявляется на операциях предварительной и черновой обработки, на заключительных операциях копирование исходной шероховатости угасает. Значительно наследуются параметры формы и расположения поверхностей.

Однотипные операции (предварительную механическую обработку, нанесение покрытий, термическую и механическую обработку и др.) при восстановлении различных элементов детали объединяют в блоки операций и выполняют вместе.

Все технологические операции, связанные с вложением тепла в материал детали, должны быть объединены в одной части технологического процесса и отделены от последующих операций термической обработкой. Эта операция после нанесения покрытия служит технологическим «барьером» для внутренних напряжений, роста зерна материала и деформации детали.

При черновой механической обработке снимают основную часть операционного припуска. Если условно разделить этот вид обработки на две части, то в первой обеспечивают нужное взаимное расположение поверхностей детали, а во второй – форму ее геометрических элементов. Точности взаимного расположения поверхностей достигают выбором технологических баз и ориентированием детали относительно движущегося инструмента, а точности формы – жесткостью и точностью оборудования, выбором инструмента и режимами обработки.

Черновая обработка обычно лезвийная, она выполняется на токарных, расточных и фрезерных станках. Реже она бывает абразивной.

В результате чистовой обработки получают заданную точность размеров и шероховатость поверхностей, близкую к нормативной. Чистовая обработка для шеек валов – это в большинстве случаев абразивная обработка, а для отверстий – тонкое растачивание и хонингование.

Детали, воспринимающие знакопеременную нагрузку, проходят после чистовой обработки операцию поверхностного пластического деформирования, назначение которого – закрыть микротрещины и создать наклепанный слой с внутренними напряжениями сжатия. Поверхностное пластическое деформирование реализуется механическими или термомеханическими способами.

Назначение отделочных операций (полирования, суперфиниширования, хонингования) заключается в снятии разупрочненного в результате механической обработки слоя и обеспечении требуемой шероховатости поверхности.

На обработанных деталях находятся технологические загрязнения (стружка, зерна абразивного инструмента, остатки СОЖ, полировальные пасты и др.), которые способны в течение нескольких часов работы вызвать отказ системы смазки отремонтированного агрегата или агрегата в целом. Детали, направляемые на сборку, должны быть очищены от этих загрязнений. Особое внимание уделяют очистке масляных каналов и внутренних полостей.

Операция контроля заключается в установлении соответствия состояния восстановленной детали требованиям технической документации

(чертежа или карты технического контроля). Контрольная операция оснащена средствами для измерения геометрических параметров, значений физико-геометрических свойств и других характеристик.

Консервационную защиту деталей до 3...5 дней обеспечивают технические моющие средства, применяемые для очистки деталей от технологических загрязнений. Для более длительного хранения (это относится к деталям, предназначенным для продажи) необходима специальная консервация маслами, промасленной бумагой, парафинсодержащими и другими средствами.

Технологические операции указанных типов выполняются на любом ремонтном предприятии, однако число освоенных видов операций каждого типа зависит от мощности и технического уровня отдельного завода.

### **1.3. Место восстановительного производства в технологии ремонта машин**

#### **1.3.1. Ремонт машин в системе содержания их в исправном состоянии**

Первичное изготовление машин ведется из материалов и сырьевых полуфабрикатов. Однако отрасли машиностроения в дальнейшем не ремонтируют свои изделия. Сложившаяся практика использования техники показывает, что функции ее ремонта выполняют отрасли, потребляющие машины. В свою очередь, ремонт машин заключается в экономически обоснованном устранении неисправностей и восстановлении их ресурса после длительной эксплуатации, т.е. во вторичном производстве техники из ее ремонтного фонда.

В большинстве отраслей промышленности действует система мер по содержанию машин в исправном состоянии, которая имеет профилактическую направленность и учитывает закономерности изнашивания машин. Эта система носит плано-предупредительный характер и включает в себя совокупность исполнителей, технологического оборудования, оснастки и документации. Функции системы включают два вида воздействий.

Воздействия первого вида выполняются в плановом порядке и направлены на уменьшение интенсивности изнашивания деталей за счет предупреждения и своевременного выявления неисправностей. Реальные неисправности выявляются в результате осмотра, контроля и проверки действия механизмов, а потенциальные предупреждаются за счет проведения уборочно-моечных, смазочных, крепежно-регулирующих и диаг-

ностических работ. Это множество работ называется *техническим обслуживанием* и направлено на продление времени пребывания машин в исправном или работоспособном состоянии при их использовании по назначению, хранении или транспортировании.

Воздействия второго вида необходимы для устранения неисправностей машин и восстановления их ресурса путем замены или восстановления изношенных деталей и (или) сборочных единиц. Эти работы называются *ремонт*. Ремонтные работы выполняются в большинстве случаев по потребности, которая возникает при отказе машины или определяется путем ее диагностирования. Наиболее перспективна планово-диагностическая система ремонтов, основанная на измерении диагностических параметров, определении неисправностей и остаточного ресурса агрегатов и принятии решения о сроках и объемах ремонтных работ.

*Главная задача ремонтного производства* заключается в экономически эффективном восстановлении надежности машин в результате наиболее полного использования остаточной долговечности их деталей.

Таким образом, в системе технического обслуживания и ремонта машин предусмотрены их диагностирование, техническое обслуживание и ремонт, при этом техническое обслуживание проводится принудительно по плану, а ремонтные работы – по потребности.

### 1.3.2. Определение понятий «восстановление» и «упрочнение» деталей

В результате целесообразных действий рабочих и средств технологического оснащения над ремонтируемыми машинами (в том числе и над частями машин – деталями) происходит их превращение из состояния ремонтного фонда в товарную продукцию. Эти действия основаны на обработке ремонтируемых объектов с целесообразным вложением материалов, энергии и информации.

Восстановить (согласно «Толковому словарю живого великорусского языка» В.И. Даля) – это приводить в первобытное состояние, возобновлять, обновлять, возобновлять.

Значения применяемых в литературе о ремонте машин понятий «реставрация», «ремонт» и «восстановление» следующие. Реставрация (лат. *restauratio*) означает восстановление в первоначальном виде художественных и архитектурных произведений, восстановление свергнутого общественного строя. Вводить этот термин в теорию ремонта машин и использовать его нет необходимости. *Ремонт* буквально означает «перемонтировать». В свою очередь, «монтаж» (фр. *montage*) – это подъем,

сборка и установка машин и сооружений. Термин «ремонт» относится к машине или ее частям, к которым применимы воздействия, называемые разборочно-сборочными работами. Термин «восстановление» – приведение в прежнее состояние – относится к детали.

*Восстановление изношенных деталей* – это технологический процесс возобновления исправного состояния и ресурса этих деталей путем возвращения им утраченной части материала из-за изнашивания и (или) доведения до нормативных значений уровня свойств, изменившихся за время длительной эксплуатации машин.

Процессы восстановления изношенных деталей составляют основу всего процесса ремонта машин.

Каждое свойство (показатель) является одной из характеристик качества восстановленной детали. При восстановлении детали обеспечивают нормативные значения функциональных и ресурсных показателей. Функциональные показатели характеризуют исправность детали, а ресурсные – степень восстановления технического ресурса. При восстановлении деталей, в том числе и их элементов, доводят до нормативных значений следующие показатели:

- чистоту поверхностей;
- износостойкость трущихся элементов;
- сплошность, прочность, структуру и строение материала;
- усталостную прочность;
- жесткость упругих деталей;
- взаимное расположение и форму элементов;
- размеры и шероховатость рабочих поверхностей;
- значение массы детали и ее распределение относительно осей вращения и инерции;
- коррозионную стойкость.

Чистоту поверхностей восстанавливают путем их очистки от эксплуатационных и технологических загрязнений. Наибольшую трудность представляет очистка поверхностей от прочных эксплуатационных загрязнений (накипи, нагара и асфальтосмолистых загрязнений) во внутренних полостях и каналах.

Взаимное расположение, форму, размеры и шероховатость рабочих поверхностей восстанавливают механической обработкой этих поверхностей, в большинстве случаев после нанесения восстановительных покрытий. Взаимное расположение рабочих поверхностей можно восстанавливать и пластическим деформированием материала детали путем правки.

Износостойкость трущихся поверхностей восстанавливают нанесением восстановительных покрытий необходимого состава, термической (химико-термической) обработкой и поверхностным пластическим деформированием.

Необходимые химический состав материала поверхностного слоя и его структура достигаются нанесением покрытий из соответствующих материалов в защитных или активных средах в заданных температурных условиях. Большое значение при этом имеет последующая термическая или химико-термическая обработка.

Прочность детали восстанавливают установкой и закреплением дополнительных элементов и сваркой. Сплошность и герметичность стенок деталей восстанавливают наложением сварочных швов (валиков) и пропиткой герметизирующими составами.

Усталостную прочность элементов и жесткость детали восстанавливают соответственно поверхностным и объемным пластическим деформированием материала.

Необходимого значения массы детали и ее распределения относительно осей вращения и инерции достигают установкой уравновешивающих грузов требуемой массы в определенных местах детали или соответствующим удалением части ее материала.

Коррозионную стойкость детали восстанавливают нанесением защитных покрытий (гальванических или лакокрасочных).

В процессе контроля устанавливают соответствие фактических значений свойств восстанавливаемой детали их значениям, которые установлены нормативной документацией. На основании этого сопоставления принимают решение о годности детали.

Таким образом, процесс восстановления деталей включает операции: их очистки, определения технического состояния, принятия решения по процедуре восстановления, создания ремонтных заготовок с припуском на восстанавливаемых поверхностях, термической (химико-термической) и механической обработки, поверхностного или объемного пластического деформирования, обеспечения значения массы, уравновешивания, нанесения защитных покрытий, контроля и консервации. Основное содержание процесса восстановления детали заключается в выполнении операции создания припуска на ее поверхностях, термической и механической обработки.

Некоторые виды деталей отказывают в эксплуатации раньше других деталей в агрегате и определяют его послеремонтную наработку. Отказы этих деталей выявляются во время заводских испытаний и отремонтиро-

ванных агрегатов путем длительного наблюдения, при этом изучаются и причины отказов.

**Упрочнение деталей**, лимитирующих наработку отремонтированных агрегатов, – это повышение сопротивляемости элементов этих деталей разрушению, остаточной деформации или изнашиванию. Упрочняющие мероприятия выполняются путем нанесения износостойких покрытий, термической или химико-термической обработки, поверхностного или объемного пластического деформирования материала заготовки.

**Остаточная долговечность деталей** – это потенциальная долговечность изношенных деталей, которая может быть использована в эксплуатации после выполнения экономически обоснованного объема восстановительных работ.

### 1.3.3. Восстановление деталей в процессе ремонта машин

Трудоемкость восстановления деталей составляет 30...50 % общей трудоемкости процесса ремонта машин (рис. 1.3). Восстановление деталей является частью процесса ремонта машин.

Наибольшая доля трудоемкости процесса ремонта машин приходится на восстановление их изношенных деталей, однако и наибольшая доля экономической эффективности всего процесса ремонта обеспечивается восстановлением этих деталей.

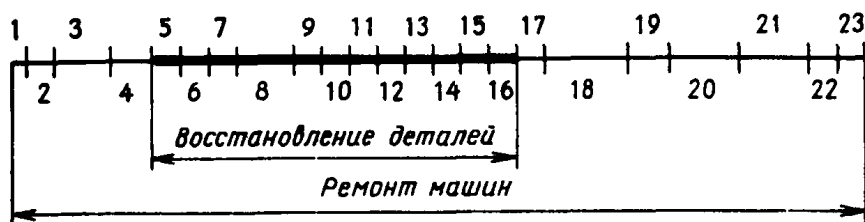


Рис. 1.3. Операции восстановления деталей в процессе ремонта машин:

1 – приемка машин в ремонт; 2 – диагностирование агрегатов; 3 – разборка машин, агрегатов и узлов; 4 – очистка машин, агрегатов, узлов; 5 – очистка деталей; 6 – определение технического состояния деталей; 7 – предварительная механическая обработка; 8 – нанесение покрытий, закрепление ДРД, пластическое деформирование; 9 – термическая обработка; 10 – черновая механическая обработка; 11 – термическая (химико-термическая) обработка; 12 – чистовая механическая обработка; 13 – поверхностное пластическое деформирование; 14 – отделка поверхностей; 15 – очистка от технологических загрязнений; 16 – контроль; 17 – комплектование деталей; 18 – сборка агрегатов (машин); 19 – окрашивание; 20 – обкатка; 21 – испытания; 22 – контроль; 23 – сдача заказчику

#### **1.4. Состав и особенности восстановительного производства**

Производство по восстановлению деталей будет определено, если будут указаны: предметы восстановления, для которых оно предназначено, его место среди других производств, цель и задачи, состав и структура, функции, особенности и роль, родовые и видовые признаки.

##### **1.4.1. *Определение восстановительного производства, его цель и задачи***

*Ремонтное производство* представляет собой совокупность специализированных предприятий и самостоятельных производственных подразделений предприятий, которые ведут ремонт техники. Часть этого производства занята восстановлением изношенных деталей.

*Восстановительное производство* (производство по восстановлению деталей) – это система сооружений, средств технологического оснащения и работников, обеспеченная нормативной, технологической и организационной документацией, потребляющая производственные ресурсы с целью превращения ремонтного фонда в исправные детали.

Элементы производственной системы по восстановлению деталей – это сооружения (здания, инженерные сети, ограждения и др.), средства восстановления (оборудование, приспособления, инструмент) и работники. Функция системы – переработка восстанавливаемых объектов из состояния ремонтного фонда в состояние товарной (восстановленной) продукции. Система получает питание в виде ресурсов (финансовых, трудовых, материальных и энергетических) из внешней среды и взаимодействует с ней. Обратная связь между восстановленными изделиями и производственной системой выражается информацией о качестве изделий, в том числе о послеремонтной наработке.

На основании сведений, полученных по обратной связи, вырабатываются управляющие воздействия, направленные на повышение качества восстанавливаемых объектов и уменьшение расхода ресурсов путем усовершенствования применяемых материалов, технологий, средств восстановления и организации производства. Носителем нормативной, конструкторской, технологической, организационной, распорядительной информации служит соответствующая документация.

*Цель производства по восстановлению деталей* заключается в экономически эффективном восстановлении их надежности в результате наиболее полного использования остаточной долговечности составляющих элементов.



В соответствии с поставленной целью задачами производства по восстановлению изношенных деталей должны стать:

- получение заданных объемов выпуска восстановленных деталей и их номенклатуры;
- удовлетворение множества требований нормативной и технологической документации к параметрам деталей;
- минимально необходимый расход производственных ресурсов.

#### **1.4.2. Отличительные признаки и особенности восстановительного производства**

Ремонтно-восстановительное производство отличается от машиностроения рядом признаков (рис. 1.4). Оно имеет в своем составе ряд специализированных производств, которым нет аналогов в машиностроении. Это разборка машин и агрегатов, их очистка, определение технического состояния деталей, создание ремонтных заготовок, комплектование деталей различных категорий перед сборкой агрегатов. При ремонте необходимо диагностировать ремонтный фонд, ремонтируемые изделия и отремонтированные машины с целью неразрушающего и безразборного определения неисправностей, качества ремонта и остаточного ресурса деталей и сопряжений.

Ряд технологических процессов существует только в ремонтном производстве. К таким процессам относятся отделение эксплуатационных загрязнений от поверхностей деталей ремонтного фонда, разборка агрегатов после их длительной эксплуатации, нанесение восстановительных покрытий, восстановление жесткости, усталостной прочности и герметичности деталей и др. При восстановлении деталей имеет место большое количество состояний исходных и ремонтных заготовок. Здесь отсутствует этап отработки деталей на технологичность, потому что в качестве чертежей изделий применяют разработки машиностроительного производства с небольшими изменениями. Восстановление деталей должно обеспечить значения параметров, примерно равные значениям параметров новых деталей при различных производственных возможностях. Восстановительное производство требует создания переналаживаемых средств технологического оснащения и изготовления большого количества оснастки на универсальное оборудование.

#### **1.4.3. Структура восстановительного производства**

Для выполнения своих функций ремонтно-восстановительное предприятие имеет в своем составе основное, вспомогательное и обслуживающее производства и заводоуправление.

	<i>Машиностроение</i>	<i>Ремонтное производство</i>
Цель	Создание парка машин (первичное производство)	Устранение неисправностей и восстановление ресурса парка машин (вторичное производство)
Исходный предмет труда	Материалы, полуфабрикаты	Ремонтный фонд парка машин
Источник заготовок	Заготовительные производства: литейное, кузнечное, штамповочное	Разборка
		Очистка
		Сортировка
Число состо- яний деталей	Одно	Больше одного
Производственный участок по определению маршрутов технологических воздействий		Участок сортировки
Способ соз- дания припуска на обработку	Формой заготовки	Нанесением покрытий, перемещением материала, использованием поверхностного слоя детали
Объемы и тип производства	Сотни тысяч единиц, массовое	Десятки тысяч единиц, серийное
Оборудование	Специальное, специализированное	Специализированное, универсальное
Детали для сборки машин	После изготовления	Годные после разборки, восстановленные, изготовленные, приобретенные

**Рис. 1.4. Сопоставление признаков машиностроения и  
ремонтного производства**

*Основное производство* (в соответствии с ГОСТ 14.004–83) – это множество производственных участков с исполнителями и средствами технологического оснащения, которые непосредственно воздействуют на восстанавливаемые изделия во время их превращения из состояния ремонтного фонда в товарную продукцию. Основное производство занято выпуском продукции для продажи или обмена. Основным производством руководит директор завода.

Состав производственных участков предприятия определяется видом восстанавливаемых изделий, технологическими процессами, объемом и организацией производства. Основное восстановительное производство по технологическому признаку включает следующие цехи (участки): разборочно-очистной, определения повреждений и остаточного ресурса изделий (предремонтного диагностирования), накопления и сортировки деталей, комплексного или централизованного восстановления деталей, нанесения покрытий (наплавочных, напыленных, гальванических и др.), кузнечно-штамповочный, механической обработки деталей, переработки резины и пластмасс, медницкий, послеремонтного диагностирования и устранения дефектов.

Функции основных производственных участков следующие.

Предремонтное диагностирование восстанавливаемых объектов состоит в определении их технического состояния (вида неисправностей), выявлении причин неисправностей и определении объема работ по их устранению.

Разборочно-очистной участок служит для получения очищенных исходных заготовок ремонта, которые в зависимости от их технического состояния будут направлены на сборку агрегатов или на восстановление.

На участках восстановления удаляют поврежденные части деталей, закрепляют ДРД, наносят восстановительные покрытия, выполняют пластическое деформирование, ведут механическую обработку поверхностей для придания им необходимых форм, размеров, расположения и шероховатости и термическую обработку для придания восстанавливаемым элементам необходимых свойств, балансируют детали. Наплавочные и напыленные покрытия наносят непосредственно на участках восстановления деталей. Исключение составляют процессы нанесения гальванических и полимерных покрытий, которые по причине большого количества выделяющихся при этом вредных веществ выполняют в отдельных помещениях.

Восстановленные детали после технического контроля направляют на комплектовочный участок для последующей сборки агрегатов или на склад сбыта для продажи в виде товарной продукции.

*Вспомогательное производство* ремонтного завода (в развитие ГОСТ 14.004–83) служит для обеспечения жизнедеятельности основного производства. Оно изготавливает необходимые в основном производстве средства технологического оснащения, приобретение которых невозможно или нецелесообразно; поддерживает в исправном состоянии эти средства, здания и энергосистемы; обеспечивает основное производство ресурсами (теплом, холодом, водой, сжатым воздухом, чистым воздухом, газами, электроэнергией и др.). Службы вспомогательного производства включают инструментальный участок, отделы главного механика и энергетика и ремонтно-строительный участок. Вспомогательное производство подчинено главному инженеру.

*Обслуживающее производство* обеспечивает основное и вспомогательное производства материалами, полуфабрикатами и транспортными услугами. В его составе имеются: отдел снабжения, складское хозяйство, транспортный цех и отдел сбыта. Обслуживающим производством руководит заместитель директора.

*Заводоуправление* включает: администрацию, другие должностные лица, отделы и лаборатории. Состав и функции заводууправления зависят от мощности и специализации предприятия. Заводские отделы: главного технолога и главного конструктора (может быть объединенный из них технический отдел), технического контроля, материально-технического снабжения, планово-экономический, финансово-сбытовой, производственно-диспетчерский, труда и заработной платы, кадров. Основные функции заводских лабораторий: химический и металлографический анализ материалов, ремонт и поверка средств измерений, сбор данных о надежности отремонтированной техники и др.

#### **1.4.4. Виды восстановительных производств**

Объемы восстановления деталей зависят от размеров обслуживаемого экономического района, количества техники в нем, ее возраста и интенсивности использования. В свою очередь, объемы восстановления определяют специализацию производства и его кооперацию с другими производствами. Восстановительное производство может быть организовано в виде заводов, цехов, участков или небольшого числа отдельных рабочих мест.

При больших объемах производства может быть образован завод по восстановлению деталей, работающий по кооперации с другими ремонтными заводами.

Внутри ремонтного завода могут быть созданы восстановительные производства в виде специализированных и универсальных цехов или участков. Специализированные цехи или участки характеризуются небольшой номенклатурой восстанавливаемых деталей, но большими объемами, а на универсальных участках восстанавливают детали всех агрегатов, ремонтируемых на заводе.

Если объемы восстановления деталей не позволяют организовать участки, то создают рабочие места по созданию припусков (нанесению покрытий) и обработке ремонтных заготовок. Такие рабочие места включают в специализированные или универсальные участки по ремонту агрегатов.

### **1.5. Система средств технологического оснащения восстановительного производства**

Средства технологического оснащения (СТО) восстановительного производства представляют собой основной элемент материальной базы этого производства, от которой в наибольшей мере зависят качество и эффективность процессов восстановления деталей. Система средств восстановления деталей создается путем ее приобретения и изготовления.

В зависимости от разнообразия выполняемых функций и обрабатываемых изделий технологическое оборудование подразделяют на универсальное, специализированное и специальное. Универсальное и частично специальное оборудование приобретают, а специализированное получают путем оснащения универсального оборудования приспособлениями, изготовленными собственными силами. Часть специального оборудования и средств измерений также изготавливают в собственном вспомогательном производстве.

Система СТО производства выполняет необходимую совокупность технологических функций и обеспечивает всемерную экономию живого труда. Разнообразие этих средств в значительной мере определяет технический уровень восстановительного производства. Большую роль в технологических процессах восстановления деталей играют СТО, изготовленные в собственном вспомогательном производстве ремонтного завода.

#### **1.5.1. Состав, назначение и характеристика средств технологического оснащения**

Средства технологического оснащения включают технологическое оборудование и оснастку. Оснастка, в свою очередь, подразделяется на приспособления и инструмент.

Приобретенные СТО – это средства восстановления, изготовленные вне предприятия и поступившие на него за плату в виде товарной продукции или бесплатно в результате передачи с баланса на баланс предприятий. СТО, изготовленные в собственном вспомогательном производстве, – это средства восстановления, произведенные на предприятии по конструкторской документации, разработанной инженерными службами предприятия или приобретенной на стороне.

*Технологическое оборудование* – это технологические машины, необходимые для облегчения физического или умственного труда человека при обработке предметов восстановления. Эти устройства обладают определенностью движений своих частей, используют энергию неживой природы и целесообразно преобразуют материалы, энергию и (или) информацию.

*Технологическая оснастка* представляет собой устройства, которые расширяют технологические возможности оборудования и применяются только вместе с ним.

Технологическую оснастку и заготовки устанавливают на технологическое оборудование с целью выполнения части технологического процесса.

*Приспособление* – это технологическая оснастка, предназначенная для установки или направления предмета восстановления либо инструмента при выполнении технологической операции.

*Инструмент* – это технологическая оснастка, служащая для воздействия на предмет восстановления с целью изменения его состояния, которое определяют с помощью мер и (или) измерительных приборов.

Технологическая подготовка ремонтно-восстановительного производства требует больших материальных, трудовых и энергетических затрат. Например, силами вспомогательного производства ремонтного завода при освоении ремонта двигателя новой модели создают 100...200 ед. оборудования, которым почти полностью оснащены разборочно-очистной, комплектовочно-сборочный, окрасочный и испытательный участки. Несколько тысяч приспособлений расширяют технологические возможности приобретенного оборудования. Каждая технологическая операция требует создания контрольных средств для измерения параметров расположения деталей и функциональных характеристик сборочных единиц. Трудоемкость изготовления СТО ремонта составляет 50...350 тыс. чел.-ч, что соответствует более чем полугодовому объему трудоемкости основного производства.

*Универсальное оборудование* (металлорежущее, кузнечно-прессовое, термическое и др.) обладает широкими технологическими возможностями.

ми. Необходимое количество  $n_y$  такого оборудования определяют по формуле

$$n_y = \frac{N \sum_{i=1}^{i=n} t_p (1 + k_n)}{\Phi_{д.о}}, \quad (1.3)$$

где  $N$  – годовой объем ремонта изделий, ед.;  $t_p$  – станкоемкость работ  $i$ -го вида ( $i = 1, \dots, n$ ), отнесенных к ремонтируемому изделию и выполняемых на данном виде оборудования, станко-ч;  $k_n$  – коэффициент, учитывающий переналадку оборудования цеховыми средствами;  $\Phi_{д.о}$  – действительный фонд работы оборудования, ч.

С целью увеличения производительности или точности обработки одиотипных деталей часть универсального оборудования (чаще металлорежущего) превращают в *специализированное оборудование* путем заводской модернизации. Технологические возможности специализированного оборудования уже соответствующего показателя универсального оборудования.

*Специальное оборудование* выполняет узкую технологическую функцию над предметом восстановления определенной модели, обладает наибольшей производительностью и обеспечивает наивысшую точность. Это, например, шлифовальные станки для обработки коренных или шатунных шеек коленчатых валов двигателя одной модели; расточные станки для одновременной обработки коренных опор, втулок распределительного вала и отверстия под стартер в блоке цилиндров; контрольные стенды и др. Металлорежущее специальное оборудование выполняют на станкозаводах по заказу. Специальные металлорежущие станки – это модификации универсальных станков, значения основных параметров которых отличаются от стандартных. Эти станки оснащены наладками (или подготовленные под установку наладок) и устройствами для обработки конкретных деталей. Остальное специальное оборудование изготавливают, так правило, в инструментальном цехе (на участке) ремонтного завода.

Количество единиц  $n_c$  специального оборудования определяют по формуле

$$n_c = \frac{N t_o k_o}{\Phi_{д.о}}, \quad (1.4)$$

где  $t_o$  – станкоемкость операции, станко-ч;  $k_o$  – коэффициент выполнения операций.

В зависимости от приспособленности к воздействиям на изменяемый предмет восстановления различают оборудование перестраиваемое, перенастраиваемое и гибкое.

*Перенастраиваемое оборудование* может быть перестроено на обработку другой детали или группу деталей при затратах средств и труда соизмеримых с его стоимостью.

*Перенастраиваемое оборудование* при переходе на обработку других деталей не требует дополнительных вложений и остановки производства, только увеличивает текущие расходы.

*Гибкое оборудование* при переходе на обработку другой детали или группы деталей не требует ни дополнительных вложений, ни остановов производства, ни увеличения текущих расходов.

### 1.5.2. Классификация средств технологического оснащения

Системная классификация средств восстановления служит целям упорядочения и сокращения объемов аналитического исследования, уменьшения трудоемкости проектирования и изготовления технологических машин и их частей, повышения серийности изготовления за счет выделения их групп (классов) со схожими или одинаковыми функциями и параметрами.

Множество наиболее существенных признаков предмета восстановления находится в соответствии с признаками технологических функций (процессов, операций, переходов) средств восстановления.

Устранение неисправностей и восстановление ресурса ремонтируемой техники требуют технологических машин таких классов: для предремонтного диагностирования; разборочных; очистных; для определения технического состояния деталей ремонтного фонда; для создания ремонтных заготовок; обрабатывающих; контрольно-измерительных; балансировочных; комплектовочных; сборочных, окрасочных; испытательных; для перемещения предмета восстановления; для переработки отходов.

Декомпозиция функций технологических машин на функции их исполнительных агрегатов и формирование схожих множеств последних на идеях кластерного анализа позволяют установить классификационные группы. В группы включаются однофункциональные устройства, близкие по конструктивным признакам. В качестве меры близости устройств между собой принимается евклидово расстояние  $L$ :

$$L = L_{kn} / R_{kn} = \sqrt{\sum_{r=1}^m (l_{rk} - l_{rn})^2} \rightarrow \min, \quad (1.5)$$



де  $L_{kn}$  – подмножество устройств с однородными функционально-конструктивными признаками;  $R_{kn}$  – число несовпадающих признаков между собой у  $k$ -го и  $n$ -го элементов;  $l_{rk}$  и  $l_m$  – значения  $r$ -го признака элементов с номерами  $r$  и  $k$ ;  $m$  – число показателей.

Анализ результатов декомпозиции функции технологических машин приводит к таким обобщениям:

1) сопоставление подмножеств технологических признаков агрегатов, входящих в машины для определения технического состояния деталей и сборочных единиц (предремонтного диагностирования), испытания и обкатки, не подтвердило правомерность отнесения этих машин к разным классам;

2) наибольшей применяемостью обладают устройства для базирования и закрепления предмета восстановления, приложения разборочных и сборочных усилий и моментов, внутриоперационного перемещения изделий, измерения длин, формы и расположения поверхностей, расходов и давления сред, вращательного и поступательного перемещений деталей или сборочных единиц;

3) наиболее насыщены различными исполнительными агрегатами разборочные, сборочные, контрольно-сортировочные, для нанесения покрытий, металлообрабатывающие и испытательные средства;

4) включение в состав технологических машин устройств для подачи и ориентирования комплектующих деталей на контрольно-сортировочных, комплектовочно-сборочных и обрабатывающих операциях существенно сокращает (в 1,5...2,5 раза) трудоемкость этих операций и повышает уровень их механизации.

Таким образом, множество технологических машин восстановительного производства может быть представлено 12-ю классами машин: разборочных, очистных, для определения технического состояния деталей ремонтного фонда, нанесения покрытий, обрабатывающих, контрольно-измерительных, балансировочных, комплектовочно-сборочных, окрасочных, обкаточно-испытательных, для перемещения предмета восстановления, для переработки отходов.

Множество технологических переходов, выполняемых основными исполнительными агрегатами технологического оборудования, приведено на рис. 1.5.

Результаты классификации технологических машин и их составных частей применяют при выборе аналогов устройств, поиске новых их видов и составлении морфологических матриц. Многообразие потребностей в технологических воздействиях на восстанавливаемые изделия может быть удовлетворено примерно 50-ю типами исполнительных агрегатов.



**Рис. 1.5. Вариационный ряд количества технологических переходов  $n$ , отнесенных к восстановлению деталей одного ремонтируемого двигателя**

Этот важный вывод о структуре технологических машин позволяет сосредоточить основные проектные работы на разработке небольшой номенклатуры исполнительных агрегатов и их рядов, из которых могут быть скомпонованы различные машины.

Анализ затрат на создание и эксплуатацию исполнительных агрегатов показывает, что наибольшее влияние на этот показатель оказывают

масса предмета восстановления, площадь восстанавливаемых поверхностей деталей, моменты и усилия разборки и сборки, точность обработки. К снижению затрат приводят широкое применение энергии неживой природы, повышение скоростей рабочих движений и совмещение технологических переходов во времени.

### 1.5.3. Система создания средств технологического оснащения

Система средств восстановления деталей – это иерархическое многоуровневое множество технологических машин основного производства, необходимое для выполнения технологических воздействий на восстанавливаемые детали на пути их превращения из состояния ремонтного фонда в состояние товарной продукции. Система средств восстановления деталей рассматривается на уровнях исполнительных агрегатов технологических машин и самих машин (табл. 1.2).

### 1.2. Содержание мероприятий и научно-методическая база по созданию материальной базы восстановительного производства

Система технологических воздействий		Система методов синтеза технологических машин	Критерии оптимизации
Переходы	Исполнительные агрегаты и их ряды	Структурный синтез разнофункциональных исполнительных агрегатов (модулей)	Затраты
		Параметрический синтез рядов исполнительных агрегатов (модулей)	
Операции	Технологические машины	Компоновочный синтез технологических машин	Производительность
Процессы	Комплексы технологических машин	Планировочный синтез комплексов технологических машин	Площадь; транспортная работа

Постановка задачи по проектированию средств восстановления собственного изготовления – описать систему элементов в их связях и отношениях, обеспечивающих безусловное выполнение совокупности технологических переходов над предметом восстановления с определением его промежуточных и конечного состояний при минимальном расходе производственных ресурсов.

Технологическим заданием на проектирование является множество технологических переходов со стороны средств восстановления на предмет восстановления, которое должно быть выполнено.

Действующие методы проектирования и создания СТО восстановления деталей, за небольшим исключением, ориентированы на создание единичных технологических машин. В результате проектирования получают специальные непереналаживаемые машины единичного изготовления, многие из которых полностью или частично дублируют друг друга выполняя отдельные технологические операции. Построение из этих машин системы оборудования отдельных участков восстановительного производства не приводит к оптимальным результатам.

Предложенный метод проектирования СТО восстановительного производства основан на системном подходе и базируется на диалектическом единстве их анализа и синтеза.

*Анализ* средств восстановления деталей в данном случае представляет собой декомпозицию системы действующих средств восстановления на части, их классификацию и изучение с целью отбора по критериям эффективности лучших образцов для дальнейшего применения. Анализ устанавливает зависимости между основными компонентами технологической подготовки восстановительного производства, оценивает количественно эти зависимости и находит локальные оптимумы целевых функций.

*Синтез* – это теоретическое соединение по установленным правилам друг с другом лучших частей средств восстановления деталей, выделенных при анализе, с добавлением перспективных и прогрессивных элементов и последующим образованием новой, более эффективной системы средств восстановления. Синтез включает образование многоуровневых структур создаваемой системы, формализацию этих структур и оптимизацию за счет нахождения области глобальных оптимумов целевых функций. Синтез – основной и заключительный этап проектирования.

Система методов синтеза средств восстановления деталей учитывает органичное соответствие технологических объектов их функциям: и дополнительный агрегат выполняет технологический переход, технологическая машина – технологическую операцию, а комплекс машин производственного участка обслуживает технологический процесс.

Различают структурный и параметрический синтезы создаваемых систем восстановления и соответствующую оптимизацию. *Структурный синтез* – это описание различных структур технологических объектов, а выбор из них наилучшего варианта является структурной оптимизацией. Учет внутренних параметров системы составляет предмет *параметрического* синтеза, а выбор наилучшей совокупности параметров, оптимальной с позиций принятых критериев, при заданной структуре объектов представляет собой параметрическую оптимизацию.

На стадии структурного синтеза находят множество новых прогрессивных технических решений, а на стадии параметрического синтеза тиражируют эти решения с измененными значениями их главного параметра. Здесь учтены действие законов возникновения и развития технических систем, соотношение новизны и преемственности технических решений.

Методы синтеза основаны на законах увеличивающегося многообразия технических систем и ограниченного многообразия их видов. Суть этих законов заключается в следующем.

Закон увеличивающегося многообразия развивающейся технической системы при различных формах преобразований ее исполнений и обновления их компонентов (смена, дифференциация, интеграция) определяется таким образом: многообразие технической системы  $N$  при отсутствии ограничений в ее развитии увеличивается пропорционально параметрам интенсивности обновления  $P_n$ , интеграции  $P_{\text{и}}$  и дифференциации  $P_d$  исполнений системы по закону

$$N = N_0 P_n P_{\text{и}} P_d, \quad (1.6)$$

где  $N_0$  – число исполнений на начальном этапе развития системы.

Закон ограниченного многообразия исполнений технической системы выражается тем, что многообразие ее на любом этапе развития ограничено. Это обусловлено конечномерностью четырех определяющих факторов, к которым относятся: число исходных компонентов, образующих исполнение технической системы; число тактов преобразования множества исполнений технической системы; диапазоны параметров и потребностей.

Принцип единства изменяемости и повторяемости технической системы заключается в том, что элементы и связи между ними существуют и развиваются в диалектическом единстве. Принцип выражается целесообразной преемственностью, обязательным учетом достижений науки и техники, адаптивностью, совместимостью и взаимозаменяемостью элементов.

Метод компоновочного синтеза технологических машин оптимизирует решения при разработке структур их отдельных образцов. Метод дополняют технические решения при проектировании системы исполнительных агрегатов.

Свойства сложных объектов не исчерпываются только свойствами составляющих их элементов, а обусловлены также характером связей и отношений между всеми элементами. Синтез таких объектов во всей их сложности и в развитии целесообразен с позиций системного подхода.

*Системный подход* к проблеме создания средств восстановления предполагает:

- целостное рассмотрение (без пропусков и повторов) множества элементов исполнитель – средства восстановления – предмет восстановления, их функций, связей и отношений друг с другом и с элементами внешней среды, подчиненное цели технологической готовности производства;

- определение функции цели как затрат прошлого (овеществленного), настоящего (живого) и будущего труда на создание и функционирование системы;

- выявление системного эффекта в виде разности затрат, с одной стороны, на создание комплекса единичных машин, а с другой стороны на создание системы их упорядоченного множества;

- наличие обратной связи как выяснение разницы в стоимостном выражении между входами и выходами системы для принятия промежуточных решений;

- учет ограничений, выражаемых установленными сроками и объемами выпуска продукции и значениями показателей ее качества.

Такой подход обеспечивает проектирование системы СТО восстановительного производства, оптимальных с позиций принятых критериев и минимальной трудоемкости проектирования.

Множество работ по проектированию средств восстановления деталей, основанное на системном подходе, содержит:

- выбор функции цели;
- выбор критериев оптимизации для различных этапов проектирования
- определение спектра потребностей в исполнительных агрегатах технологических машин;
- синтез структур исполнительных агрегатов различных типов;
- синтез типоразмерных рядов агрегатов;
- компонование отдельных машин.

Проектирование средств восстановления по приведенной схеме с использованием принципа обратной связи обеспечивает непрерывный

технико-экономический анализ разработки путем соизмерения результата с соответствующими затратами и не допускает неэффективные решения на последующие стадии проектирования.

Таким образом, задача проектирования системы средств восстановления деталей решается путем определения видов и распределений множеств технологических переходов на предмет восстановления, разработки для каждого вида переходов базового исполнительного агрегата, расчета типоразмерных рядов исполнительных агрегатов и составления компоновок технологических машин для выполнения технологических операций.

Предложенный концептуальный подход к созданию системы средств восстановления включает представление основного материального объекта восстановительного производства – СТО – в виде их целостного многоуровневого иерархического множества, выполняющих соответствующие технологические функции (переходы, операции и процессы); систему методов синтеза каждого уровня элементов и многоуровневую оптимизацию. Система методов синтеза средств и процессов обеспечивает получение эффективных и новых патентоспособных технических решений. Практическое применение предложенных методов обеспечивает безусловный уровень качества технологических воздействий, сокращает объем проектных работ в 2...3 раза и уменьшает на 30...50 % объемы работ по изготовлению и вводу в эксплуатацию средств восстановления деталей.

#### **1.5.4. Структурный синтез исполнительных агрегатов (модулей) средств технологического оснащения**

*Исполнительный агрегат технологической машины* – это ее унифицированный элемент, полностью взаимозаменяемый с другими элементами и выполняющий часть технологической операции.

*Основной исполнительный агрегат технологической машины* – это агрегат, предназначенный для выполнения функции основного перехода.

*Вспомогательный исполнительный агрегат технологической машины* – агрегат, рассчитанный на выполнение функции вспомогательного перехода.

*Функциональный модуль* – исполнительный агрегат технологической машины, общий для нескольких разнофункциональных технологических машин.

Постановка задачи структурного синтеза агрегата: из числа существенных признаков исполнительного агрегата построить такую его струк-

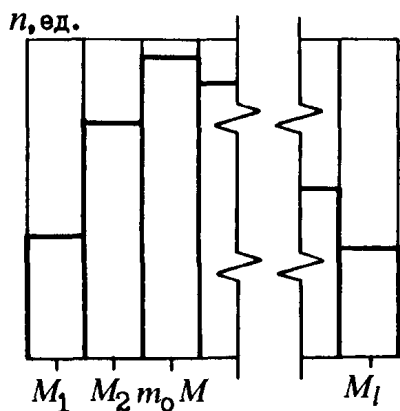


Рис. 1.6. Гистограмма распределения количества однотипных технологических переходов  $n$  со значениями главного параметра  $M_1, M_2, \dots, M_i$ :  $m_0 M$  – модальное значение главного параметра

дов по значениям их параметров (рис. 1.6) и находится в результате разработки необходимых технологий. Множество переходов классифицируют без пропусков и повторений по их типам и значениям. Часть функций, выполняемая средствами восстановления, которые изготовляют на специализированных предприятиях и которые поступают на ремонтное производство в виде товарной продукции, вычитается из начального множества функций. Остальная их часть в виде гистограмм распределений учитывает такие параметры: площади загрязнений на деталях ремонтного фонда; моменты отворачивания одиночных и групповых резьбовых соединений; усилия разборки прессовых соединений; площади поверхностей, на которые наносят восстановительные покрытия; размеры элементов, подвергаемых различным видам механической и термической обработки; массу деталей, подаваемых на позиции сортировки, обработки и контроля, и др.

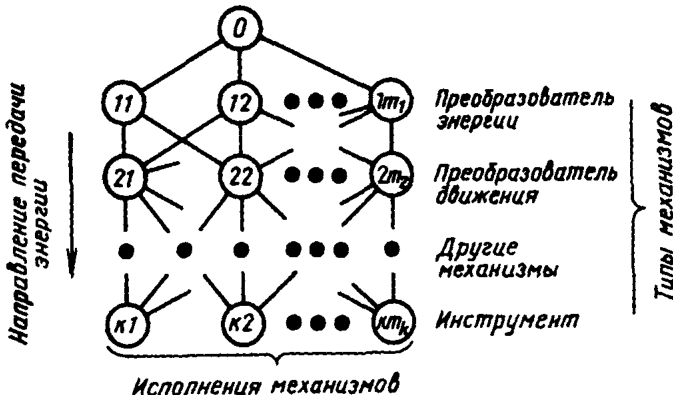
Решение базируется на графоом представлении возможных вариантов структуры агрегата и поиске его оптимальной структуры с применением аппарата динамического программирования.

Структура агрегата (рис. 1.7) описывается графом  $\Gamma$ , множество вершин которого  $p_{ij}$  соответствует множеству существенных матери-

туру, чтобы он выполнял заданную технологическую функцию, но требовал минимальных затрат на свое создание и эксплуатацию. Существенные признаки агрегата – это составляющие агрегат элементарные механизмы, их связи и отношения между собой. В структуре агрегата каждый из механизмов необходим, а все вместе достаточны для обеспечения заданной функции агрегата. Заданная функция – это предписанный технологический переход (основной или вспомогательный) над предметом восстановления. Затраты относят к одному технологическому переходу.

Потребность в средствах восстановления деталей выражается множеством распределений одноименных технологических переходов





**Рис. 1.7. Граф структур исполнительного агрегата:**

$1, 2, \dots, k$  – типы механизмов;  $m_1, m_2, \dots, m_k$  – количество видов механизмов первого, второго,  $k$ -го типов соответственно

**льных признаков.** Основываясь на идеях «морфологического анализа»

●. Цивикки, граф строит из горизонтальных рядов вершин, каждый из которых представляет множество  $i$  исполнений механизма  $j$ -го типа:

$$p = \{p_{ij}\},$$

где  $i = \{1, \dots, m\}$ ;  $j = \{1, \dots, n\}$ .

Множество дуг графа  $I_{ij}$  соответствует приведенным затратам на создание и эксплуатацию последующего механизма. Таким образом, структура графа описывается выражением

$$\Gamma = \{p_{ij}, l_{ij}\}. \quad (1.7)$$

Следование ярусов графа сверху вниз соответствует направлению **передачи** движения или энергии.

Варианты частей агрегата находятся из логических и эвристических представлений о различных видах преобразования энергии и движения, различных значений энергии и давления, разных конструкций элементов и их взаимного расположения. Глубину поиска обеспечивают широкий учет применяемых и мыслимых признаков механизмов и рассмотрение множества различных как известных, так и новых сочетаний признаков.

В восстановительном производстве применяется небольшая доля физических эффектов, описанных в технической литературе. Это связано

с неудовлетворительным уровнем научно-технической информации и научно-лабораторной базы предприятий и недостаточным вниманием к фундаментальным исследованиям. Эти факты объясняет невысокий уровень как самих средств технологического оснащения, так и технологических решений.

Поиску новых образцов технических объектов и протекающих с помощью них процессов посвящена обширная литература. Для этой цели применяют методы: логические, эвристические, альтернативного поиска, инверсии, комбинирования и алгоритмические.

Логические методы основаны на законах формальной логики, ассоциаций и генерирования идей.

Эвристические методы (аналогий, контрольных вопросов, репродукций, прецедента, модификаций и др.) развивают интуицию разработчика на основании рассмотрения объектов живой и неживой природы прошлого и настоящего.

Методы альтернативного поиска основаны на комплексном использовании приемов поиска, образующих альтернативные пары прием – антиприем, например: уменьшение – увеличение, миниатюризация – гиперболизация, микроидеализация – макроидеализация.

Методы инверсии (физических величин, параметров, направлений действия, материалов, энергии, информации, рабочих процессов, формы, свойств и др.) играют важную роль в техническом творчестве. Они предусматривают поиск технических решений в направлениях, существенно отличающихся от принятых в конструировании аналогичных объектов.

Методы комбинирования базируются на системном анализе основных признаков изделия, образующих техническое описание его конструктивных исполнений. Использование методов связано с синтезом новых технических решений в целом по объекту и перспективному многообразию его исполнений. Методы включают: разделение функций (параметров) на упорядоченные множества; классификацию подфункций и составление «морфологического ящика»; установление ограничений; отбор совместимых и целесообразных решений.

Из алгоритмических методов наиболее известен алгоритм решения изобретательских задач Г.С. Альтшуллера, включающий: уяснение условий задачи, преодоление привычных представлений об объекте и психологической инерции, системный подход, определение идеального конечного результата и использование типовых приемов решения. Алгоритм содержит девять этапов решения:

– переход от расплывчатой изобретательской ситуации к четко построенной и предельно простой схеме задачи;

- учет имеющихся ресурсов пространства, времени, вещества и полей, которые можно использовать при решении задачи;
- определение образа идеального решения и физического противоречия, мешающего достижению этого решения;
- продолжение поиска решения, основанного на использовании ресурсов вещества и поля с наименьшими затратами;
- применение опыта, имеющегося в информационном фонде алгоритма;
- изменение задачи путем снятия первоначальных ограничений;
- проверку качества полученного ответа по критерию затрат на преодоление физического противоречия;
- определение возможности максимального использования ресурсов найденной идеи;
- анализ хода решения.

На основании приведенного алгоритма в Минске разработана компьютерная программа «Изобретающая машина».

Рассмотренные методы отличаются друг от друга как сложностью, так и эффективностью поиска. Однако обнаруживается аналогия в структуре и элементах этих методов. Во-первых, процесс решения делится на ряд этапов; во-вторых, наблюдается определенная последовательность этапов, содержащаяся в методах.

А.И. Половинкин выдвинул гипотезу о возможности построения обобщенного метода, содержащего единую последовательность наиболее общих этапов, которой подчинено расположение этапов в рассмотренных методах. Алгоритм обобщенного метода содержит массивы информации:

- список требований, предъявляемых к техническим решениям;
- фонд физических эффектов;
- фонд технических решений, включающий последние наиболее эффективные запатентованные решения;
- список поисковых процедур;
- список методов оценки и выбора вариантов технических решений.

Обобщенный метод А.И. Половинкина имеет наиболее полную методическую завершенность, однако в полном объеме его база знаний не опубликована. Этот пробел в литературе по техническому творчеству восполняют книги В.Н. Глазунова.

В связи с непрерывным процессом развития науки и техники методы поиска новых технических решений должны отражать происходящие процессы и развиваться. Применительно к алгоритму А.И. Половинкина возможными путями развития являются:

- обновление массивов информации;
- разработка эффективных поисковых процедур и эвристических приемов;
- оптимизация состава процедур на всех этапах алгоритма;
- комплексная формализация процедур;
- перенос алгоритма на машинные носители;
- создание соответствующей человеко-машинной программы.

Однако обобщенный алгоритм трудоемок и при введении ограничений на создание новых устройств вырождается в один из ранее рассмотренных частных методов.

Стремление формализовать поиск новых устройств заставляет выбирать подходящий метод из числа логико-эвристических.

Из их числа наиболее подходящим является морфологический анализ Ф. Цвикки. Трудности применения метода заключаются в сложности выделения наиболее эффективного варианта из синтезируемых устройств.

Подмножество вершин, взятых по одной из каждого ряда графа (1.7), определяет одно исполнение агрегата, а число таких исполнений достигает значения  $m_1 m_2 \times \dots \times m_k$ . Несовместимость некоторых признаков между собой сокращает количество вариантов агрегата. Множество сочетаний признаков агрегата  $W$ , находящихся в конъюнктивно-дизъюнктивных связях И – ИЛИ, выражается соотношением

$$W \subseteq \left\{ (p_{11} \cup p_{12} \cup \dots \cup p_{1m_1}) \cap (p_{21} \cup p_{22} \cup p_{2m_2}) \cap \dots \right. \\ \left. \dots \cap (p_{k1} \cup p_{k2} \cup p_{km_k}) \right\}. \quad (1.8)$$

Длину каждого ребра графа определяют как затраты на создание и эксплуатацию последующего механизма, отнесенные к одному технологическому переходу. Расчет ведут для модального значения гистограммы потребностей в агрегатах данного типа.

Подмножество вершин на кратчайшем пути из вершины  $O$  в одну из вершин нижнего ряда вершин графа определяет соответствие оптимальной структуре агрегата. Искомый путь между указанными вершинами определяют с помощью принципа оптимальности Р. Беллмана, используя свойство аддитивности целевой функции по составным частям агрегата, для чего находят направления движения из каждой вершины графа с помощью рекуррентного соотношения

$$l_{i+1} = \min (\text{по всем } i \text{ и } j) [l_{(i+1)-i} + l_j], \quad (1.9)$$

$i$  – затраты на технологический переход, отнесенные к  $i$  механизмам агрегата, при условии, что соответствующий участок пути выбран оптимальным образом;  $l_{i+1}$  – затраты, отнесенные к  $i+1$  механизмам;  $l_{(i+1)-i}$  – затраты, отнесенные к присоединению  $(i+1)$ -го механизма агрегата к  $i$  механизмам.

Принцип оптимальности Р. Беллмана заключается в том, что, каково бы ни было состояние системы в результате определенного числа шагов, последующее управление на ближайшем шаге выбирается таким образом, чтобы оно в совокупности с оптимальным управлением на всех последующих шагах приводило к максимальному выигрышу на всех оставшихся шагах, включая данный.

Выбранные на графе направления движения из его вершин обозначают стрелками. Эти связи обуславливают оптимальные сочетания механизма на предыдущих шагах с механизмами на последующем шаге. Расчеты при этом ведут от вершин нижнего ряда к вершине  $O$ . В вершины графа вписывают значения  $l_{i+1}$ .

Двигаясь из вершины  $O$  графа в найденных направлениях через одну из вершин каждого яруса графа, находят сочетания механизмов агрегата, характеризующиеся при прочих равных условиях наименьшими приведенными затратами, отнесенными к одному технологическому переходу. Соответствующее значение целевой функции читают в верхней вершине графа.

Спроектированные агрегаты как основания параметрических рядов или модулей являются законченными объектами. Их устройства отвечают требованиям разнообразных по назначению машин с минимальным количеством стыков.

**Пример** разработки технологического модуля для очистки деталей от маслогрязевых и асфальтосмолистых загрязнений в растворах синтетических моющих средств.

Комплект очищаемых деталей двигателя от указанных загрязнений включает: блок цилиндров, шатуны, поршни, коленчатый и распределительный валы, крышки, картеры и другие детали. Для очистки применяют водный раствор Лабомид-101 или -203 при температуре 80...90 °С. Массовая доля очистных средств составляет 20...30 г/л. Технологический модуль образуется из шести типов устройств (табл. 1.3), выполняющих функции подачи деталей в зону очистки, технологического перемещения деталей в рабочей камере, подогрева раствора, взаимодействия раствора с деталями активации очистного раствора и его регенерации. Устройство

**1.3. Морфологическая матрица составляющих устройств технологического модуля для очистки деталей от маслогрязевых и асфальтосмолистых загрязнений в растворах ТМС**

Наименования признаков	Координаты вершин (см. рис. 1.8)	Затраты, доля М (минимальной заработной плат
Подача деталей в зону очистки:		
– конвейером	2a	0,01
– транспортером	2б	0,03
– кран-балкой	2г	0,04
– вручную	2д	0,11
Виды движения деталей в рабочей камере:		
– прямолинейное горизонтальное	3a	0,12
– возвратно-поступательное в вертикальной плоскости	3б	0,25
– маятниковое вокруг горизонтальной оси	3г	0,14
– вращательное вокруг горизонтальной оси	3д	0,09
Способ подогрева раствора:		
– паровыми регистрами	4a	0,38
– подачей пара в раствор	4б	0,46
– теплоэлектронагревателями	4г	0,25
– пленочными нагревателями	4д	0,19
Виды взаимодействия раствора с деталями:		
– статическое	5a	0
– струйное	5б	0,48
– вихревое	5д	0,36
Виды активации очистного раствора:		
– лопастным винтом	6a	0,43
– ротором-активатором	6б	0,34
– наложением ультразвуковых колебаний	6д	0,68
Виды регенерации очистного раствора:		
– отстаиванием	7a	0,18
– коагуляцией	7б	0,14
– флотацией	7г	0,12
– фильтрованием	7д	0,08

каждого типа может быть выполнено в различных видовых исполнениях. Сведения о морфологической матрице представлены в виде графа (рис. 1.8), который формирует 2304 варианта модуля. Значения затрат приведены в долях минимальной заработной платы (МЗП).

Оптимизационные расчеты начинаем с определения путей движения из вершин предпоследнего, шестого яруса графа, поскольку ниже седьмого яруса значения затрат  $l_i$  формально равны нулю.

Сравниваем между собой пути, выходящие из вершин *ба*, *бв* и *бд*.

Все самые короткие пути из указанных вершин ведут в вершину *7д*. Все дуги, ведущие в эту вершину, ориентируем стрелками, а в вершины шестого яруса вписываем значение функции  $l_{i+1} = 0,08$  МЗП.

Аналогично все самые короткие из всех вершин пятого яруса ведут в вершину *бв*, из вершин четвертого яруса – в вершину *5а*, из вершин третьего яруса – в вершину *4д* и из вершин второго яруса – в вершину *3д*. Из вершины *1в* возможны четыре пути движения, но самый короткий из них ведет в вершину *2а*. Отмеченные короткие пути между вершинами смежных ярусов обозначаем стрелками, а в вершины графа вписываем соответствующие значения функции  $l_{i+1}$ .

Теперь легко найти самый короткий путь из вершины *1в* в одну из вершин седьмого яруса. Этот путь вычитывается, если двигаться из вершины *1в* в направлении ориентированных дуг. Кратчайший путь проходит через вершины *1в – 2а – 3д – 4д – 5а – 6в – 7д*. Значение функции затрат равно 0,71 МЗП. Прохождение кратчайшего пути через вершину *5а* соответствует очистке деталей без движения в очистном растворе, что весьма эффективно при очистке деталей в межсменное время при отключенной подаче тепла на нагрев раствора. Эту возможность нельзя использовать в течение рабочей смены. Поэтому мысленно исключаем из графа вершину *5а* и связанные с ней дуги.

После повторения расчета получаем сочетание вершин графа: *1в – 2а – 3д – 4д – 5д – 6в – 7д*. Оно описывается конструктивными признаками: комплект деталей на очистку подают конвейером, устройство для перемещения деталей в рабочей камере обеспечивает их вращение вокруг горизонтальной оси, нагрев технологического раствора производится пленочными нагревателями, раствор взаимодействует с очищаемыми деталями вихрями в сплошной среде (что достигается при погружном способе очистки), раствор активирован применением роторов-активаторов, раствор регенерируют с помощью механических фильтров. Новое значение функции затрат на очистную операцию равно 1,05 МЗП.

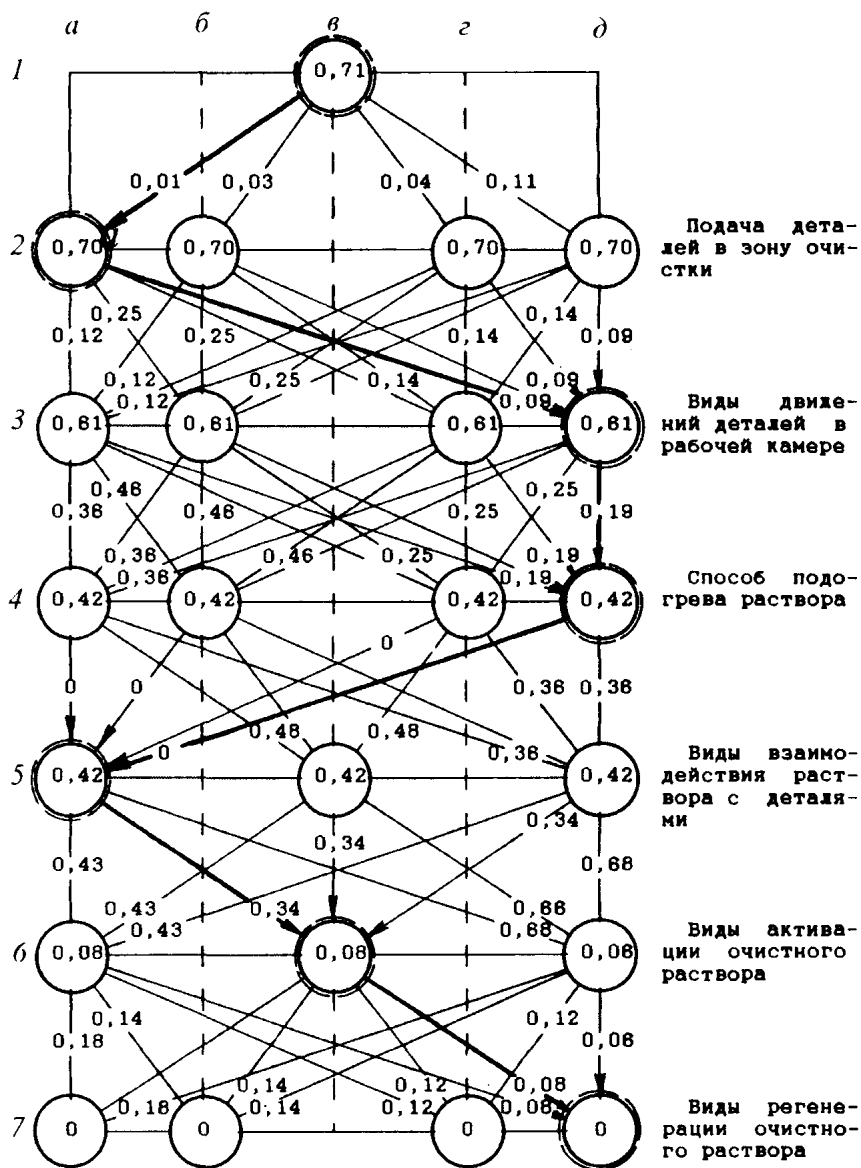


Рис. 1.8. Граф составляющих устройств технологического модуля для очистки деталей от маслогрязевых и асфальтосмолистых загрязнений в растворах ТМС



Принципиальное устройство разработанного технологического модуля показано на рис. 1.9. Он выполнен в виде погружной машины крестово-роторного типа и включает: ванну 5, внутри которой на опорах установлен вал 4 с крестовинами; теплообменник 7; роторы-активаторы 1; маслосборник 6 и устройство для сбора загрязнений 2 с насосом 8. На шипы крестовины подвешиваются контейнеры 3 с деталями. Вал приводится во вращение от электродвигателя через клиноременную передачу и редуктор. Дно ванны выполнено с уклоном для облегчения удаления шлама. Устройство фильтрации (на схеме не приведено) непрерывно очищает раствор при работе модуля.

Технологический модуль работает следующим образом. Контейнеры с очищаемыми объектами устанавливают на шипы крестовин при открытой крышке ванны. Включают привод вращения вала. Контейнеры с объектами очистки периодически, с частотой  $3 \dots 10 \text{ мин}^{-1}$ , погружаются в очистной раствор и извлекаются из него. Частота вращения вала выбирается из расчета, чтобы раствор успевал заполнять полость агрегата и вытекать из нее во время нахождения очищаемого объекта в растворе и над ним соответственно. Это обеспечивает непрерывное обновление раствора на очищаемой поверхности детали и высокую скорость диффузионных процессов в граничном слое жидкости.

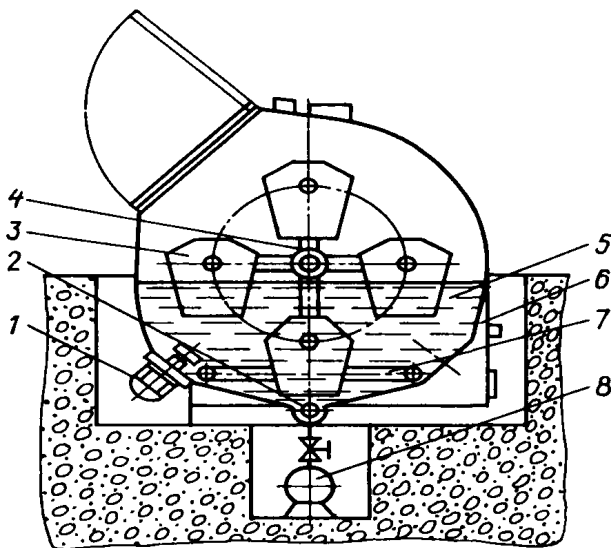


Рис. 1.9. Технологический модуль для очистки деталей от маслосляезовых и асфальтосмолистых загрязнений

Интенсивность погружной очистки увеличивается при гидродинамической активации очистного раствора за счет радиальных турбулентных потоков раствора.

### **1.5.5. Параметрический синтез рядов исполнительных агрегатов**

Параметрический синтез исполнительных агрегатов СТО как этап проектирования учитывает тот факт, что однофункциональные воздействия на предмет восстановления описываются различными значениями основного параметра (массой перемещаемого предмета восстановления, моментом вращения и др.).

Постановка задачи построения оптимального параметрического ряда (ОПР) однотипных агрегатов – построить ряд агрегатов с такими значениями главного параметра, чтобы удовлетворялась потребность в этих агрегатах с наименьшими затратами. Задачу решают путем составления множества различных рядов агрегатов без пропусков и повторений и разработки алгоритма выбора из этого множества значений параметра, обеспечивающего минимум затрат на создание и функционирование агрегатов ряда.

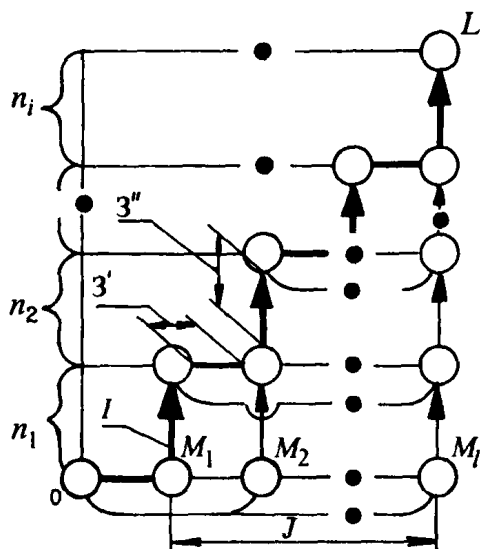
На стадии параметрического синтеза сохраняют конструктивную схему устройства, тем самым ограничивают множество его исполнений и обеспечивают преемственность.

Исходными данными для решения этой задачи являются результаты решения задачи синтеза оптимальной структуры агрегата, а также гистограмма спроса на агрегаты с различными значениями главного параметра, сведения о затратах на эксплуатацию агрегатов при разных значениях главного параметра, производительность агрегатов.

Агрегаты, входящие в параметрические ряды, служат для выполнения одного несложного перехода, поэтому для них возможно выделение одного главного параметра, с которым связаны существенные характеристики этих агрегатов.

Ряд агрегатов находят по следующей схеме.

Строят интегральную функцию спроса в координатах главный параметр – потребность (рис. 1.10). Функция представляет собой сумму технологических переходов в год  $n_i$ , выполняемых агрегатами со значениями главного параметра, не превосходящими значение  $M_i$  ( $i = 1, \dots, l$ , где  $l$  – число дискретных значений главного параметра). Кумулята начинается в вершине  $O$  и заканчивается в вершине  $L$ . Отличие любых двух значений главного параметра друг от друга, отложенных по оси абсцисс,



**Рис. 1.10. Схема интегральных гистограмм спроса ( $I$ ) и предложений на ряды агрегатов с различными значениями главных параметров:**

$n_1, n_2, \dots, n_i$  – потребность в агрегатах, выраженная годовым количеством технологических переходов, выполняемых этими агрегатами;  $M_1, M_2, \dots, M_l$  – значения главного параметра;  $J$  – отрезок значений главного параметра;  $3'$  – затраты на ввод в действие агрегатов;  $3''$  – затраты на эксплуатацию агрегатов (технологическая себестоимость);  $O$  и  $L$  – начальная и конечная вершины кумуляты

должно быть соразмерно с точностью экономических расчетов, сопутствующих проектированию механизмов. Это отличие должно в 2...3 раза превосходить относительную величину экономического допуска расчетов эффективности проектируемых механизмов. Так, например, использование метода удельных показателей дает ошибку прогноза себестоимости механизмов до 50 %, балльного метода – до 20 %, метода корреляционно-го анализа – до 10 %, а методов, основанных на изучении парка деталей СТО, – до 5 %.

Агрегат со значением главного параметра  $M$ , может выполнять все функции агрегатов с предыдущими значениями главного параметра.

В выбранных координатах строят множество различных рядов агрегатов, удовлетворяющих функции спроса. Этому условию соответствуют кумуляты, начинающиеся в точке  $O$ , оканчивающиеся в точке  $L$  и расположенные внутри контура, ограниченного кумулятой спроса, горизонта-

лю и вертикалью, проходящими соответственно через точки  $O$  и  $L$ . Каждый из путей движения из точки  $O$  в точку  $L$  определяет одно сочетание параметров агрегатов, удовлетворяющее функции спроса. Число различных параметрических рядов, образованных из агрегатов с числом значений главного параметра  $l$ , равно  $2^l$ . Граф образуется из вершин, горизонтальных и вертикальных ребер. Горизонтальные ребра соответствуют вводу в действие агрегатов с фиксированными значениями главного параметра, вертикальные – эксплуатации агрегатов.

Определяют затраты на ввод в действие агрегатов и их эксплуатацию. Затраты на ввод в действие  $З'$  (в рублях) соответствуют длине горизонтальных ребер, их величины рассчитывают по формуле

$$З' = k_1 K, \quad (1.10)$$

где  $k_1$  – доля капиталовложений, относящихся к году эксплуатации агрегатов;  $K$  – капиталовложения в агрегаты.

При расчете величины  $K$  учитывают фактор серийности – увеличение объема выпуска агрегатов с одним и тем же значением главного параметра уменьшает капиталовложения в отдельный агрегат.

Потребность во введенных агрегатах, выраженная количеством технологических переходов, определяют разностью между ординатой функции спроса и количеством переходов, выполняемых агрегатами с меньшими значениями главного параметра.

Величины  $З''$  равны значениям технологической себестоимости функционирования агрегатов.

Таким образом, длина пути из вершины  $O$  в вершину  $L$  определяет затраты на ввод в действие и эксплуатацию ряда агрегатов, приведенные к одному году функционирования.

Задача выбора ряда однотипных агрегатов средств восстановления деталей сводится к поиску кратчайшего пути между двумя заданными точками на координатной плоскости  $(M; \Sigma n_i)$ . Путь, соответствующий минимальному значению  $\Sigma З'_i + \Sigma З''_i$ , определяют решением рекуррентного соотношения

$$З_{j+1} = \min (\text{по всем узлам сети}) [З_{(j+1)-j} + З_j], \quad (1.11)$$

где  $j$  – шаги решения;  $З_{j+1}$  – затраты, соответствующие пути для  $j+1$  шагов, считая от вершины  $L$ , р.;  $З_j$  – затраты, соответствующие пути

движения для  $j$  шагов, при условии, что этот путь выбран оптимальным образом, р.;  $Z_{(j+1)-j}$  – затраты, соответствующие  $(j+1)$ -му шагу, р.

В вершины вписывают соответствующие значения  $Z_{j+1}$  и стрелками указывают направления движения из этих вершин на ближайшем шаге.

По соображениям полного использования агрегатов в параметрическом ряду путь движения из каждой вершины графа, не принадлежащей диагонали  $OL$ , направлен вертикально в верхнюю вершину. Движение из вершины  $(M_{l-1}, \Sigma n_l)$  возможно лишь по горизонтали вправо. Таким образом, неизвестными являются направления движения из остальных вершин диагонали  $OL$ , которых на одну меньше, чем значений главного параметра, используемых для построения дискретной кумуляты спроса.

После определения направления движения из первой вершины  $O$  становится известным общий оптимальный путь движения по сети вершин, который обеспечивает минимум приведенных затрат на ввод в действие и функционирование агрегатов ряда. Вершины перегибов найденного пути дают значения главного параметра агрегатов, составляющих ОПР. Полученные значения параметра должны быть согласованы с системой предпочтительных чисел.

Необходимость широкого рассмотрения всевозможных вариантов технических решений требует применения вычислительной техники. С целью сокращения трудоемкости расчетов при решении задач структурного и параметрического синтеза агрегатов и их рядов имеются программы для персональных ЭВМ как решение экстремальной задачи на сетях при нахождении кратчайшего расстояния между двумя заданными вершинами сети. Заданными вершинами являются вершина  $O$  и одна из вершин нижнего яруса (см. рис. 1.7 и вершины  $O$  и  $L$  на рис. 1.10).

**Пример определения ОПР исполнительных агрегатов для разборки прессовых сопряжений ремонтируемых двигателей.** Исполнительный агрегат для разборки прессовых сопряжений представляет собой устройство для создания разборочного усилия с установочным элементом для разбираемой сборочной единицы.

Морфологическая матрица существенных признаков исполнительных агрегатов строится на основе классификации этих агрегатов по виду энергии, используемой приводом. Рассматривают пневматические, гидравлические, электромагнитные и механические приводы. Последние два типа приводов получили ограниченное распространение в маломощных установках, их эксплуатация сопряжена с большими затратами. Парамет-

рический ряд исполнительных прессовых агрегатов целесообразно строить на базе одинарных пневматических или гидравлических цилиндров: одни участки ряда могут быть построены на пневматических, другие – на гидравлических приводах.

Число разбираемых сопряжений на одном ремонтируемом двигателе и усилия, необходимые для разборки сопряжения, приведены в табл. 1.4.

Функция спроса в исполнительных прессоразборочных агрегатах для участка с объемом разборки 25 тыс. двигателей в год, а также затраты на изготовление и эксплуатацию этих механизмов приведены в табл. 1.5, где объединены статистически неразличимые значения усилий для разборки сопряжений.

В составленной схеме поиска ОПР исполнительных агрегатов (рис. 11) в каждое пересечение координат плоскости ( $D_i, \Sigma n_i$ ) помещены по две вершины, первая из которых (левая) определяет пневматический механизм, а вторая – гидравлический. Движение по горизонтальным ребрам графа между четырьмя любыми его вершинами возможно четырьмя различными путями, т.е. независимо от того, какие агрегаты были введены ранее, в дальнейшем могут быть введены агрегаты любого из двух видов. Вертикальные ребра соединяют вершины, определяющие агрегаты, одного вида; это необходимо для полного использования агрегатов этого вида, если они уже введены в эксплуатацию.

**1.4. Число разбираемых прессовых сопряжений на одном ремонтируемом двигателе и усилия, необходимые для разборки сопряжения**

Усилие, кН	Число сопряжений
1,70	8
1,71	5
2,35	8
7,40	1
10,0	5
12,8	1
16,6	1
20,3	1
34,8	1
39,8	16

**1.5. Годовая потребность в количестве разборок  $n_i$ , прессовых соединений с усилием  $P_i$  и характеристика исполнительных агрегатов для этой цели**

$P_i$ , кН	$n_i$ , $1 \cdot 10^3$	Годовая производительность исполнительного агрегата, переходов в год		Стоимость исполнительного агрегата, приведенная к одному году эксплуатации, МЗП		Эксплуатационные расходы на выполнение агрегатом 1000 переходов, МЗП	
		пневма- тического	гидравли- ческого	пневма- тического	гидравли- ческого	пневма- тическим	гидравли- ческим
1,71	325	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	11	8	1,14	1,42
2,35	200	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	12	9	1,27	1,49
7,40	25	$1 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^6$	21	10	1,51	1,69
12,80	150	$8 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	32	11	1,63	1,75
16,60	25	$5 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	36	12	1,88	1,15
20,30	25	$4 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	49	25	2,00	1,91
39,80	425	$3 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	52	34	2,22	2,12

Из семи значений главного параметра и двух видов исполнительных механизмов может быть образовано  $4^7 = 16\,384$  различных параметрических рядов. Интервал параметрического ряда ограничен значениями 1,71 и 39,80 кН. Ряд пневматических цилиндров, удовлетворяющих функции спроса, включает механизмы с диаметром цилиндров 100...630 мм при питании их сжатым воздухом под давлением 0,39 МПа. Функция спроса будет также удовлетворена использованием гидравлических цилиндров диаметром 32...125 мм при питании их маслом под давлением 7,85 МПа.

При расчете капитальных вложений учитывались затраты на изготовление цилиндров, приобретение регулирующей и распределительной аппаратуры, фильтров и отстойников (для пневмоприводов), насосов и двигателей (для гидроприводов). Затраты на подачу сжатого воздуха учитывались в технологической себестоимости эксплуатации пневмоприводов.

Оптимальный параметрический ряд исполнительных агрегатов составлен из всех дискретных значений главного параметра, при этом функция спроса на отрезке 1,71...2,35 кН удовлетворяется пневматическими механизмами, а на оставшемся отрезке 7,40...39,80 кН – гидравлическими. Количество агрегатов, установленных в разборочные машины, следующее: агрегатов с усилиями  $P_1$  и  $P_2$  – по одному, остальных – по два.

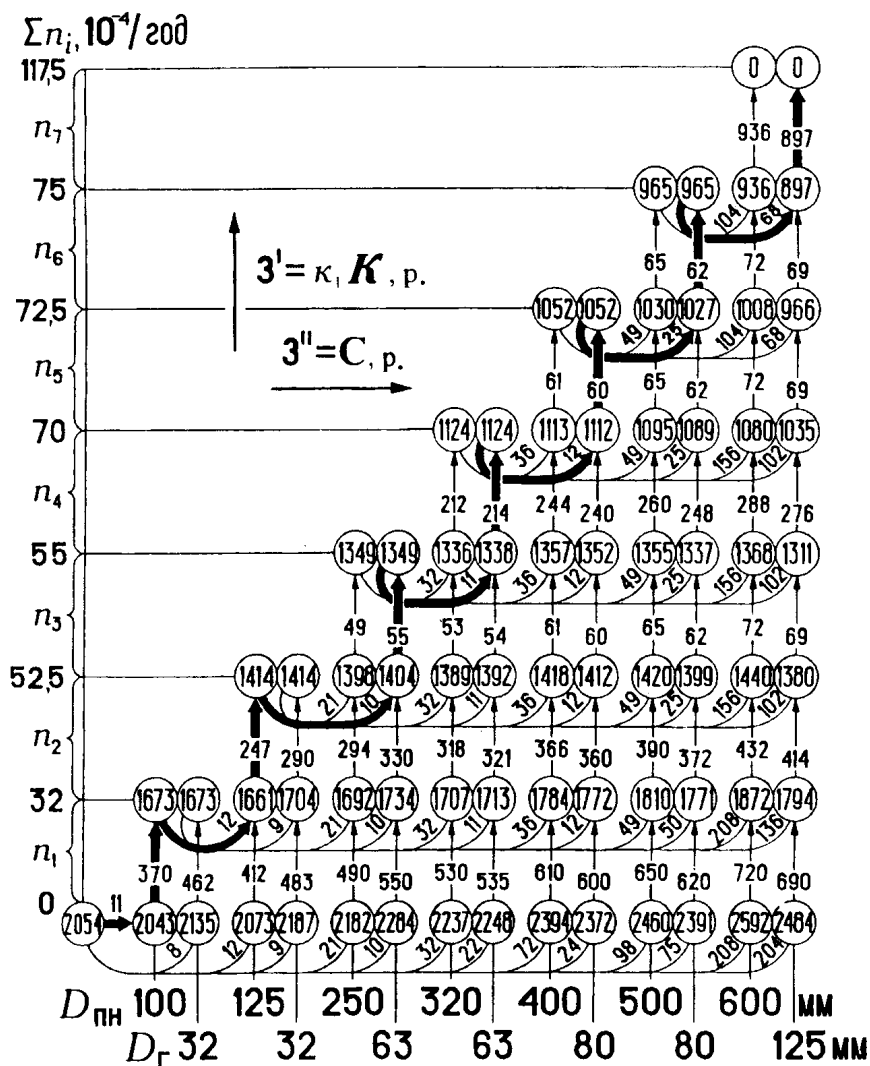


Рис. 1.11. Схема поиска ОПР исполнительных механизмов для разборки прессовых соединений

Полученное сочетание параметров в ОПР объясняется соотношением эксплуатационных затрат на действие пневматических и гидравлических механизмов. При малых значениях главного параметра, например



2,35 кН, эксплуатационные затраты на гидравлические устройства в 1,7 раза больше, чем на пневматические, при значениях главного параметра 12,8 кН эти затраты примерно равны, а при последующем увеличении усилия выпрессовывания затраты на эксплуатацию пневматических приводов становятся большими.

#### **1.5.6. Система исполнительных агрегатов технологических машин**

*Система исполнительных агрегатов* и их типоразмерных рядов, из которых образуются технологические машины, может быть оптимальной для конкретных условий производства (видов и объемов ремонтируемых изделий).

**Пример** разработки базовых исполнительных агрегатов и типоразмерных рядов из них, из которых могут быть образованы средства ремонта двигателей при объемах ремонта 10 тыс. в год, представлены в табл. 1.6.

Разработаны базовые исполнительные агрегаты (модули) и типоразмерные ряды из них для выполнения функций перемещения, базирования и закрепления деталей, приложения сил и моментов, очистки деталей, регенерации очищающих сред, придания энергии активации очищающей среде при погружной очистке, ориентирования, измерения, определения течей и испытания. Названные устройства применяют для выполнения 80...90 % технологических переходов.

Базовые конструкции исполнительных агрегатов с небольшими дополнениями превращаются в модульные. Технологические функции разработанных средств модульного строения соответствуют модульной технологии, которая будет присутствовать в описании технологического процесса каждый раз, когда рассматриваемое средство будет находиться в составе технологической машины.

Множество устройств блочно-модульного строения, входящих в ремонтно-технологическое оборудование, применено при технологической подготовке производства на ряде ремонтных заводов. Приведем лишь некоторые из них.

Типоразмерные ряды пневматических и гидравлических приводов с фильтрующей и распределительной аппаратурой применяют для закрепления и перемещения деталей и узлов при разборке, обработке, сборке и испытаниях.

1.6. Структуры и оптимальные типоразмерные ряды исполнительных агрегатов технологических машин завода по ремонту агрегатов

Технологическая функция	Исполнительный агрегат	Основной параметр			ОПР при N = 10 тыс. агрегатов в год
		Структура	Наименование	Область определения	
1	2	3	4	5	
Внутриоперационное перемещение	—	Масса предмета труда, кг	0,005...300	—	
	Плита — пластики — штифты	Длина диагонали в плоскости базирования, мм	20...630	160 — 250 — 400 — 630	
Закрепление	Гидроцилиндр	Диаметр, мм	32...80	32 — 63 — 80	
	Пневмоцилиндр		100...250	100 — 160 — 250	
Создание очистного эффекта	Погружная ванна	Объем ванны, м <sup>3</sup>	0,05...50	0,1 — 0,4 — 1 — 2,5 — 6,3 — 50	
Регенерация очищающей среды	Сетчатый фильтр — перегородка — устройство очистки — отстойник — насос	Производительность регенерации, м <sup>3</sup> /ч	1,5...10	1,6 — 2,5 — 4 — 6,3 — 10	
Нагреватель очищающей среды	Нагреватель электрический или паровой	Мощность нагревателя, кВт	2,5...16	2,5 — 4 — 6,3 — 10 — 16	

Механическая активация очищаемой среды	Ротор – привод – электродвигатель	Мощность активатора, кВт	0,7...3,5	1 – 2,5 – 4
Подача деталей на позиции сортировки, сборки и испытания	Вибробункер	Диаметр чаши, мм	160...630	160 – 250 – 400 – 630
Ориентирование деталей	Пневмовихровая ячейка	Рабочий диаметр, мм	5...16	6 – 8 – 10 – 16
Измерение параметров расположения	Корпус – оправки – индикаторы	Наибольший изменяемый размер, мм	50...630	16 – 250 – 400 – 630
Определение жесткости пружин	Корпус – груз – узел сравнения	Максимальная сила сжатия, Н	0,3...700	1 – 10 – 100 – 1000
Определение течей	Механизм установки и поворота изделия – устройство заполнения пробным веществом – устройство индикации	Объем полости, м <sup>3</sup>	0,001...0,01	0,001 – 0,01
Создание вращательного движения детали	Корпус – двигатель – редуктор – опорно-установочные элементы	Наибольшая масса перемещаемой детали, кг	4...250	10 – 63 – 100 – 250

Окончание табл. 1.6

1	2	3	4	5
Создание постановочного движения детали	Корпус – направляющие – двигатель – опорно-установочные элементы	Наибольшая сила перемещения, развиваемая агрегатом, Н	50...5000	100 – 630 – 1000 – 2500 – 4500 – 6300
Нанесение гальванического покрытия	Гальваническая ванна	Объем ванны, м <sup>3</sup>	0,6...1,5	0,63 – 1 – 1,6
Приложение деформирующего усилия		Сила, кН	10...100	25 – 40 – 63 – 100
Определение величины и направления статического дисбаланса	Корпус – силовой механизм	Наибольшая масса балансируемой детали, кг	3...20	6,3 – 10 – 25
Испытание	Опорно-установочные элементы – приклад – измерительные средства	Мощность, кВт	1,1·10 <sup>-6</sup> ...60	1,1·10 <sup>-6</sup> – 1·10 <sup>-3</sup> – 1,6·10 <sup>-2</sup> – 1 – 1,6 – 60
Межоперационное перемещение	Транспортирующее средство	Наибольшая масса перемещаемого объекта, кг	0,05...350	–

Погружные ванны, скоростной самоочищающийся фильтр раствора и роторные активаторы очистной среды входят в состав оборудования для погружной очистки деталей и сборочных единиц.

Для разборки резьбовых соединений разработаны базовые конструкции многошпиндельных гайковертов с общим приводом. Эти конструкции могут быть использованы для одновременного отвинчивания групп резьбовых сопряжений (головки цилиндров, масляного картера, крышки распределительных шестерен и др.).

Если для линейно-угловых и других измерений применяют средства промышленного изготовления и они подлежат государственной поверке аттестованными лабораториями, то средства для измерения параметров расположения создают на заводе. Государственной поверке в последнем случае подлежат только индикаторы.

Биения шеек и торцев валов относительно их оси вращения измеряют индикаторными стойками, а несоосность отверстий и биения торцев относительно их оси – индикаторными скалками. Типоразмерные ряды этих устройств учитывают наибольшие размеры изделий, участвующих в измерениях.

Жесткость пружин клапанов и сцеплений определяют на настольном стенде, конструкцию которого используют в качестве базовой для определения состояния других пружин.

Для определения течей в стенках корпусных деталей (блоков и головок цилиндров, впускных труб и газопроводов) многократно применяют базовую конструкцию, где в качестве пробного вещества используется сжатый воздух, пузырьки которого служат индикатором трещин при погружении изделия в воду.

Тела вращения статически балансируют на дисках, установленных на вращающиеся оси. Типоразмерный ряд устройств учитывает массу балансируемых деталей.

Газотермические покрытия на заготовки различных видов наносят с помощью одностипных установок. Установки блочно-модульного строения для наплавки и электроконтактной приварки металлического слоя созданы во ВНИИТУВИД «Ремдеталь».

Увеличение производственной мощности предприятия приводит к увеличению числа значений главного параметра в ОПР, однако в ОПР всегда присутствует наибольшее значение этого параметра.

Последующее компонование технологических машин происходит путем извлечения необходимых агрегатов (модулей) из типоразмерных рядов и относительного расположения этих агрегатов (модулей) на станине машины.

### 1.5.7. Компонование технологических машин

В литературе по проектированию машин рассматривается образование компоновок металлорежущих станков. Технологические машины восстановительного производства значительно отличаются от металлорежущих станков по производительности, видам и числу выполняемых функций, поэтому требуют отдельного подхода к их компонованию.

*Компонование технологических машин* предполагает образование их структур из исполнительных агрегатов (основных и вспомогательных), соединительных и направляющих элементов. Технологической основой компонования машин выступает последовательность воздействий на предмет восстановления и ее варианты.

Компонование машин из агрегатов проводится по критерию их производительности. Исполнительные агрегаты (модули), выбранные из ОТР, сочетаясь при компоновочном синтезе тем или иным образом, определяют при заданных технологических режимах затраты времени на рабочие  $t_p$  и вспомогательные  $t_v$  воздействия, а также время внецикловых потерь  $t_n$ , тем самым определяют производительность машины. Выбирают вариант технологической операции из  $S$  технологических переходов с учетом строгой последовательности и предшествования путем от-

брасывания вариантов по критерию наименьшего пути  $\sum^s (t_p + t_v + t_n)$

для подмножеств из элементов множества  $N = \{1, 2, \dots, S\}$ . Подобные задачи, например, в теории расписаний относят к классу задач упорядочения взаимосвязанных работ во времени.

Постановка задачи компоновочного синтеза следующая.

К предмету восстановления необходимо приложить множество технологических воздействий  $T_v$  в установленной последовательности:

$$\begin{aligned} T_v &= \{T_1; T_2; \dots; T_i\}; \\ T_1 &\subseteq \{T'_1; T''_1; \dots; T'^n_1\}; \\ T_2 &\subseteq \{T'_2; T''_2; \dots; T'^n_2\}; \\ &\vdots \\ T_i &\subseteq \{T'_i; T''_i; \dots; T'^n_i\}, \end{aligned}$$

где  $T_1; T_2; \dots; T_i$  – подмножество воздействий, которые можно выполнять в любой последовательности.

Каждое технологическое воздействие выполняется исполнительным агрегатом определенного типоразмера.

Требуется определить компоновку технологической машины, обеспечивающую технологическую функцию при минимальной длительности технологического цикла.

Задача решается путем образования и сравнения между собой всевозможных вариантов компоновок.

При компоновочном синтезе формализуют задачу путем кодирования. Кодирование бывает координатным, блочным, элементным или конструктивным. Для проектирования средств восстановления наиболее подходит координатно-блочная система кодирования, которая учитывает число и вид блоков, взаимное расположение их осей и направление перемещений блоков относительно координатных осей.

Код исполнительного агрегата в компоновке технологической машины определяет вид движения блока относительно станины или сопряженного агрегата и направление этого движения относительно системы координат.

В принятой прямоугольной системе координат  $XYZ$  ось  $Z$  всегда вертикальна, ось  $X$  направлена относительно исполнителя справа налево, а ось  $Y$  – от машины к исполнителю. В отличие от принятых систем кодирования рассматриваемая система координат ориентирована относительно горизонтальной плоскости и местонахождения исполнителя.

Станина является связующим элементом для всех блоков машины, она обозначается буквой  $C$ . Подвижные агрегаты обозначают теми же буквами, что и координатные оси, в направлении которых или вокруг которых происходят перемещения. Таким образом,  $X, Y, Z$  – блоки, перемещающиеся поступательно относительно осей  $OX, OY$  и  $OZ$  соответственно, а  $x, y, z$  – блоки, вращающиеся относительно этих осей. Блок, неподвижный относительно станины, обозначается буквой  $H$ .

Составляется в кодированном виде одна из компоновок машины в следующем порядке. Записывают код станины  $C$ , к которому добавляют коды агрегатов, непосредственно взаимодействующие со станиной, и определяют виды их движений. К кодам присоединенных агрегатов последовательно добавляют коды устанавливаемых агрегатов. Последними будут коды тех агрегатов, которые взаимодействуют с предметом восстановления и осуществляют технологическое воздействие. Совокупности агрегатов должна быть достаточной для выполнения основных и вспомогательных переходов.

В пределах выбранного множества исполнительных агрегатов возможные компоновки машин могут быть получены путем последовательной замены каждого движения агрегата на пять остальных и перестановкой блоков. При этом используются логические действия отрицания, конъюнкции, дизъюнкции и закон де Моргана.

Число рассматриваемых вариантов существенно сокращается (до приемлемого количества) путем нестрогого логического анализа работоспособности компоновок.

Для оставшихся компоновок рассчитывают циклограммы технологических циклов. Компоновка с самым коротким циклом признается оптимальной.

Компоновки машин с горизонтальным расположением оси восстанавливаемой детали наиболее распространены и жизнеспособны, однако вертикальная компоновка машин позволяет уменьшить площадь, занятую оборудованием, более полно использовать высоту и объем здания.

**Пример компонования технологической машины (стенда для закалки шеек коленчатого вала).** Стенд содержит станину, на которой установлены исполнительные агрегаты и высокочастотный индуктор (инструмент). Деталь при термической обработке должна вращаться для исключения термических деформаций, а закалку необходимо вести только по одной шейке. Вспомогательные переходы исполнительных агрегатов следующие:

- установка детали с совмещением оси обрабатываемых шеек с осью вращения приводного центра;
- закрепление детали с помощью пиноли;
- перемещение детали вдоль оси индуктора для совмещения шеек с рабочим пространством индуктора;
- ввод (вывод) шейки детали в (из) индуктор(а) в направлении, перпендикулярном к предыдущему перемещению.

Схема стенда представлена на рис. 1.12.

Обозначим блоки стенда и их движения. Блок  $Z_1$  обеспечивает перемещение других блоков с деталью относительно станины вдоль оси индуктора. Блок  $z_2$  вводит обрабатываемую шейку в рабочее пространство индуктора. На блоке  $z_2$  неподвижно установлены корпуса механизмов вращения детали и ее зацепления. Механизм вращения снабжен приводным центром  $Z_3$ , а механизм закрепления – подпружиненным центром  $Z_4$ . Неподвижная часть индуктора закреплена на станине, а его подвижная часть  $z_5$  соединена с неподвижной. Таким образом, все поступательные и вращательные перемещения происходят относительно вертикальной оси  $OZ$ .

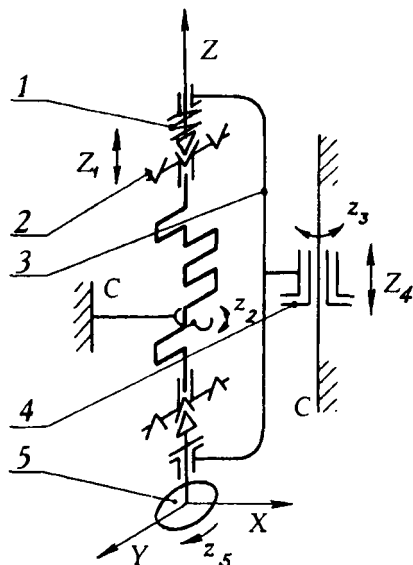


Структурная схема стенда может быть изображена в виде, представленном на рис. 1.13.

В координатно-блочном виде структурное выражение стенда упрощается:

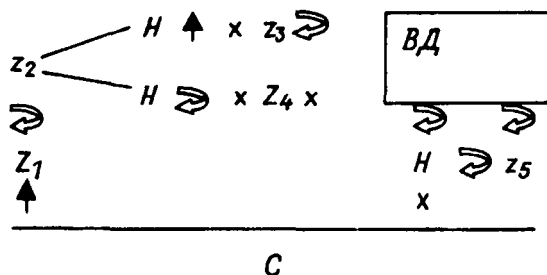
$$(z_3/Z_4)z_2Z_1C. \quad (1.13)$$

Рассмотрим возможные варианты компоновок, обусловленные их ограничениями. При вертикальном расположении детали ( $z_3/Z_4$ ) возможна замена движения блока  $z_2$  на два равноценных движения блока  $X_2$  или  $Y_2$  с поступательным движением детали в индуктор. Горизонтальное расположение оси детали дает равноценные варианты  $X_1$  или  $Y_1$ , поэтому рассмотрим вариант  $X_1$ . Последний вариант сочетается только с ва-



**Рис. 1.12. Схема стенда для закалки шеек коленчатого вала:**

- 1 – механизм осевого перемещения детали;  
2 – механизм введения шейки вала в индуктор; 3 – центросместитель;  
4 – пиноль; 5 – турбина



**Рис. 1.13. Структурная схема стенда для закалки шеек коленчатого вала:**

↑, ↺, X – соответственно символы поступательного и вращательного перемещений и неподвижного закрепления блока; *H* – неподвижный блок; *ВД* – восстанавливаемая деталь; *С* – станина

риантами  $x_2$ ,  $Y_2$  или  $Z_2$ . Таким образом, возможны отличные друг от друга пять компоновок машины:

- 1)  $(z_3/Z_4)z_2Z_1C$ ; 2)  $(z_3/Z_4)X_2Z_1C$ ; 3)  $(X_3/x_4)x_2X_1C$ ;
- 4)  $(X_3/x_4)Y_2X_1C$ ; 5)  $(X_3/x_4)Z_2X_1C$ .

Машинное время термообработки детали при всех вариантах компоновки определяется только свойствами детали и мощностью высоко-частотного генератора, оно не зависит от конструкции станда. Вспомогательное время на установку, закрепление и вспомогательные ходы (рас- не приводится) равно 190, 190, 215, 220 и 220 с. Варианты компоновки 1 и 2 обеспечивают одинаковые и наименьшие значения вспомогательного времени, но вариант 1 как более простой признается наилучшим.

#### **1.5.8. Порядок заказа и приобретения специального оборудования**

Отношения между заказчиком и изготовителем специального оборудования регулируются заявками и протоколами согласования заяв- технических заданиями (ТЗ) и договорами.

Заказчик составляет заявку на проектирование и изготовление специального оборудования, которая включает описание заготовки и детали и необходимую функцию этого оборудования, требования к обрабатываемым элементам (размерам, базам), способу обработки, уровню автоматизации и технологическим особенностям, устанавливает вид тока, значение напряжения, определяет срок исполнения.

Обсуждение заявки завершается составлением протокола, в котором уточняются конструктивные и точностные параметры, условия работы оборудования и технологические особенности. В результате подписания протокола станкозавод принимает заказ на изготовление специального станка и разрабатывает ТЗ на его разработку и изготовление. В ТЗ указывают назначение и производительность оборудования, данные о деталях, содержание переходов, требования к базированию и точности обрабатываемых элементов, способ и порядок обработки.

После согласования ТЗ составляется договор, в котором определяются: предмет договора, показатели качества оборудования, комплектность, условия и сроки испытания и поставки, цена, условия оплаты, гарантийные обязательства, форс-мажорные обстоятельства и арбитраж. Указываются состояние и количество деталей, которые будут обработаны при настройке и испытаниях оборудования.

После изготовления оборудования создают комиссию под председательством представителя заказчика, определяют сроки приемочных испытаний и организуют эти испытания. Результаты испытаний оформляют актом, который содержит такие сведения:

- соответствие комплектности станка ТЗ;
- результаты проверки точностных даточных норм: прямолинейности перемещений, параллельности поверхности стола направлению перемещений, относительного расположения осей шпинделей и их осевых биений;
- результаты проверки станка на холостом ходу: плавности хода, правильности вращений, срабатывания кнопки «Стоп», работы гидравлических систем и наличия течей, действия органов управления, мертвых ходов, скорости перемещений, температуры наружных поверхностей, сопротивления изоляции и электрической прочности, вибрации. Длительность испытаний на холостом ходу составляет не менее 4 ч;
- результаты испытания станка под нагрузкой путем измерения размеров, формы и расположения поверхностей обрабатываемых деталей, указанных в ТЗ на изготовление оборудования;
- оценку качества изготовления частей оборудования и его внешней отделки (при необходимости станок частично разбирают);
- требования безопасности;
- выводы и предложения.

При положительном исходе испытаний подписывается и утверждается акт, который является основанием для отгрузки станка после его оплаты. Со станком заказчику направляют сертификаты о происхождении и соответствия. Изготовитель оформляет таможенные документы и оплачивает провоз станка до границы своего государства.

## **1.6. Роль восстановительного производства в обеспечении качества и сбережении ресурсов при ремонте машин**

### **1.6.1. Показатели качества восстановления детали**

Восстанавливаемые детали относятся к продукции, которая расходует свой ресурс при использовании, в отличие от продукции, которая расходуется во время использования сама. Наиболее критичными показателями для оценки качества такой продукции являются показатели назначения, надежности и экономические.

*Показатели назначения* характеризуют способность восстановленной детали выполнять функции, ради которых она создавалась (переда-

вать движения, моменты или усилия, ориентировать другие детали и т.д.). Оценка показателей назначения деталей входит в программу их функциональных испытаний. Значения показателей назначения измеряют и оценивают при приемосдаточных и периодических испытаниях.

*Показатели надежности* определяют свойство детали сохранять работоспособность в процессе эксплуатации. Они дополняют показатели назначения в части обеспечения их стабильности в течение длительного времени. Оценка показателей надежности деталей входит в задачу испытаний их на надежность.

Фактическая наработка отремонтированной техники с восстановленными деталями существенно уступает нормативным показателям и наработке новых изделий. Нормативную послеремонтную наработку выдерживают, например, только 40...60 % двигателей легковых автомобилей и 30...40 % двигателей грузовых автомобилей.

Надежность – одно из основных эксплуатационных свойств машин и их частей. Согласно ГОСТ 27.002–80 под надежностью понимают свойство объекта сохранять во времени и в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Надежность – это комплексное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения включает безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или сочетания этих свойств. Надежность восстановленной детали зависит в основном от качества восстановления и условий ее эксплуатации. Для оценки надежности восстановленных деталей применяют в качестве показателя, например, средний послеремонтный ресурс.

Безотказность – свойство детали сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Свойство оценивают, например, вероятностью безотказной работы или средней наработкой до отказа.

Долговечность – свойство детали сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для восстановления. Показателями долговечности служат ресурс и срок службы. Ресурс – это наработка детали до предельного состояния, а срок службы – календарная продолжительность ее эксплуатации до исчерпания ресурса.

Ремонтпригодность – это приспособленность детали или ее элементов к предупреждению, обнаружению и устранению отказов путем восстановления.

Сохраняемость – свойство детали непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение срока хранения.

*Экономические показатели* применяются для сопоставления эффекта от применения технических решений и затрат на их реализацию.

Качество продукции представляется в виде иерархической структуры (дерева свойств), на самом высоком уровне которой находится совокупное свойство, а на самом низком уровне – простые свойства.

Каждое простое или сложное свойство может характеризоваться относительным значением показателя, который определяется сопоставлением измеренных значений абсолютного показателя со значением базового показателя. Базовый показатель отражает повышающийся во времени уровень техники.

Качество продукции оценивается единичными, комплексными и интегральными показателями. *Единичные* показатели относятся к одному из свойств продукции, *комплексные* – к нескольким свойствам, а *интегральный* концентрирует в себе все свойства.

Комплексный показатель выражается средневзвешенными соответственно арифметическим  $Q$  и геометрическим  $V$  единичными показателями:

$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} m_i q_i ; \quad (1.14)$$

$$V = \prod_{i=1}^n q_i^{m_i} , \quad (1.15)$$

где  $m_i$  – коэффициент весомости;  $q_i$  – единичный показатель качества;  $i = 1, \dots, n$ ;  $n$  – число показателей.

Интегральный показатель  $\Pi_{\text{и}}$  выражает соотношение суммарного полезного эффекта  $\mathcal{E}$  от применения продукции и суммарных затрат  $\mathcal{Z}$  на ее создание и эксплуатацию:

$$\Pi_{\text{и}} = \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{Z}} . \quad (1.16)$$

Интегральный показатель качества целесообразно применять при оценке продукции в случае отсутствия ее аналогов для сопоставления с таким же показателем лучшего образца продукции аналогичного назначения. Полнота восстанавливаемых показателей (свойств) деталей и их значений обеспечивает нормативный уровень качества восстановленных деталей.

### **1.6.2. Источники экономической эффективности восстановительного производства**

Анализ себестоимости восстанавливаемой продукции в целом по предприятию или в разрезе его производственных участков и рабочих мест с выделением наиболее значимых статей расхода позволяет выявить узкие места производства, сравнить в различные временные промежутки затраты овеществленного и живого труда и принять соответствующие меры для уменьшения этих затрат. Мероприятия будут выражаться или изменением условий труда, или изменением организации производства, или заменой оборудования, или лучшим оснащением рабочих мест, или изменением технологии.

Наибольшая часть себестоимости ремонта машин в настоящее время приходится на запасные части, полуфабрикаты и материалы (37...46 %), в то время как доля затрат на тепловую и электрическую энергию составляет 12...15 %, а на заработную плату 6...10 %. Соотношение составляющих себестоимости восстановления деталей с течением времени непрерывно изменяется. Увеличилась ее доля, связанная с приобретением материалов и сократилась доля заработной платы.

Каждая составляющая себестоимости связана с расходом соответствующих видов производственных ресурсов, к которым относят денежные средства, материалы, полуфабрикаты, энергию и трудозатраты. На ремонт, например, одного автомобильного двигателя расходуют 60...140 кВт·ч электроэнергии, 420...2000 МДж тепловой энергии, 25...70 чел.-ч трудозатрат и 8...30 тыс. р. на запасные части и материалы.

Наиболее действенные мероприятия технологической подготовки ремонтного производства, направленные на уменьшение расхода дорогих запасных частей, связаны с полным использованием специфического ресурса остаточной долговечности деталей ремонтного фонда. Это частично решает проблему импортозамещения. Основные направления деятельности на этом пути следующие:

- углубленное определение технического состояния деталей ремонтного фонда и нахождение деталей, значения параметров которых находятся в допусках руководств по капитальному ремонту машин;
- освоение новых технологий восстановления деталей, которые согласно действующим нормативам подлежат замене на новые;
- внедрение элементов необезличенного ремонта машин с назначением объема ремонтно-восстановительных работ в зависимости от фактического технического состояния отдельных ремонтируемых объектов.

Перечень материалов, применяемых при восстановлении деталей, состоит из 250...300 наименований. В этот перечень входят: металлопрокат круглого и шестигранного сечений, листовой прокат, технические моющие средства – Лабомид и едкий натр для очистки, порошки для напыления, наплавочные проволоки и шнуры, хромовый ангидрид и серная кислота для хромирования, соляная кислота для пайки и железнения, бензин и масло для обкатки, технологические газы, СОЖ, пасты, смазки, пластмассы, клеи, прокладочные, лакокрасочные и антикоррозионные материалы и др.

Работа по уменьшению расхода финансовых средств на материалы направлена на разработку норм их расхода, обоснованную замену материалов на более дешевые, сокращение времени протекания технологических процессов (очистных, приработочных и др.) и повторное использование восстановленных, регенерированных и фильтрованных материалов.

Одним из эффективных путей снижения себестоимости восстановления деталей является применение отходов производства в качестве присадочного материала для получения покрытий.

Приведем примеры использования отходов производства.

1. Стружка при шлифовании стали ШХ15 содержит легирующие элементы (хром, марганец, серу), а также до 8...10 % (по массе) абразивных зерен в результате изнашивания шлифовальных кругов. Лезвия дисковых рабочих органов сельскохозяйственных машин с покрытием из такого материала изнашиваются в основном по затыловочной части с постепенным выходом на покрытие и существенно менее по режущей кромке, что обеспечивает самозатачивание детали в работе.

2. При лезвийной обработке заготовок из серого чугуна образуется стружка, которая может быть применена в качестве материала для газотермического напыления. Наиболее подходит для этой цели стружка после сверления и растачивания без СОЖ. Материал проходит циклонную очистку от пылевидных фракций, измельчение в шаровой мельнице и рассев для выделения фракции с размерами 40...160 мкм.

Полученные порошки имеют повышенное содержание графита и кислорода, при этом содержание марганца и кремния не изменяется по сравнению с исходным составом материала. Текучесть порошков теряется. Структура покрытий, полученных воздушно-плазменным напылением на установке «Киев-7», отличается от исходной и представляет собой мартенсит, цементит, остаточный аустенит, а также метастабильный  $\epsilon$ -карбид. Такой фазовый состав обуславливает резкое повышение микротвердости покрытий по сравнению с исходным порошком: в 2...2,5 раза, до значений

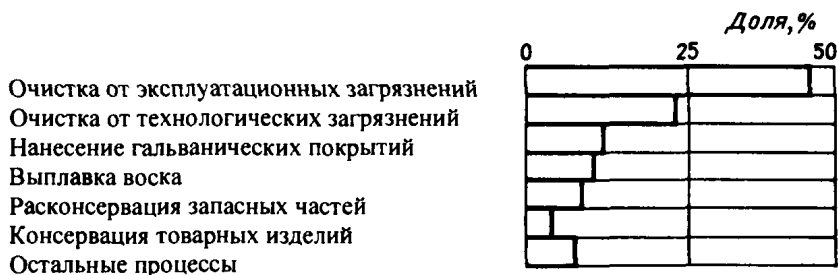
6000...8000 МПа. Прочность соединения покрытия с основой (сталь 45) при нормальном отрыве составляет 20...25 МПа. В условиях граничного трения с контртелом из нормализованной стали 40Х при удельном давлении 5,1 МПа и скорости скольжения 1 м/с эти покрытия не уступают плазменным покрытиям из никель-титанового сплава ПН55Т45.

Баланс расхода тепловой энергии учитывает отопление и горячее водоснабжение административных и производственных зданий, расход тепла на технологические нужды (нагрев сред и материалов, сушку и др.) и тепловые потери в сетях.

Более 2/3 (~ 70 %) тепловой энергии на технологические нужды завода (рис. 1.14) приходится на очистку сборочных единиц и деталей от эксплуатационных и технологических загрязнений. Факт объясняется тем, что ранее не уделялось достаточного внимания расходу дешевых (в прошлые годы) нефтяных отходов, которые использовались в качестве топлива. Второе место занимает доля тепловой энергии на нагрев электролита в гальванических ваннах (11...15 %) и третье место – энергия на расконсервацию запасных частей и консервацию товарных деталей и сборочных единиц.

Баланс расхода электроэнергии на производственные нужды определяется путем сложения расходов ее отдельными приемниками. Около половины общего расхода электрической энергии (рис. 1.15) приходится на терморadiационный и индукционный нагрев металла при его термической обработке и плавлении и на механическую обработку изделий. Более 20 % электроэнергии расходуют на процессы нанесения покрытий. Около 8 % ее тратится на обкатку агрегатов и приработку сопряжений.

Обязательным элементом организации производства является нормирование расхода энергии на отдельные виды выпускаемой продукции. Нормы расхода энергии состоят из двух частей: основной и дополни-



**Рис. 1.14.** Распределение расхода тепловой энергии на основные технологические процессы ремонтного завода с восстановлением деталей



тельной. Основная часть нормы включает необходимое количество энергии, которое должно быть затрачено на обрабатываемый объект с учетом объективных законов движения материи и преобразования энергии. Дополнительная часть учитывает несовершенство процессов, оборудования и организации и прямые потери энергии. На предприятии создают комиссии и творческие коллективы, деятельность которых направляют на подробный анализ расходной части баланса потребленной энергии, минимизацию второй составляющей норм расхода энергоресурсов и обоснование соответствующих мер технологического и организационного характера.

Капитальные затраты на мероприятия по экономии энергоресурсов в 3...4 раза меньше по сравнению с затратами, необходимыми для выработки сбереженного количества энергии. Организация производства предполагает применение приборов учета энергии, отпущенной на цеховые участки и энергоемкое оборудование.

Экономический эффект от внедрения ресурсосберегающих мероприятий включает прямые и косвенные (исключение штрафов и налогов) составляющие.

Расширение множества видов применяемой энергии связано с внедрением оборудования и процессов, преобразующих энергию движения материи на более глубоких ее уровнях. Так, механическая энергия связана с движением макротел, тепловая и химическая – с движением молекул, электрическая – с движением ионов и электронов и т.д.

Новые разработки, определяющие размеры машин, их КПД, экономичность и технический уровень, используют виды превращения энергии на уровнях молекул, их атомов и электронных оболочек. К примеру, получение потенциальной энергии давления сжатого воздуха связано с низ-



Рис. 1.15. Распределение расхода электрической энергии на основные технологические процессы ремонтного завода с восстановлением деталей

ким КПД и большой мощностью компрессоров и потребителей сжатого воздуха. Целесообразно пневмомеханические приводы заменить электро-механическими приводами, питающимися током повышенной частоты (200 Гц). Электронно-лучевая и лазерная обработка материалов обеспечивает наибольшую плотность энергии в единице площади ( $10^2 \dots 10^6$  кВт/см<sup>2</sup>), в то время как газовое пламя – только 3 кВт/см<sup>2</sup> с более низким КПД.

Подготовка процессов нагрева металла направлена на совершенствование шахтных и камерных печей и упорядочение графиков их работы, замену неэффективных машинных высокочастотных генераторов тиристорными преобразователями частоты тока. Режимы работы мощных металлургических и термических агрегатов должны обеспечить их длительную непрерывную работу, исключая разогрев и пуск оборудования после простоев. Существенный эффект дают оптимизация режимов нанесения покрытий и корректировка электролитов. Испытательные стенды бесцельно диссипируют энергию в нагрузочных реостатах, которая может быть использована для нагрева технологических сред. До 5 % экономии электрической энергии достигается отключением в выходные дни заводских трансформаторов для исключения их холостого хода и автоматизацией включения конденсаторных батарей для компенсации реактивной мощности.

Уменьшению расхода тепловой энергии на технологические нужды способствует использование очистных сред, гальванических растворов и консервационных смазок, работающих при комнатных температурах. На заводах действуют две группы процессов: с поглощением и выделением тепла технологическими средами. Между этими группами процессов необходимо организовать взаимодействие. Градирни, например, могут играть роль полезных теплообменников, передающих тепло технологическим средам. Аналогичные функции могут выполнять стенды для испытаний тепловых устройств.

## Глава 2

### ИСХОДНЫЕ ЗАГОТОВКИ РЕМОНТА

#### 2.1. Очистка деталей

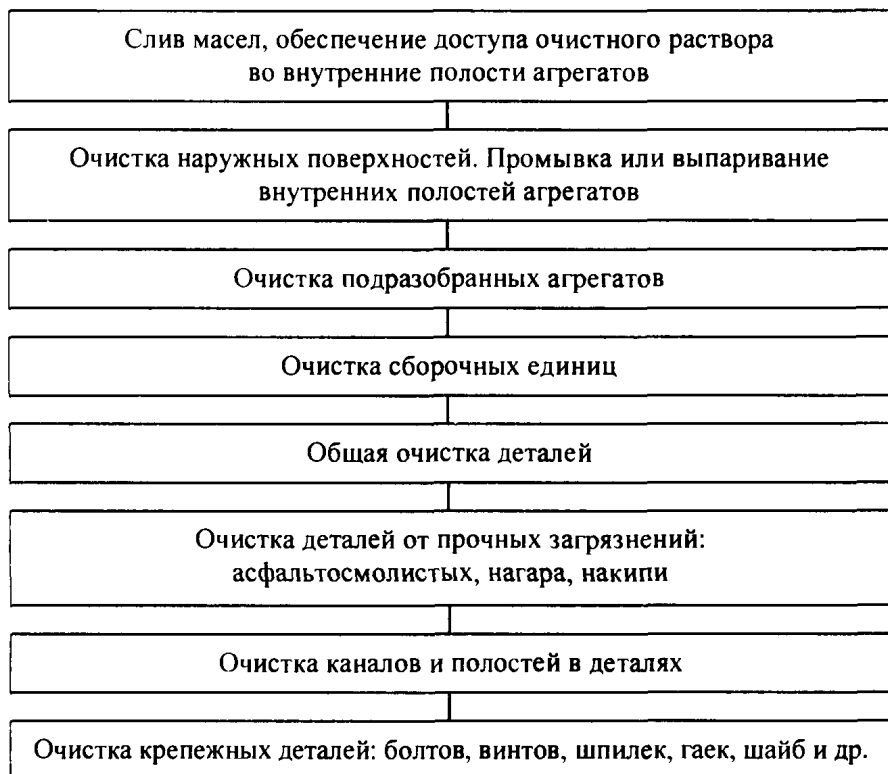
##### 2.1.1. Классификация и свойства загрязнений

Разборочные и очистные работы, сменяя друг друга, выполняются на одном производственном участке. Разборочно-очистной процесс включает следующие операции: очистку наружных и внутренних поверхностей поступившего агрегата, его подразборку, очистку подразобранного агрегата, общую и узловую разборку, общую очистку деталей и сборочных единиц, очистку отдельных деталей от прочных загрязнений, сбор, очистку и сортировку крепежных деталей. Качественную очистку поверхностей деталей обеспечивает многооперационный процесс (рис. 2.1).

Машина, поступающая в ремонт, несет на поверхностях своих деталей до 100 кг *эксплуатационных загрязнений*. Полная очистка от них определяет культуру производства, объективность сортировки и контроля деталей, качество их восстановления и последующую послеремонтную наработку агрегатов.

Эксплуатационные загрязнения (рис. 2.2) на наружных и внутренних поверхностях различны. На наружных поверхностях находятся остатки материалов, с которыми взаимодействовала машина, масла и смазки, маслогрязевые отложения, герметизирующие мастики, лакокрасочные покрытия, продукты коррозии и др. Загрязнения на внутренних поверхностях представляют собой углеводородные отложения как результат старения и химико-термического превращения смазочных материалов и топлива, продукты изнашивания, остатки герметизирующих паст и прокладок, а также накипь, образующаяся от взаимодействия охлаждающих жидкостей с металлическими стенками.

Детали машин в процессе восстановления покрываются *технологическими загрязнениями* (окалиной, стружкой, притирочными пастами, смазочными маслами, очистными материалами, продуктами приработочного износа и др.). Такие загрязнения уступают эксплуатационным по



**Рис. 2.1. Последовательность операций очистки поверхностей деталей от эксплуатационных загрязнений**

прочности и массе, но они должны быть также удалены с деталей перед сборочными операциями.

В начале процесса ремонта машины ее детали очищают от эксплуатационных загрязнений, а по завершении восстановления деталей и перед окраской агрегатов с поверхностей удаляют технологические загрязнения.

Знания природы загрязнений машин позволяют обоснованно и эффективно принимать меры по качественной очистке поверхностей деталей от этих загрязнений.

По химическому составу основная масса загрязнений подразделяется на две большие группы: *минеральные* (кремнеземные) и *органические* (углеводородные).

Кремнеземные загрязнения образуются на поверхностях деталей в результате их взаимодействия с почвой и почвенной пылью.

## ОЧИСТКА ДЕТАЛЕЙ



**Рис. 2.2. Классификация загрязнений**

Углеводородные загрязнения появляются от взаимодействия топлив и масел с газами и влагой, продуктами изнашивания и поверхностями деталей при повышенной температуре. Они включают такие группы веществ: масла и нейтральные смолы, оксикислоты, асфальтены, карбены и карбоиды, несгораемый остаток (золу).

*Нейтральные смолы* входят в состав нефтепродуктов. Они полностью растворяются в петролейном эфире и бензине. *Оксикислоты* способны образовывать соли в результате диссоциации, окисления и реакции омыления. *Асфальтены* – продукты уплотнения нейтральных смол, хрупкие неплавкие вещества, разлагающиеся при температуре  $\geq 300$  °С с образованием кокса и газов. Асфальтены растворяются в бензоле, хлороформе и сероуглероде. *Карбены и карбоиды* – продукты уплотнения и полимеризации углеводородов при термическом разложении масел и топлива. Карбены растворимы в сероуглероде и пиридине, а карбоиды нерастворимы ни в каких растворителях.

С повышением температуры и возрастанием времени окисления масел наблюдается количественный рост оксикислот, асфальтенов, карбенов и карбоидов в загрязнениях с увеличением доли веществ, содержащихся в конце приведенного ряда.

В зависимости от соотношения составляющих веществ углеводородные загрязнения подразделяются на масляные, асфальтосмолистые, лаковые и нагар.

*Масла* на ранней стадии окисления и загрязнения присутствуют на большинстве поверхностей деталей.

*Асфальтосмолистые отложения* состоят из веществ, которые не растворяются в масле и обладают большей по сравнению с ним плотностью. Состав отложений: окисленные масла и смолы 40...80 %, карбены, карбоиды и зола 10...30 %.

*Лаковые отложения* (пленки) образуются на немногочисленной группе деталей, например на шатунах и поршнях, за счет тонкослойного окисления масла.

Основу *нагара* составляют карбены и карбоиды (30...70 %), масла и смолы (8...3 %), остальное – оксикислоты, асфальтены и зола. Большое количество нерастворимых или труднорастворимых компонентов нагара затрудняет его удаление.

Отдельную группу загрязнений образует *накипь*, которая откладывается на внутренних поверхностях стенок радиаторов и рубашек охлаждения двигателей. Ее образование обусловлено содержанием в воде в растворенном состоянии солей кальция и магния. Различают жесткость

воды временную и постоянную. Временную жесткость устраняют кипячением, она вызвана растворением в воде бикарбонатов кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , сульфата кальция  $\text{CaSO}_4$ , силиката магния  $\text{MgSiO}_3$  и др. При нагревании воды до  $70\ldots 80^\circ\text{C}$  или кипячении из нее выпадают соли – продукты термического разложения бикарбонатов, а также силикаты и сульфаты магния и кальция. Постоянная жесткость обусловлена солями, не выпадающими в осадок при повышенной температуре воды. По химическому составу накипь разделяют на карбонатную ( $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ ), сульфатную ( $\text{CaSO}_4$ ), силикатную ( $\text{MgSiO}_3$ ) и смешанную.

Характеристика основных загрязнений деталей машин приведена в табл. 2.1. Например, принятый в капитальный ремонт двигатель внутрен-

2.1. Виды и характеристики загрязнений поверхностей

Загрязнения	Сборочные единицы, детали	Характеристики загрязнений	
		Максимальная толщина, мм	Предел прочности при сжатии, МПа
Маслогрязевые	Картеры, крышки, поддоны	10	2...5
Масла и смазки	Корпусные детали, валы, шатуны, детали системы смазки	5	1...2
Лакокрасочные покрытия	Детали с окрашенными поверхностями	0,1	30
Продукты коррозии	Детали кузова, кабины, рамы, корпуса	3	40
Накипь	Блоки, гильзы и головки цилиндров	3	30
Асфальтосмолистые отложения	Блоки цилиндров, коленчатые валы, шатуны	0,5	10
Нагар	Головки цилиндров, поршни, коллекторы	1	30

него сгорания с рабочим объемом 4,8 л имеет на поверхностях своих деталей 5...10 кг эксплуатационных загрязнений. Маслопочвенные загрязнения распределены на площади поверхностей 6 м<sup>2</sup>, их доля в общей массе загрязнений составляет 75...80 %, асфальтосмолистые загрязнения, остатки лакокрасочных покрытий, нагар и накипь распределены соответственно на площади 2,3; 1,5; 0,5 и 1,7 м<sup>2</sup>. Наибольшие технологические трудности представляет снятие прочных загрязнений (нагара и накипи), которые обладают наибольшей адгезией к металлам: 7 и 20 МПа соответственно. Некачественная очистка деталей снижает послеремонтную наработку агрегатов на 20...30 %.

Разнообразие видов загрязнений и разные значения их одноименных свойств требуют дифференцированного подхода к назначению технологических воздействий для отделения этих загрязнений.

### ***2.1.2. Физические основы очистки поверхностей деталей от загрязнений***

Очистные материалы подразделяются по виду основного технологического эффекта, сопровождающего процесс, на растворяющие, эмульгирующие и диспергирующие. Первые два вида сред, которые получили наибольшее распространение, применяются в жидком виде, а последний – в жидком или твердом состоянии.

Основные явления, обуславливающие очистное действие среды, включают: растворение, смачивание, физико-химическую адсорбцию, эмульгирование, диспергирование и стабилизацию загрязнений.

*Растворение* – это процесс образования однородной системы из двух веществ с равномерным распределением одного вещества в другом. Наибольшей взаимной растворимостью характеризуются вещества со сходными строением и свойствами – «подобное растворяется в подобном».

Молекулы воды, спиртов, кислот, щелочей и различных химических элементов полярны, т.е. обладают дипольным моментом. У молекул некоторых веществ дипольный момент может индуцироваться (наводиться) при соприкосновении с полярными молекулами. К таким веществам относятся, например, углеводороды ароматического основания.

Характер межмолекулярного взаимодействия определяет взаимную растворимость жидкостей. При введении в растворитель растворяемого вещества (рис. 2.3) их молекулы вступают в электростатическое взаимодействие, образуя агрегатированные молекулы (сольваты). Последние равномерно распределяются по всему объему растворителя. Растворение сопровождается и диффузией как медленным проникновением молекул од-



ного вещества в промежутки между молекулами другого вещества. Последний механизм растворения типичен для неполярных жидкостей. В этом случае вязкость смешиваемых веществ имеет основное значение.

**Смачивание** заключается в растекании капли жидкости, помещенной на поверхность твердого тела. Это свойство зависит от поверхностного натяжения жидкости, сочетания составов жидкости и твердого тела. Смачивание – результат межмолекулярного взаимодействия сред на границе соприкосновения трех фаз: твердое тело – жидкость – газ.

Процесс смачивания позволяет очистному раствору проникать в поры и трещины твердого тела. Углеводородные загрязнения не смачиваются водой, минеральные же частицы обычно смачиваются, но при отсутствии жировых пленок на поверхности.

Силы в поверхностном слое жидкости стремятся придать ей такую форму, чтобы ее поверхность была наименьшей. На каждую элементарную площадку у края жидкости, растекающейся по поверхности твердого тела (рис. 2.4), действуют силы  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  на границах соответственно твердое тело – газ; твердое тело – жидкость; жидкость – газ. Жидкость растекается по поверхности при благоприятном соотношении этих сил,

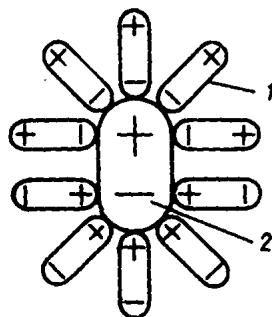


Рис. 2.3. Модель агрегатированной молекулы:  
1 – молекулы растворителя;  
2 – молекулы растворяемого вещества

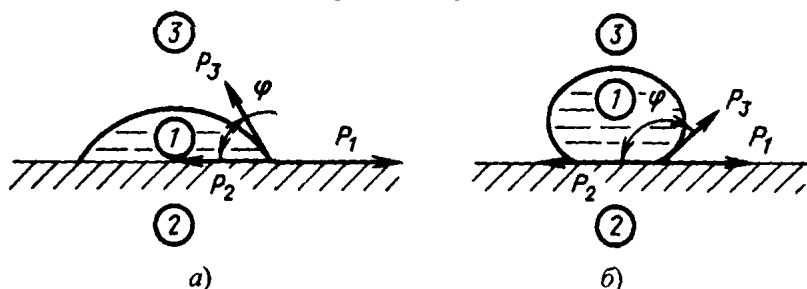


Рис. 2.4. Схема взаимодействия капли жидкости с поверхностью твердого тела и газовой средой:

а – смачивание поверхности; б – поверхность не смачивается;  
1 – капля жидкости; 2 – твердое тело; 3 – газовая среда (воздух)

зависящих от свойств взаимодействующих веществ. Краевой угол смачивания  $\varphi$  определяется из соотношения

$$\cos \varphi = \frac{P_3}{P_1 - P_2}. \quad (2.1)$$

Чем меньше значение угла  $\varphi$ , тем больше смачивающая способность жидкости.

На границе очищаемой поверхности и раствора имеется пограничный слой молекул, не уравновешенных жидкой средой. Молекулы слоя подвержены притяжению молекул всего объема этой жидкости, поэтому слой обладает избытком свободной энергии или адсорбционной активностью. Избыток свободной энергии определяет поверхностную энергию или натяжение. Поверхностное натяжение измеряют работой, которую необходимо затратить на увеличение поверхности жидкости на  $1 \text{ см}^2$ , а произведение поверхностного натяжения на величину поверхности называют свободной поверхностной энергией. Способность вещества понижать последнюю характеризует его поверхностную активность. Таким образом, вещества, способные понижать поверхностное натяжение раствора, называются поверхностно-активными веществами (ПАВ).

ПАВ представляют собой полярные органические соединения. Популярность ПАВ обусловлена строением молекул, состоящих из гидрофобной и гидрофильной частей. Гидрофобная (водоотталкивающая) часть молекулы состоит из остатка углеводородной цепи длиной 10...18 углеродных атомов и способствует растворению ПАВ в масле. Гидрофильная часть молекулы содержит карбоксильную  $\text{COOH}$ , гидроксильную  $\text{OH}$ , сульфатную  $\text{OSO}_3$  или аминогруппу  $\text{NH}_2$  и способствует растворению ПАВ в воде.

*Адсорбция* ПАВ сопровождается образованием адсорбционного и сольватного слоев молекул, покрывающих все поверхности. Процесс адсорбции как увеличение концентрации растворенного вещества у поверхности загрязнений уменьшает прочность его соединения с металлической поверхностью и прочность самого загрязнения, что приводит к образованию микротрещин в загрязнении и его последующему разрушению (диспергированию). В зависимости от активности ПАВ адсорбционные процессы сопровождаются различными эффектами: диспергирующими, расклинивающими, капиллярными и их комбинацией. Так, расклинивающее давление в микротрещинах достигает значений 80...100 МПа, а капиллярные давления – 150...260 МПа, что обеспечивает разрушение твердых загрязнений. Вещества, способные адсорбироваться на поверхности гидрофобных частиц, называются эмульгаторами.

Наибольшее применение в очистных процессах нашли коллоидные (мылоподобные) ПАВ. В водных растворах коллоидные ПАВ имеют высокую поверхностную активность, они способны образовывать коллоидные агрегаты – мицеллы. Причиной мицеллообразования является наличие в молекулах сильнополярной группы и гидрофобного радикала. Эта способность проявляется при пороговой концентрации ПАВ. Образование мицелл при критической концентрации мицеллообразования (ККМ) приводит к резкому изменению очистных свойств растворов ПАВ, при этом меняются плотность, электрическая проводимость, поверхностное натяжение и моющее действие этих растворов. Величина ККМ зависит от вида ПАВ, наличия в растворе щелочных добавок и температуры раствора. Для различных ПАВ значения ККМ составляют 1...10 г/л.

Щелочные добавки значительно снижают ККМ, что обеспечивает эффективное очистное действие раствора при меньшем расходе ПАВ.

Водные растворы коллоидных ПАВ при концентрации выше ККМ способны поглощать значительное количество нерастворимых в воде веществ с образованием прозрачных, не расслаивающихся со временем растворов. Этот процесс называется коллоидным растворением, или солюбилизацией. Явление солюбилизации объясняется способностью мицелл ПАВ поглощать гидрофобными углеводородными радикалами молекулы веществ, нерастворимых в воде.

Загрязнения, как правило, состоят из жидкой (масла, смолы) и твердой (пыль, асфальтены, карбены и др.) частей. Такие загрязнения удаляют с поверхности изделия путем *эмульгирования* жидкой фазы (образования эмульсий) и *диспергирования* твердой фазы (образования дисперсий). На процессы эмульгирования и диспергирования большое влияние оказывает механическое воздействие раствора, способствующее разрушению загрязнений.

Суть *стабилизации* процесса очистки заключается в способности очистного раствора удерживать в своем объеме загрязнения, препятствуя обратному осаждению их на очищенные поверхности детали.

Процесс очистки поверхности металла от загрязнения в жидком растворе ПАВ можно представить множеством воздействий (рис. 2.5).

Вода, обладающая большим поверхностным натяжением, не смачивает гидрофобные загрязнения, а стягивается в отдельные капли. Растворение в воде очистного средства уменьшает поверхностное натяжение раствора, что приводит к проникновению его в трещины и загрязнения. Капиллярное и расклинивающее действия раствора приводят к разрушению загрязнений. Отколовшиеся грязевые частицы переходят в раствор. Молекулы ПАВ адсорбируются на загрязнениях и очищенной поверхно-

сти и препятствуют укрупнению частиц и оседанию их на поверхности. В результате частицы загрязнений во взвешенном состоянии стабилизируются в растворе и удаляются вместе с ним.

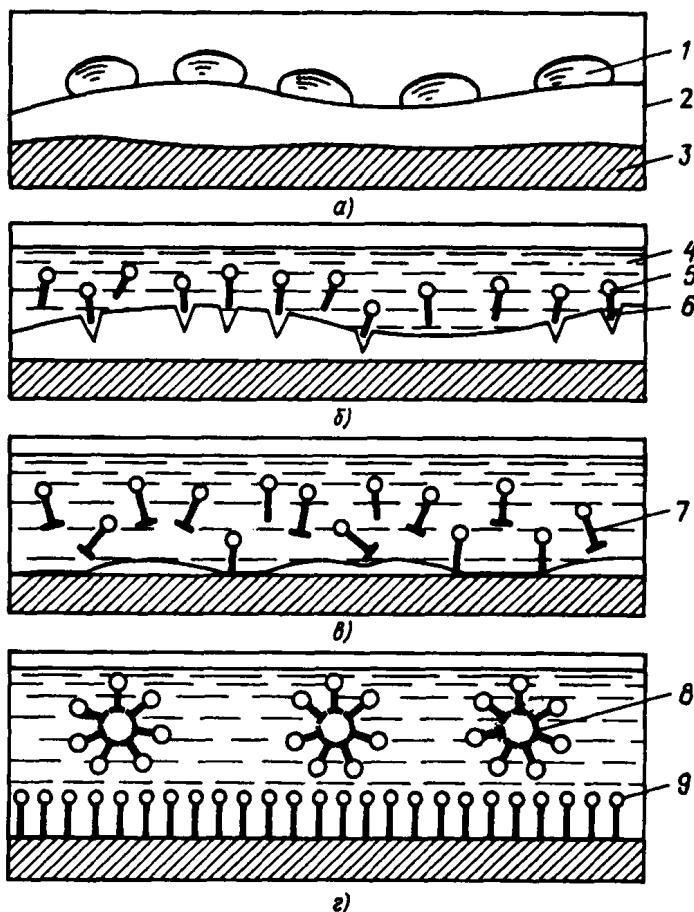


Рис. 2.5. Схема очистного процесса в жидких технологических средах:

а-г – этапы процесса; 1 – капли воды; 2 – загрязнение; 3 – очищаемая поверхность; 4 – моющий раствор; 5 и 6 – соответственно гидрофильная и гидрофобная (радикал) части молекулы ПАВ; 7 – перевод частиц загрязнений в раствор; 8 – частицы загрязнений, стабилизированные в растворе; 9 – адсорбированные молекулы ПАВ на очищенной поверхности

### 2.1.3. Очистные технологические среды

Применяют очистку деталей в жидких технологических средах на основе органических растворителей и технических моющих средств. Однако эти средства не могут с необходимой производительностью очистить детали от загрязнений всех видов, поэтому в ремонте используют и другие средства.

#### Органические растворители

*Органические растворители* обладают незначительным поверхностным натяжением и способностью растворять находящиеся на поверхностях загрязнения, образуя однофазные растворы переменного состава. Полученные растворы содержат не менее двух компонентов. Эти очистные среды должны обладать высокой растворяющей способностью; нетоксичностью, пожаробезопасностью и нейтральностью по отношению к материалу очищаемой поверхности. Кроме того, растворители должны быть стабильными при их регенерации. Важные характеристики растворителей – летучесть, температура кипения и вспышки. Углеводородные растворители принадлежат к неполярным гидрофобным веществам, их применяют для растворения неполярных и слабополярных загрязнений: масел, жиров, простых эфиров и битумов.

Применяют алифатические, ароматические, неароматические и хлорированные углеводороды, спирты, кетоны и эфиры. Основные из них приведены в табл. 2.2. По составу и пожароопасности органические растворители делятся на две группы.

Первую группу образуют: алифатические углеводороды, полученные из нефти (керосин, уайт-спирит, бензин), ароматические углеводороды, получаемые из каменноугольной смолы (бензол, толуол, ксилол), неароматические кольцевые углеводороды (скипидар), спирты (метилловый, этиловый, изопропиленовый), кетоны (ацетон, циклогексанон) и эфиры (этилацетат, бутилацетат). Все они токсичны и пожароопасны.

Во вторую группу входят *хлорированные углеводороды*. Почти все они негорючи, но токсичны. При взаимодействии с водой, светом и теплом нестабилизированные хлорированные растворители разлагаются, а продукты разложения (соляная кислота, хлор, фосген) вызывают коррозию металлов. Хлорированные углеводороды работают при комнатной температуре.

Хлорированные углеводороды обеспечивают высокое качество очистки деталей, но требуют больших затрат на обеспечение безопасных

условий труда, исключающих контакт растворителя и продуктов его превращений с оператором. Наибольшее применение при очистке деталей получил четыреххлористый углерод. Замена растворов на слаботоксичные типа хлористого метилена обычно приводит к недопустимому снижению качества очистки.

## 2.2. Органические растворители и их свойства

Растворитель	Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	Температура кипения, °С	Поверхностное натяжение при 20 °С, Н/м
<i>Простые углеводороды</i>			
Бензин Б-70	680...730	40...180	22,3
Керосин	790...830	200...310	24,1
Уайт-спирит	790	165...200	23,2
Бензол	880	80,1	28,8
Толуол	870	110,6	28,5
Ксилол	860	137...141	25...30
Метиловый спирт	790	64,5	22,5
Этиловый спирт	789	78,3	22,3
Изопропиленовый спирт	785	82,4	22,5
Ацетон	790	56,2	23,3
Циклогексанон	950	161,1	33,9
Этилацетат	900	77,1	23,7
Бутилацетат	880	126,1	25,2
<i>Хлорированные углеводороды</i>			
Хлористый метилен	1330	39,9	28,1
Метилхлороформ	1350	73,9	25,7
Перхлорэтилен	1470	87,2	29,5
Трихлорэтилен	1630	121,2	32,9
Четыреххлористый углерод	1605	76,8	25,7
Дихлорэтан	1170	57,3	24,7

Растворяющая способность органических растворителей высокая. Для некоторых видов она имеет следующие значения, кг/м<sup>2</sup>·с: для трихлорэтилена 3,10; ксилола 2,20; тетрахлорэтилена 1,70; бензина 1,30; уайт-спирита 0,90; керосина 0,60.

Некоторые литературные источники рекомендуют в качестве очистных средств фторсодержащие углеводороды. Однако они разрушают озоновый слой атмосферы, поэтому запрещены международными соглашениями к использованию.

### Растворяюще-эмульгирующие средства

При достижении предельной концентрации загрязнений в органических растворителях процесс очистки прекращается. Этот недостаток частично устраняется применением *растворяюще-эмульгирующих средств* (РЭС).

РЭС состоят из базового и дополнительного растворителей, ПАВ и небольшой добавки воды (табл. 2.3). Базовыми растворителями служат ксилол, уайт-спирит и хлорированные углеводороды. Дополнительный

#### 2.3. Характеристики РЭС

Наименование	Состав, %	Особенности применения
АМ-15	Ксилол 72; ализиариновое масло 26; ПАВ ОС-20 2	Детали выдерживают в 100%-ном препарате, ополаскивают в растворах Лабомиды или МС
МС-3	Уайт-спирит 51; сосновая канифоль 34; едкий натр 6; вода 12	Температура применения 50 °С
Термос	Уайт-спирит 40; ОП-4 10; ОП-7 1; сульфанол 0,2; вода 2; остальное дизельное топливо	Детали выдерживают в 100%-ном препарате, ополаскивают в водном растворе триполифосфата
Лабомид-312	Трихлорэтилен 60; трикрезол 30; синтанол ДС-10 5; алкилсульфаты 5	Детали выдерживают в препарате, разведенном водой (1:0,25), ополаскивают в щелочном растворе

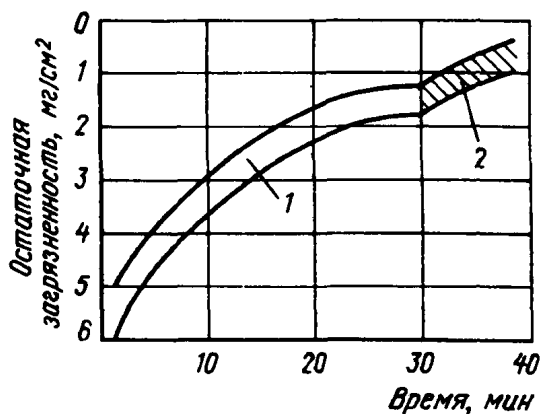


Рис. 2.6. Интенсивность очистки в РЭС АМ-15 (фаза 1) и техническом моющем средстве Лабомид-101 (фаза 2)

растворитель обеспечивает однородность и стабильность раствора с эмульгированным (диспергированным) загрязнением. В качестве дополнительных растворителей применяют ализариновое масло, канифоль и трикрезол. Детали после извлечения из РЭС помещают в воду или раствор ПАВ, где происходит эмульгирование загрязнений (рис. 2.6).

РЭС применяют при очистке деталей от асфальтосмолистых отложений при температуре 20...50 °С.

### Очистные среды на основе растворов щелочных веществ и ПАВ

Создание *технических моющих средств* (ТМС) на основе ПАВ и щелочных электролитов – одно из важнейших достижений в области очистки техники.

Щелочные электролиты в ТМС повышают активность ПАВ. Щелочную реакцию раствору придают как щелочи, так и щелочные соли.

Щелочная реакция раствора щелочей объясняется их диссоциацией, а раствора щелочных солей – их гидролизом. Степень гидролиза возрастает с повышением температуры и понижением концентрации солей. Из щелочей применяют едкий натр. В качестве щелочных солей наиболее часто используют кальцинированную соду, силикаты (метасиликат натрия, жидкое стекло), фосфаты (тринатрийфосфат, триполифосфат). Щелочные вещества умягчают воду, нейтрализуют свободные жирные кислоты, омыляют загрязнения и поддерживают определенную концентрацию водородных ионов (показатель pH).



Во избежание коррозии металлов необходимо ограничивать значение показателя pH раствора. При очистке цинка и алюминия pH должен составлять 9...10, олова – не выше 11, латуни – не выше 12...12,5, а сталь допускает очистку при pH до 14. Легкие и цветные металлы можно очищать при значительно больших значениях pH, например 11,5...12,8, однако в такие растворы необходимо добавлять метасиликат натрия и жидкое стекло. ТМС являются многокомпонентными смесями химических веществ, каждое из которых выполняет определенные функции в процессе очистки. Состав ТМС подбирают для применения в конкретном технологическом процессе очистки деталей из определенного материала от заданных загрязнений.

Для приготовления ТМС применяют синтетические ионогенные или неионогенные ПАВ. Первые в водных растворах диссоциируют на ионы, вторые ионов не образуют. К первой группе ПАВ относятся: алкилсульфаты первичные и вторичные; алкансульфонаты; сульфонаты карбоновых кислот, их амидов и эфиров; алкиларисульфонаты; алкилфосфаты. К неионогенным ПАВ относятся оксиэтилированные алкилфенолы, оксиэтилированные высшие жирные спирты и алканоламиды. Неионогенные ПАВ сохраняют моющую способность в жесткой воде и в средах в широком диапазоне pH.

Большинство ТМС состоят из смесей щелочных неорганических веществ: кальцинированной соды, силиката натрия, простых и полимерных солей фосфорной кислоты с небольшими добавками ПАВ. К таким порошкообразным ТМС относятся: Лабомид, МС, МЛ, Викал, Темп и др. ТМС Лабомид, МС, МЛ, Темп практически взаимозаменяемы при очистке деталей.

Лабомиды-101, -102, -203 и -204 – это смеси ПАВ и щелочных неорганических солей. Предназначены они для очистки деталей из черных и некоторых цветных металлов от маслогрязевых и асфальтосмолистых загрязнений. Состав этих ТМС приведен в табл. 2.4, они получили наибольшее распространение в ремонте.

Средства МС-6 и МС-8 представляют собой смеси неионогенных ПАВ с неорганическими щелочными солями. МС-6 предназначено для очистки деталей шасси тракторов, автомобилей, комбайнов, их агрегатов узлов, в том числе их деталей из черных и цветных металлов. МС-8 рассчитано на очистку деталей двигателей.

МЛ-51 и МЛ-52 – смеси ПАВ со щелочными неорганическими солями. Смесь МЛ-51 предназначена для очистки деталей от остатков горючесмазочных материалов, маслогрязевых отложений и консервационных покрытий. МЛ-52 служит для очистки деталей от остатков горючесмазочных и асфальтосмолистых отложений. Состав этих ТМС приведен в табл. 2.5.

## 2.4. Состав ТМС типа Лабомид, мас. %

Составляющие	Лабомид			
	-101	-102	-203	-204
Синтанол ДТ-7	4	4	6	8
Алкилсульфаты натрия первичные	—	—	2	2
Кальцинированная сода	50	56	50	50
Триполифосфат натрия	30	20	30	20
Метасиликат натрия	—	20	—	10
Жидкое стекло	16	—	10	10

## 2.5. Состав ТМС типа МЛ, мас. %

Составляющие	МЛ	
	-51	-52
Кальцинированная сода	44	50
Триполифосфат натрия или тринатрийфосфат	34,5	30
Метасиликат натрия или жидкое стекло	20	10
Смачиватель ДБ	1,5	6,2
Сульфонол	—	1,6

МС-15 – смесь неионогенных ПАВ с неорганическими щелочными веществами. Средство предназначено для очистки машин, агрегатов, узлов и деталей от масляных отложений в различных очистных машинах погружного типа.

Концентрация ТМС в растворах составляет 15...30 г/л, рабочая температура растворов 80...90 °С.

Высокая щелочность и повышенное коррозионное воздействие на поверхность деталей из цветных металлов и сплавов потребовали применения ТМС на основе неионогенных ПАВ в смеси с растворителями и органическими добавками к ним. К ним относятся: Вертолин-74, Истра, Импульс, Фокус-74, ТМС-57, Омега и др. Необходимое сочетание потребительских свойств обеспечивается при условии получения ТМС в жидком виде.

Назначение и характеристика других ТМС следующие.

ТМС-31 – водный раствор смеси ПАВ и органических добавок, предназначенный для очистки поверхностей металлов и сплавов (в том

числе полированных) от маслообразных загрязнений и остатков полировальных паст.

Средства Анкрас и СЭП-411 применяют для удаления старых лакокрасочных покрытий.

Внедрение ТМС обеспечивает снижение стоимости очистных растворов на 40...60 % и сокращение времени очистки в 5...7 раз по сравнению с органическими растворителями.

Для продления срока службы раствора и экономии ТМС необходима его очистка от частиц загрязнений. Применяют процессы процеживания, отстаивания, коагуляции, флотации и фильтрования.

*Процеживание* применяют на первой стадии очистки растворов с целью отделения крупных твердых и волокнистых загрязнений. Процеживание ведут через решетки и сетчатые корзины.

*Отстаивание* практикуют как способ очистки растворов в струйных и погружных машинах. Однако при этом способе затруднено удаление осевших минеральных взвесей и всплывших нефтепродуктов.

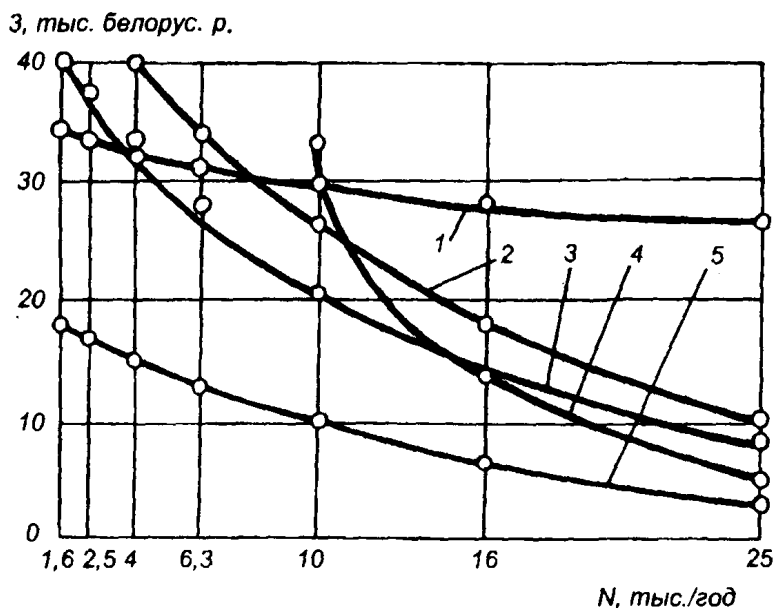
*Коагуляция* сопровождается укрупнением частиц загрязнений и выпадением из коллоидного раствора хлопьевидного осадка. Лучшими коагуляторами являются железный купорос и гашеная известь.

*Флотация* основана на прилипании частиц загрязнений к воздушным пузырькам, переводе их в пенный слой и удалении этого слоя. Степень и время очистки зависят от исходной концентрации нефтепродуктов и взвесей, а также дисперсности пузырьков воздуха. Однако вместе с загрязнениями удаляются и ПАВ.

*Центробежное фильтрование* осуществляют в гидроциклонах или центрифугах. Для осаждения твердых включений применяют напорные гидроциклоны, а для удаления всплывших загрязнений и их осаждения – открытые безнапорные.

Способ *ультрафильтрации* получил распространение для разделения эмульсий. Раствор при этом фильтруют через полупроницаемые мембраны под давлением, превышающем осмотическое. Мембрана в таком случае пропускает молекулы растворителя, задерживая растворенное вещество.

Результаты сравнения между собой способов регенерации очистных сред – отстаивания, коагуляции, флотации, ультрафильтрации с предварительным осветлением и работы самоочищающегося фильтра – приведены на рис. 2.7. Критерий оценки – технологические затраты на суточный объем отработавшего вещества очистного участка. При значениях объемов ремонта до 6,3 тыс. двигателей в год наибольшие затраты связа-



**Рис. 2.7.** Зависимость технологических затрат  $Z$  на суточный объем очистки раствора очистного участка от программы ремонта  $N$  двигателей с рабочим объемом 4,5 л различными способами:  
 1 – отстаиванием; 2 – коагуляцией; 3 – флотацией; 4 – ультрафильтрацией с предварительным осветлением; 5 – самоочищающимся фильтром

ны с применением коагуляции и флотации. При увеличении объемов ремонта  $> 6300$  двигателей в год наименее эффективным способом становится отстаивание.

Соотношение затрат объясняется недоиспользованием мощности оборудования для коагуляции и флотации и несовершенством процесса отстаивания, связанным с малой производительностью и большими габаритными размерами. Способ ультрафильтрации становится эффективнее коагуляции и флотации, начиная с объемов ремонта примерно 10 тыс. двигателей в год. На всем рассматриваемом отрезке программы ремонта  $N$  затраты на флотационный процесс меньше затрат на коагуляцию, что объясняется меньшими затратами на вспомогательные материалы в первом случае. Наибольшую эффективность обеспечивает применение самоочищающегося фильтра (кривая 5), который ведет непрерывную очистку раствора с выделением твердой и жидкой фаз. Производительность фильтра должна соответствовать объемам очищаемого вещества и интенсивности его загрязнения.

### Твердые очистные среды, расплавы, кислоты и щелочи

Прочные неомыляемые загрязнения удаляются с поверхности детали путем их *механического дробления* потоком твердых частиц (косточковой крошкой фруктовых растений, стеклянными шариками диаметром 0,3...0,8 мм, частицами полиэтилена или полиамида, корундом, чугуновой и стальной дробью, кварцевым песком). Среда переноса этих частиц – сжатый воздух, вода, растворы ТМС.

*Расплав щелочей и солей*, который состоит из едкого натра  $\text{NaOH}$ , азотнокислого натрия  $\text{NaNO}_3$  и хлористого натрия  $\text{NaCl}$ , очищает поверхности деталей практически от всех видов загрязнений.

Серную и соляную кислоты используют для травления, очистки от продуктов коррозии, накали, лакокрасочных покрытий и асфальтосмолистых отложений. Применяют также уксусную, щавелевую, олеиновую, лимонную и нафтенную кислоты. Коррозионная активность кислот уменьшается при введении в очистной раствор ингибирующих добавок.

Растворы каустической соды применяют в выварочных ваннах для снятия старой краски.

Перспективно применение гранулированного сухого льда, который полностью испаряется после очистки поверхностей.

#### 2.1.4. Процессы и средства очистки деталей

##### Схема процесса очистки

Хорошо очищенные объекты ремонта легче разбираются и меньше повреждаются.

*Допустимая остаточная масса загрязнений* на единице поверхности детали зависит от класса ее шероховатости. Так, например, на поверхностях с шероховатостью 4-го класса остаточная загрязненность не должна превышать  $12,5 \text{ г/м}^2$ , а на поверхностях с шероховатостью 9-го класса –  $2,5 \text{ г/м}^2$ .

Качественную очистку машин обеспечивает пятиоперационный процесс (см. рис. 2.1). Он включает: наружную очистку агрегатов с выпариванием внутренних полостей, очистку разобранных агрегатов, очистку сборочных единиц, общую очистку деталей и очистку деталей от прочных загрязнений.

На первой операции очистки удаляют до 80 % загрязнений, главным образом маслосодержащих и масляных с продуктами изнашивания, и готовят агрегат для разборки.

Следующие операции очистки проходят последовательно агрегаты со снятыми головками, люками и крышками и сборочные единицы (узлы) этих агрегатов.

Детали после разборки агрегата проходят общую очистку, а затем детали, имеющие прочные загрязнения, проходят отдельную очистку в специальных технологических машинах.

Таким образом, последующие операции очистки обеспечивают снятие более прочных загрязнений.

### Очистное оборудование и его характеристика

Наибольший объем очистки выполняют в жидких технологических средах в струйных или погружных машинах проходного или тупикового типа. Кроме этих машин применяются машины, специализированные на очистке от прочных загрязнений различных видов.

Основные элементы *струйной машины* проходного типа (рис. 2.8): рабочая камера 7, ванна с раствором 6, фильтры 5 и 9, насосный агрегат 11, система гидрантов 8, транспортирующее устройство. При работе машины насос подает технологическую очистную среду под давлением 0,2...1 МПа в систему гидрантов. Гидранты представляют собой фигурные трубопроводы со множеством сопел. Форма гидрантов, число и направление сопел обеспечивают формирование струй, направленных в наиболее загрязнен-

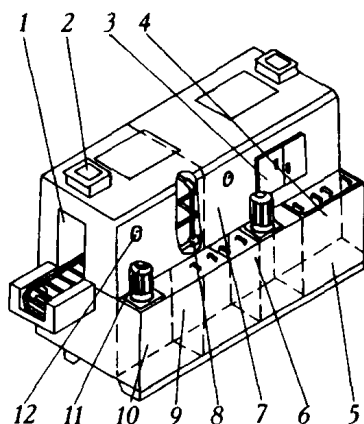


Рис. 2.8. Машина для струйной очистки деталей:

- 1 – тамбур; 2 – вентиляционный отвод; 3 – люк; 4 – флотационный отсек; 5 и 9 – напорные фильтры; 6 – ванна с раствором и нагревательными элементами; 7 – очистная камера; 8 – система гидрантов; 10 – емкость подачи раствора; 11 – насосный агрегат; 12 – приборы

ные места. В некоторых машинах гидранты выполнены подвижными, что позволяет струям раствора взаимодействовать с очищаемой поверхностью с разных направлений со сканирующим эффектом.

В процессе очистки объекты поступательно перемещаются на транспортере или подвесном конвейере относительно гидрантов. Перемещение деталей на подвесном конвейере обеспечивает лучшее качество их очистки, а перемещение на решетчатом транспортере исключает время завешивания деталей на подвески. Характеристика струйных машин с подвесным конвейером приведена в табл. 2.6.

Устройство и работа погружной машины крестово-роторного типа рассмотрены ранее (см. рис. 1.9).

Производительность и качество погружной очистки увеличиваются при гидродинамической активации очистного раствора. Применяют следующие способы активации:

- колебанием платформы с очищаемыми деталями в растворе вдоль вертикальной оси;
- лопастными винтами, которые создают осевые турбулентные потоки раствора, заключенные в диффузоры;
- роторами-активаторами, создающими радиальные турбулентные потоки раствора;
- ультразвуковыми колебаниями очищающей среды.

**2.6. Характеристики струйных проходных машин**

Показатель	ОМ-11501*	ОМ-4167М	ОМ-12139	ОМ-9313**
Производительность, т/ч	2,0...2,5	4...16	0,5...1,0	4,5...18
Размер транспортного проема, мм:				
– ширина	1200	1100	700	1100
– высота	1500	1200	700	1400
Скорость перемещения конвейера, м/мин	0,34	0,21...0,85	0,3...1,4	0,3...1,4
Объем раствора, м <sup>3</sup>	12,3	8,5	1,8	28
Установленная мощность, кВт	49	62,3	26,6	45

\* Применен качающийся гидрант.

\*\* Использована импульсная подача раствора.

Предложена интенсификация очистки деталей за счет пространственного их перемещения в контейнере относительно трех координатных осей.

Характеристика погружных машин тупикового типа приведена в табл. 2.7.

При выборе машин погружного или струйного типа необходимо учитывать следующее.

Струйные машины легко приспособляются к конвейерной очистке, они менее металлоемки, у них меньшая мощность механического привода, однако эти машины требуют большего расхода тепловой энергии на нагрев раствора [общая поверхность образующихся капель составляет (0...15) тыс.  $\text{м}^2/\text{л}$ ]. У этих машин большой расход энергии, связанный с работой вентиляции, растворы не предназначены для отделения прочных загрязнений. Высокая кратность перекачки очистного раствора (до 20 раз в час) приводит к образованию стабильных эмульсий частиц загрязнений в растворе, в результате чего растворы быстро истощаются. При этом большая часть молекул ПАВ адсорбируется на отделившихся частицах загрязнения и в процессе дальнейшей очистки не участвует. Такие эмульсии практически не поддаются расслоению и другим видам регенерации, а их слив в канализацию наносит большой ущерб природе.

2.7. Характеристики погружных машин

Показатель	ОМ-15429	ОМ-15434	ОМ-15433
Объем раствора, $\text{м}^3$	14	10	5
Расход пара, $\text{кг/ч}$	100...150	до 160	до 130
Вместимость контейнеров, $\text{кг}$	600	400	200
Число контейнеров	4	4	4
Максимальный размер изделий, $\text{мм}$	1200	800	600
Производительность, $\text{т/ч}$	3,2	3,8	3,2
Установленная мощность, $\text{кВт}$	16	10	7
Габаритные размеры, $\text{мм}$	$6600 \times 4700 \times 3960$	$5120 \times 4450 \times 4200$	$5970 \times 2950 \times 4000$



Максимальная физико-химическая активность раствора ТМС начинает проявляться не с момента контакта раствора с загрязнением, а через 0,1...0,2 ч. Это время необходимо для адсорбции молекул ПАВ на частицах загрязнений. Следовательно, энергия для механического воздействия на загрязнение в начальный период очистки расходуется неэффективно. Хорошо очищаются только поверхности, имеющие непосредственный контакт со струями, а поверхности, находящиеся в «тени», не очищаются.

Погружные машины не имеют ряда приведенных недостатков, однако требуют больших трудозатрат на загрузку и выгрузку деталей. Сопоставление затрат на создание и эксплуатацию струйных и погружных машин однозначно показывает целесообразность применения погружного оборудования. Ряд передовых ремонтных заводов ведет очистку ремонтируемой техники только в погружных машинах.

Качество и производительность погружной очистки ответственных деталей (например, топливной аппаратуры) повышаются за счет использования ультразвуковых колебаний очищающей среды. Наиболее часто применяют щелочные растворы с ПАВ. Режим очистки: частота колебаний 20...40 кГц, удельная мощность 1...3 Вт/см<sup>2</sup>, температура раствора 40...60 °С, продолжительность 1...5 мин. Установки для ультразвуковой очистки включают ванну и ультразвуковой генератор. Для очистки деталей применяют промышленные установки (табл. 2.8).

**2.8. Характеристики ультразвуковых установок**

Показатель	Модель			
	УЗВ-15М	УЗВ-16М	УЗВ-17М	УЗВ-18М
Вместимость ванны, л	40	80	120	150
Габаритные размеры, мм	400 × 400 × 300	700 × 450 × 300	1100 × 450 × 300	1400 × 450 × 300
Тип преобразователя	ПМС-6-22	ПМС-6-22	ПМС-6М	ПМС-6М
Число преобразователей	1	2	3	4
Потребляемая мощность, кВт	2,5	5,0	7,5	10,0
Тип генератора	УЗГ-2,5	УЗГ-6,3	УЗГ-10	УЗГ-10У
Расход воды, л/мин	9	14	18	22

Большое снижение расхода энергии независимо от выбранного способа очистки обеспечивает предварительная выдержка деталей в растворе ТМС. Асфальтосмолистые отложения начинают разрыхляться в растворе при выдержке 15...20 мин. За 8 ч пребывания поршней с нагаром в растворе Лабомид-203 отделяется 60...80 % массы загрязнений.

В конце технологического процесса поверхности очищают от прочных загрязнений. Хотя их масса составляет не более 10 % общей массы загрязнений и они не являются источником загрязнений рабочего места, но для своего отделения требуют большого расхода энергии и применения оборудования, специализированного по видам отделяемых загрязнений и очищаемого материала.

В ремонтном производстве применяют следующие виды процессов и оборудования для очистки деталей от прочных загрязнений.

Остатки лакокрасочных покрытий снимают с деталей из черных металлов в роторных погружных машинах, заправленных (1,5...3)%-ным раствором каустической соды. Этот способ очистки деталей требует последующего их ополаскивания в растворе ТМС.

Производительная очистка гильз цилиндров от накипи получается при окунании их в 15%-ный раствор соляной кислоты, подогретый до температуры 60 °С. Несмотря на кажущуюся простоту процесса очистки деталей от накипи в подогретом растворе соляной кислоты, следует учитывать, что этот процесс требует больших затрат на обеспечение безопасных условий труда. Необходима нейтрализация раствора, как остающегося на поверхностях очищаемых деталей, так и находящегося в виде паров в вентиляционных каналах. Процесс протекает при включенной вентиляции. Для изготовления ванн применяют дорогие кислотостойкие материалы.

Очистка деталей из алюминиевого сплава от углеводородных отложений эффективна в расплаве щелочей и солей в четырехсекционной машине ОМ-4944 (табл. 2.9). Непосредственно отделение загрязнений

**2.9. Характеристики машины для очистки деталей  
в расплаве щелочей и солей**

Показатель	ОМ-4944	ОМ-5458
Производительность, т/ч	0,3...0,5	0,6...0,7
Одновременная загрузка, кг	90	90
Число вани	4	4
Установленная мощность, кВт	70	73,4
Максимальные габаритные размеры деталей, мм	1050 × 500 × 500	1050 × 500 × 500

протекает в первой секции с расплавом едкого натра  $\text{NaOH}$  (65 %), азотнокислого натрия  $\text{NaNO}_3$  (30 %) и хлористого натрия  $\text{NaCl}$  (5 %), нагретого до температуры 300 °С. В остальных секциях ведут нейтрализацию, осветление и промывку поверхностей деталей.

Очистка деталей из черных металлов допускает повышение температуры расплава до 400...420 °С. По этой технологии, например, очищают внутренние полости в шатунных шейках коленчатых валов. Усовершенствование машины, получившей марку ОМ-5458, заключалось в ее оснащении устройством для автоматического перемещения очищаемых объектов.

Очистка в расплаве щелочи и солей при температуре 300...420 °С требует энергоемкого оборудования (установленная мощность установки 75 кВт) и частой замены очистного материала (заправки агента хватает на очистку 90 т деталей).

Широко применяется очистка деталей из алюминиевого сплава от прочных загрязнений потоком косточковой крошки, зернами полиэтилена или полиамида в струе сжатого воздуха.

Гильзы, головки и блоки цилиндров, впускные трубы и другие детали очищают от нагара *потоком косточковой крошки* (табл. 2.10). Однако эта очистка сопряжена с большими трудозатратами на непрерывное относительное перемещение очищаемого предмета и эжекционного пистолета. Кроме того, для установки оборудования требуется изготовление приемка для заглубления. Большой расход сжатого воздуха для создания разрежения в эжекционном пистолете сопряжен с большими эксплуатационными расходами.

В производство внедрена очистка деталей *потоком стеклянных шариков* диаметром 0,3...0,8 мм. Этот вид очистки по сравнению с очисткой деталей косточковой крошкой более производительен, здесь меньшая стоимость очистного агента, машина имеет меньшие габаритные размеры, а процесс легче механизмуется.

#### 2.10. Характеристики машины для очистки деталей косточковой крошкой

Показатель	М-2023	ОМ-3181
Производительность, м <sup>2</sup> /ч	3...5	2...3
Установленная мощность, кВт	3	0,4
Расход воздуха форсункой, м <sup>3</sup> /ч	90...120	110
Габаритные размеры, м	2,2 × 1,8 × 3,5	1,9 × 1,0 × 3,3

Материал шариков по сравнению с другими искусственными абразивами характеризуется наибольшим значением коэффициента восстановления при ударе (15/16). Стеклообразные шарики при ударе о поверхность детали не оставляют на ней следа.

Установка для очистки от нагара поршней двигателей внутреннего сгорания (рис. 2.9) включает: корпус 1 с приводом, камеры 7 и сборник-фильтр 10.

На корпусе 1 установлены все узлы установки. Электродвигатель 2 посредством клиноременной передачи 3 приводит червячный редуктор 4, который, в свою очередь, клиноременной передачей 5 соединен с двумя шкивами, установленными на валах 6. На других концах валов закреплены стаканы, в которые устанавливают очищаемые детали.

Процесс очистки протекает в двух одинаковых камерах 7 (на рисунке показана одна из них). Каждая из камер оборудована двумя эжекционными форсунками 9. Камеры снабжены открывающимися дверями 8, которые в закрытом положении воздействуют на конечный выключатель (на рисунке не показан). Электрический сигнал выключателя используется

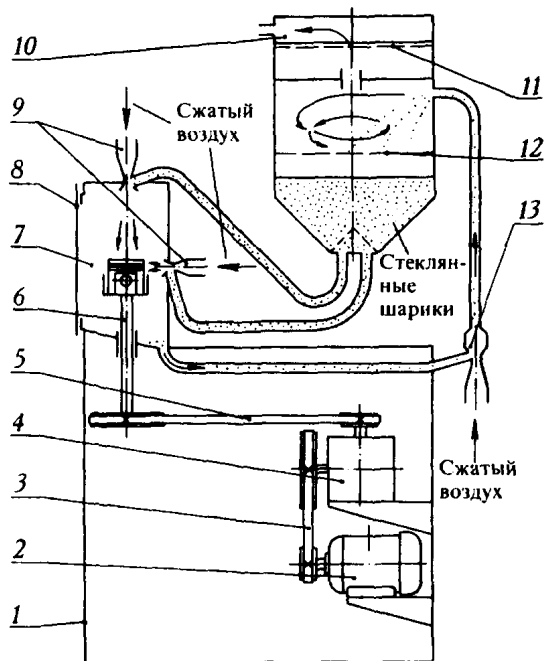


Рис. 2.9. Машина для очистки деталей потоком стеклянных шариков

для включения двигателя 2 и подачи сжатого воздуха к эжекционным форсункам. К последним также подключены шланги для подачи стеклянных шариков. Дно каждой камеры 7 выполнено наклонным для скатывания шариков в выходной патрубок. Этот патрубок соединен с эжектором 13, а последний – со шлангом для возврата шариков в сборник-фильтр 10.

В сборнике-фильтре находятся запас стеклянных шариков, матерчатый фильтр 11 и фильтрующая сетка 12. Шланги для подачи шариков к эжекционным форсункам 9 подключены к основанию конусного дна сборника. Патрубок, по которому шарики возвращаются в сборник-фильтр, расположен тангенциально к его корпусу.

### Технические характеристики установки

Производительность, деталей/ч .....	90...120
Число одновременно очищаемых деталей .....	2
Тип привода .....	Электромеханический
Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup> .....	3
Масса очищающего материала, кг .....	30
Габаритные размеры, мм .....	1100 × 900 × 1900
Масса установки, кг .....	110
Давление сжатого воздуха, МПа .....	0,3...0,5

Установка работает следующим образом.

В два стакана на валах 6 устанавливаются очищаемые детали и закрываются двери 8 камер 7. Двери в закрытом положении воздействуют на конечный выключатель, который дает сигнал на включение двигателя 2 и подачу сжатого воздуха к эжекционным узлам 9 и 13. Вращение от вала электродвигателя посредством клиноременных передач 3 и 5 и редуктора передается на стаканы с деталями. Эжекционные форсунки создают разрежение в подводных шлангах, что приводит к поступлению шариков к форсункам. Шарики из фильтра-отстойника попадают в струю сжатого воздуха и приобретают необходимую энергию для разрушения нагара в момент соударения с загрязнением. Верхние форсунки, установленные в камерах 7, очищают днище поршня, а боковые форсунки – канавки под поршневые кольца.

Шарики после соударения с нагаром попадают вместе с частицами загрязнений на наклонное дно камеры, а затем благодаря работе эжектора 13 – в сборник-фильтр. Шарики проходят через сетку 12, на которой задерживаются частицы загрязнения. Отработавший воздух через фильтр 11 выходит в атмосферу в очищенном состоянии.

При открытии дверей 8 камер отключаются напряжение к электродвигателю 2 и подача сжатого воздуха к эжекторам 9 и 13. Очищенные детали извлекаются из остановленных стаканов.

В конце смены производят частичную разборку сборника-фильтра 10 для удаления загрязнений с сетки 12 и очистки фильтрующей перегородки 11.

Установка может быть переналажена для очистки других деталей путем применения соответствующих установочных элементов.

Для очистки крепежных деталей эффективны галтовочные барабаны, где дробление загрязнений происходит при соударении деталей друг с другом во время их перекачивания в барабане. Разновидностью таких технологических машин является средство со шнековым барабаном и автоматической выгрузкой метизов. Процесс очистки в нем протекает при непрерывном перекачивании и осевом перемещении деталей в очистном растворе за счет вращения барабана.

На рис. 2.10 показана установка для очистки метизов. Основные части установки – ванна 1 и перфорированный барабан 7. Барабан посредством цепной передачи 4 приводится во вращение от электродвигателя 2 с редуктором 3. На внутренней полости барабана под острым углом к его радиусу закреплены изогнутые разгрузочные пластины 11. Лоток 8 служит для загрузки метизов, а лоток 10 – для их выгрузки. Во внутреннюю полость барабана 7 введен гидрант 9 для подачи раствора. В ванне 1 под барабаном

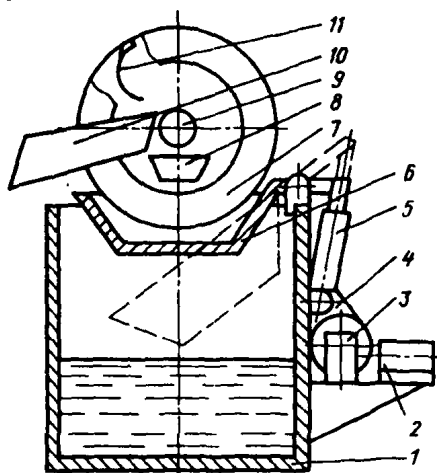


Рис. 2.10. Установка для очистки метизов

установлена подвижная емкость 6 с возможностью ее поворота в вертикальной плоскости с помощью пневмоцилиндра 5, закрепленного на корпусе вне рабочей зоны ванны.

Установка работает следующим образом. Включают двигатель 2 привода барабана. Очищаемые детали подают по загрузочному лотку 8 в барабан. Подвижную емкость 6 посредством пневмоцилиндра 5 приводят в верхнее положение. Раствор подают в гидрант 9. Излишний раствор стекает из емкости 6 в ванну 1, при этом из емкости 6 вытекает в первую очередь верхний, загрязненный

слой раствора. Включают вращение барабана в растворе, находящемся в емкости. Подвижную емкость после очистки деталей опускают вниз, детали ополаскивают из гидранта 9. Включают обратное вращение барабана, при этом детали захватываются изогнутыми пластинами 11, попадают на разгрузочный лоток 10 и соскальзывают в приемную тару.

Для очистки ремонтируемых машин и их частей Государственный всероссийский научный и технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ГосНИТИ, Москва) разработал систему очистного оборудования, которая в свое время непрерывно совершенствовалась. Применительно к ремонту агрегатов с восстановлением их деталей эта система включает струйные машины для наружной очистки агрегатов ОМ-21610 и ОМ-1578. Для очистки разобранных агрегатов, их узлов разработаны погружные машины ОМ-21602, ОМ-22608 и ОМ-22609. Для очистки масляных каналов в блоках цилиндров созданы машины ОМ-3600 и АКТЬ-180, для очистки каналов в коленчатых валах – ОМ-22601 с производительностью 6...12 комплектов в час. Мелкие детали (толкатели, коромысла, клапаны, пружины и др.) очищаются в колокольной машине ОМ-6068А производительностью 400 кг/ч с механизированной выгрузкой очищенных изделий.

Процессы очистки машин энергоемкие, они потребляют около 2/3 тепловой энергии, затрачиваемой на технологические нужды всего ремонтного завода. Проблема совершенствования этих процессов в деле уменьшения энергоемкости актуальна до настоящего времени.

### Контроль качества очистки деталей

Применяют различные способы контроля остаточной загрязненности поверхностей: смачиванием водой, весовой, протиранием и люминесцентный.

*Способ смачивания* водой основан на способности металлической поверхности удерживать непрерывную пленку воды, если эта поверхность свободна от гидрофобных загрязнений. При наличии на поверхности минеральных масел в количестве  $> 0,01 \text{ мг/см}^2$  водяная пленка разрывается мгновенно, при  $0,005 \text{ мг/см}^2$  разрыв наступает через 4...7 с. Для смачивания применяют холодную дистиллированную воду, которую наносят на поверхность детали ее погружением. Способ применяют для деталей с шероховатостью поверхностей  $Rz < 3,2 \text{ мкм}$ .

При использовании *весового способа* загрязнения снимают путем растворения (с последующей экстракцией) или соскабливания, взвешивают их и относят к площади поверхности.

*Протирание* ведут фильтровальной бумагой, бумажной салфеткой или ватным тампоном, а количество загрязнений определяют взвешиванием. Способ является основным при контроле качества очистки каналов и внутренних полостей и дополнительным к способу смачивания.

*Люминесцентный способ* основан на свойстве масел светиться под влиянием ультрафиолетового света. Наличие свечения и его интенсивность определяют качество очистки. Используют прибор ПЛКД-2, определяющий содержание масляных загрязнений в количестве  $0,0005 \dots 0,05 \text{ мг/см}^2$ .

В заводских условиях контролируют температуру очистного раствора и массовую долю ТМС. Последний показатель определяют косвенными методами: путем измерения щелочности pH регламентно разбавленных растворов, их плотности или электропроводности. Наибольший интерес для ремонтного производства представляет последний метод как наименее трудоемкий, более точный и стабильный независимо от количества загрязнений в растворе. Применяют анализатор моющих растворов АМР-3А, с помощью которого определяют температуру и массовую долю ТМС в процессе очистки деталей.

### Технические характеристики анализатора АМП-3А

Диапазон измерения: .....	
концентрации ТМС, г/л .....	2...30
температуры, °С .....	15...95
Время одного измерения, мин .....	3
Габаритные размеры, мм .....	290 × 210 × 100
Масса, кг .....	3,5

## 2.2. Определение технического состояния исходных заготовок и их сортировка

Исходные заготовки ремонта (очищенные детали ремонтного фонда) сортируются на три группы: годные для дальнейшего применения, подлежащие восстановлению и утильные. Работы по *определению технического состояния исходных заготовок* состоят в измерении значений установленных параметров и отнесении этих заготовок к одной из трех названных групп. На заготовках второй группы находят сочетания повреждений и устанавливают маршруты восстановления. Работы выполняются на сортировочном участке.



### 2.2.1. Виды и классификация повреждений

*Повреждения деталей* – это недопустимые, приобретенные в эксплуатации отклонения значений свойств их материала и геометрических параметров от начальных, заложенных при изготовлении или ремонте.

В зависимости от природы возникновения повреждения деталей бывают в виде: *износов, усталостных изменений, деформаций, трещин, пробоин, коррозии и старения материала*. Повреждения по месту возникновения подразделяются на *наружные и внутренние*. Наружные повреждения определяют осмотром или измерениями, а внутренние – средствами структуроскопии.

Основные характеристики повреждений:

- отклонения размеров, формы и взаимного расположения элементов от нормативных значений;
- размеры трещин и пробоин;
- расход среды из-за течей;
- механические.

### 2.2.2. Процессы и средства для определения повреждений

Операции по определению повреждений следующие:

- простукивание и наружный осмотр;
- измерения линейных и угловых размеров;
- измерение параметров формы и расположения поверхностей;
- обнаружение поверхностных трещин;
- определение течей;
- измерение специальных характеристик.

*Простукивание* применяют для определения «ослабленных» посадок шеек, шипов, штифтов и заклепок и контроля резьбовых сопряжений с натягом. Резьбы с натягом разбирают только при необходимости.

Обломы и наружные большие трещины определяют *осмотром*. При осмотре используют складные лупы ЛП-1, ЛАЗ, ЛПК-471, штативные лупы ЛШ, ЛПШ-25, ЛПШ-462, отсчетные микроскопы МИР-1М и МИР-2 и бинокулярные микроскопы типа БМИ.

Для *контроля линейных размеров* элементов деталей применяют универсальный инструмент: штангенциркули (ГОСТ 166–89), штангензубомеры, штангенглубиномеры (ГОСТ 162–90), гладкие микрометры (ГОСТ 6507–90), индикаторные нутромеры (ГОСТ 868–82 и 9244–75) и скобы (ГОСТ 11098–75). Допустимая погрешность измерений определена ГОСТ 8.051–81. Для повышения производительности измерений широко

применяют специальные средства – непроходные неполные предельные калибры, рабочие размеры которых определены ГОСТ 2015–84.

Диаметры внутренних и наружных цилиндрических поверхностей измеряют в двух взаимно перпендикулярных плоскостях или в плоскости наибольшего износа.

Резьбовые шейки осматриваются, а наиболее ответственные из них контролируются резьбовыми калибрами.

Если деталь признается годной по линейным параметрам, то проверку продолжают для выявления годности по параметрам формы и расположению поверхностей.

*Отклонение от круглости* измеряют кругломерами, от плоскостности – с помощью щупов или оптико-механическими приборами.

*Отклонения от взаимного расположения поверхностей* измеряют с помощью специальных средств, оснащенных индикаторами часового типа (ГОСТ 577–68). Например, в блоке цилиндров в сборе с картером сцепления двигателя внутреннего сгорания необходимо измерить:

- соосность коренных опор между собой и с отверстием под коробку передач в картере сцепления;
- биение торца картера сцепления относительно оси коренных опор;
- параллельность торцев первой коренной опоры между собой и перпендикулярность их к оси коренных опор;
- совпадение и перпендикулярность осей цилиндров и коренных опор;
- расстояния между осями цилиндров;
- параллельность осей коренных опор и отверстий под распределительный вал и расстояние между ними;
- расстояние между осями коренных опор и отверстия под стартер.

Большую часть средств создают в собственном вспомогательном производстве.

*Для обнаружения поверхностных усталостных трещин*, неразличимых визуально, в деталях ремонтного фонда применяют магнитные, капиллярные и звуковые способы контроля. Перспективно использование рентгено- и гамма-дефектоскопии.

*Магнитные способы* применяют для контроля деталей из ферромагнитных материалов. Трещины в материале детали или включения обуславливают иную, чем в основном материале, магнитную проницаемость. Способы основаны на определении в месте повреждения магнитного поля рассеяния. Эти способы надежны и просты, поэтому получили широкое распространение.

Сущность магнитного способа определения повреждений заключается в том, что магнитный поток, встречая на своем пути повреждение с низкой магнитной проницаемостью по сравнению с ферромагнитным материалом, огибает его. Часть магнитного потока выходит за пределы детали, образуя поле рассеяния. Поиск последнего составляет содержание способа.

По способу определения магнитного поля рассеивания различают следующие виды контроля: магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый и др. Наибольшее распространение в ремонте из магнитных способов получил магнитопорошковый.

*Магнитопорошковый контроль* включает следующие операции: подготовку детали к контролю, ее намагничивание, нанесение на проверяемую поверхность магнитного порошка или его взвеси, обнаружение повреждения и размагничивание детали.

Для визуального определения магнитных полей рассеяния над трещинами служат магнитные порошки (сухие или в виде суспензий). Железные порошки получают термическим разложением пентакарбонила железа  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  или диспергированием железа электрической дугой в керосине, а порошок ферромагнитного оксида железа – окислением магнетита.

Наибольшее распространение получили черный или темно-коричневый магнитный порошок, представляющий собой измельченный оксид-закись железа  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , и буро-красный порошок – оксид железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Для контроля деталей с темной поверхностью используют светлые порошки (с добавлением алюминиевой пудры) или люминесцентные порошки, содержащие люминофор-люминоген светло-желтого цвета. Размер частицы порошка составляют 0,1...60 мкм.

Магнитные пасты, предназначенные для получения взвесей в жидкости, содержат различные смачивающие, антикоррозийные и другие добавки. В качестве жидкости используют смесь керосина и трансформаторного масла в равных количествах. На 1 кг жидкости добавляют 30...50 г магнитного порошка.

Скопления порошка над трещинами намагниченных деталей выявляют форму и размеры этих трещин.

Повреждения обнаруживаются, когда направление магнитного поля перпендикулярно к трещине. Поэтому простые детали намагничивают в одном направлении, а детали сложной формы – в нескольких. Для создания наилучших условий контроля применяют три способа намагничивания: циркуляционное, полюсное и комбинированное.

Циркуляционное (поперечное) намагничивание производят пропусканием тока под напряжением 12 В через контролируемую деталь (рис. 2.11, а) или через проводник, помещенный в отверстие детали. В этом случае хорошо обнаруживаются продольные трещины.

Полюсное (продольное) намагничивание до напряженности 480 А/см осуществляется с помощью электромагнитов или соленоидов (рис. 2.11, б), при этом деталь намагничивается вдоль своего наибольшего размера и на ней обнаруживаются поперечные трещины. С применением полюсного намагничивания невозможно определить трещины, расположенные под углом 65...70° к продольной оси детали.

Величина тока  $I$  (в амперах), пропускаемого через обмотку соленоида при полюсном намагничивании, равна

$$I = \frac{H \sqrt{D_c^2 + l^2}}{1,256\pi}, \quad (2.2)$$

где  $H$  – напряженность магнитного поля, А/м;  $D_c$  – средний диаметр соленоида, м;  $l$  – длина соленоида, см;  $n$  – число витков соленоида.

Комбинированное намагничивание (рис. 2.11, в) осуществляется при одновременном намагничивании детали двумя или несколькими магнитными полями разного направления для обнаружения трещин любого направления.

Для определения повреждений может быть использован как постоянный, так и переменный ток. Постоянный ток применяют только для выявления поверхностных дефектов, магнитное поле, создаваемое им, однородно и проникает достаточно глубоко в деталь. Переменный ток служит для выявления поверхностных повреждений и размагничивания деталей.

Напряженность магнитного поля в приложенном магнитном поле на поверхности детали должна находиться в пределах 1590...3979 А/м, а при использовании остаточной намагниченности – 7958...15 915 А/м.

В приложенном магнитном поле определяют повреждения деталей из магнитомягких материалов (Ст2, Ст3, от стали 10 до стали 40 и др.), а в поле остаточной намагни-

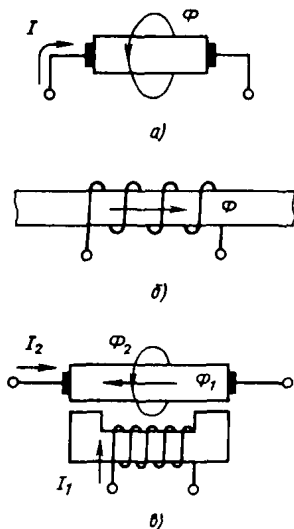


Рис. 2.11. Схемы намагничивания деталей

ченности – детали, изготовленные из магнито жестких материалов (легированных и высокоуглеродистых сталей).

Величина тока  $I$  (в амперах) для проверки в приложенном поле при циркуляционном намагничивании определяется по формуле

$$I = (6 \dots 8) d, \quad (2.3)$$

а в поле остаточной намагниченности – по формуле

$$I = (17 \dots 20) d, \quad (2.4)$$

где  $d$  – диаметр детали, мм.

В ремонтном производстве применяют переносные и передвижные магнитные дефектоскопы ПМД-68, ПМД-70, ПМД-77, ПМД-3М, М-217 и др. Характеристики стационарных магнитопорошковых дефектоскопов приведены в табл. 2.11.

Детали с отношением длины к ширине  $> 5$  размагничивают перемещением их через открытый соленоид. Короткие детали с большим поперечным сечением размагничиваются плохо. Поэтому их предварительно собирают в пакет и располагают вдоль соленоида.

**2.11. Технические характеристики магнитопорошковых дефектоскопов**

Тип	Род тока	Максимальная сила тока, А	Напряженность поля при полюсном намагничивании, А/м	Максимальная длина детали, мм
УМДЭ-10000	Переменный однополупериодный	12 000	24 000	1 600
	Выпрямленный	15 000	24 000	1 600
УМДЭ-2500	Переменный	5 000	20 000	900
МД-10П	Переменный, импульсный	20 000	40 000	2 000
У-604-68	Переменный	10 000	48 000	1 725
МДС-1,5		2 500	8 000	200
МДС-5		7 500	8 000	900

*Магнитографический способ* определения трещин заключается в намагничивании детали при одновременной записи магнитного поля на магнитную ленту, покрывающую деталь, и последующей расшифровке полученной информации.

Для обнаружения повреждений *феррозондовым способом* применяют феррозондовые преобразователи.

Детали из магнито жестких материалов должны быть размагничены. Это размагничивание происходит в переменном магнитном поле с амплитудой, равномерно уменьшающейся от некоторого максимального значения до нуля. Чем больше магнитная проницаемость материала и толщина (стенки) детали, тем меньше должна быть частота размагничивающего переменного магнитного поля.

Степень размагниченности проверяют путем осыпания детали стальными опилками. На поверхностях размагниченных деталей опилки не удерживаются. Для контроля размагниченности применяют феррозондовый полюсоискатель ФП-1 или прибор контроля размагниченности ПКР-1.

*Капиллярный способ* является основным при контроле деталей из цветных материалов, а также дополнительным при магнитопорошковом контроле. Способ обладает высокой чувствительностью, с его помощью можно при выполнении технологических процессов определять шлифовальные и термические трещины, волосовины, поры и др.

Сущность способа заключается в том, что на очищенную поверхность детали с повреждением наносят проникающую жидкость (пенетрант), дают выдержку для проникновения жидкости в полость повреждения, удаляют ее остатки с поверхности детали, высушивают деталь и в заключение вызывают проникающую жидкость на поверхность детали. Чем глубже трещина, тем более широкая полоска жидкости будет на поверхности детали.

Проникновение пенетранта в полость повреждения возможно за счет его низкого поверхностного натяжения и образования мениска на его свободной поверхности.

Извлечение проникающей жидкости из трещины на поверхность детали производят сорбционным или диффузионным способом. В первом случае на поверхность детали наносят сухой порошок силикагеля, каолина, мела и др. (сухой способ) или средство в виде их суспензий в воде или органических растворителях (мокрый способ). Во втором случае наносят покрытие, в которое диффундирует проникающая жидкость из области дефекта. Этот способ более чувствителен, чем сорбционный, его применяют для обнаружения мелких трещин.

Для лучшего выявления полоски проникающей жидкости над трещиной в ее состав вводят цвето- и (или) светоконтрастные вещества. Если в пенетрант вводят красители, видимые при дневным свете, то способ называют капиллярно-цветным, а если в него включают вещества, которые способны флуоресцировать при облучении ультрафиолетовым светом, то способ называют капиллярно-люминесцентным.

*Капиллярно-цветной* способ основан на регистрации цветного контраста выявляющей жидкости (пенетрации) на белом фоне проявителя. В качестве пенетранта служат следующие составы:

- керосин – 800 мл, норил-А – 200 мл, судан красный 5С – 10 г/л;
- спирт – 90 %, эмульгатор ОП-7 – 10 % и родамин С – 30 г/л;
- керосин – 65 %, трансформаторное масло – 30 %, скипидар – 5 % и судан красный 5С – 5 г/л.

*Капиллярно-люминесцентный* способ основан на регистрации свечения флуоресцирующей жидкости, извлеченной из повреждения в ультрафиолетовых лучах. Очищенные детали погружают в ванну с флуоресцирующей жидкостью на 10...15 мин. В качестве такой жидкости применяют составы (% по массе):

- керосин – 50, бензин – 25, трансформаторное масло – 25, краситель-дефектоль зелено-золотистый – 0,25 г/л;
- керосин – 75, бензол – 10, трансформаторное масло – 15, краситель-дефектоль зелено-золотистый – 0,25 г/л и эмульгатор ОП-7 – 2...3 г/л.

Технология определения повреждения капиллярным способом следующая. Очищенные детали погружают в ванну с проявляющей жидкостью. Жидкость можно наносить пульверизатором или мягкой кистью. Затем деталь очищают раствором ТМС и просушивают подогретым сжатым воздухом, что способствует выходу проникающего раствора на поверхность детали и растеканию его по краям трещины. По длине и ширине полоски с контрастным веществом судят о месте расположения и размерах обнаруженной трещины. В конце операции деталь протирают ветошью или промывают струей холодной воды под давлением 0,2 МПа с последующей сушкой.

Люминесцентную проверку проводят с помощью дефектоскопов марок ЛЮМ-1, ЛЮМ-2, ЛДА-3, ЛД-4. Раствор освещают ультрафиолетовыми лучами с помощью ртутно-кварцевых ламп ПРК-2, ПРК-4 или ПРК-7, свет от которых пропускают через специальные светофильтры типов УРС-3, УРС-6 и др. Под действием облучения пенетрант ярко светится желто-зеленым цветом.

Освещенность места контроля лампами накаливания должна быть  $\geq 500$  лк для выявления цвета судана, а ультрафиолетовым излучением длиной волны  $315 \dots 400$  нм  $\geq 50$  лк.

Поверхностные трещины на деталях несложной формы определяют с помощью *ультразвуковых дефектоскопов*, использующих звуковые волны частотой  $0,5 \dots 15$  МГц. Наибольшее применение нашли устройства, работающие по принципу излучения и приема бегущих и стоячих акустических волн (рис. 2.12). В свою очередь, устройства, в которых применяют бегущие волны, делят на три группы: использующие прохождение и отражение волн и импедансные.

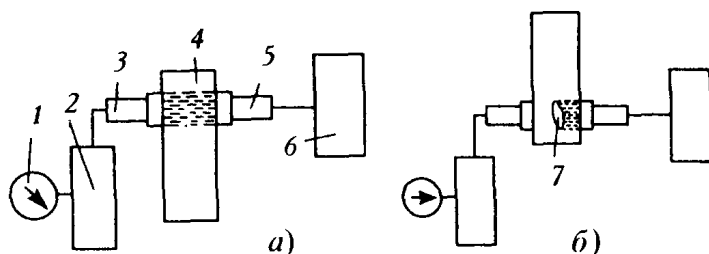
Способы прохождения волн подразделяют на теневой и временной. Теневой способ учитывает уменьшение амплитуды волны, прошедшей повреждение (рис. 2.13). Временной способ основан на запаздывании импульса, вызванного огибанием повреждения волнами.

Способ отражения волн (эхоспособ) состоит в сопоставлении времени перемещения отраженных волн от повреждения и противоположной поверхности изделия (рис. 2.14). Эхоспособ применяется в том случае, когда доступ к поверхности детали возможен с одной стороны.

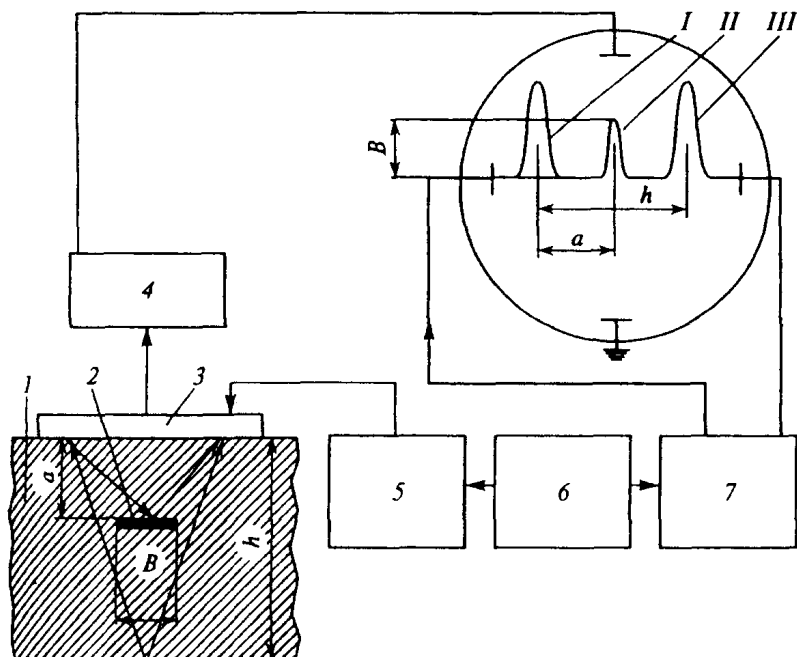


Рис. 2.12. Классификация акустических способов контроля





**Рис. 2.13. Схемы определения повреждений теньвым способом:**  
*а* – заготовка без повреждения; *б* – заготовка с повреждением;  
 1 – индикатор; 2 – усилитель; 3 – пьезоприемник; 4 – заготовка;  
 5 – излучатель; 6 – генератор; 7 – повреждение



**Рис. 2.14. Схемы определения повреждений эхоспособом:**  
 1 – заготовка; 2 – повреждение; 3 – преобразователь; 4 – усилитель; 5 – генератор;  
 6 – синхронизатор; 7 – блок развертки; I, II, III – импульсы соответственно  
 зондирующий, от повреждения и донный; *B* – относительный размер  
 повреждения; *h* – толщина заготовки; *a* – глубина  
 расположения повреждения

Импедансный способ заключается в анализе изменения механического импеданса поврежденного участка поверхности контролируемого объекта, с которым взаимодействует преобразователь. Об изменении импеданса судят по характеристикам колебаний преобразователя: частоте, амплитуде, фазе.

Сравнительный ультразвуковой способ основан на сопоставлении реальной ультразвуковой характеристики изделия с эталонной. В детали с помощью преобразователя возбуждают вибрации в ультразвуковом диапазоне. По мере диссипирования акустической энергии изменяется частота колебаний детали. Полученные приемным преобразователем вибрационные сигналы поступают в прибор и после усиления и фильтрации анализируются блоком обработки. Значения амплитуд и частот сигналов, а также некоторые спектральные характеристики (в первую очередь распределения частот) сравнивают с эталонными, хранящимися в блоке памяти прибора, и на основании этого сравнения делается вывод о годности или негодности детали к восстановлению. Эталонные значения вибрационных сигналов получают с заведомо годной для восстановления детали.

Наличие повреждений или изменение свойств материала при резонансном способе контроля определяют по изменению резонансных частот по сравнению с этими частотами для годной детали.

Согласно способу свободных колебаний в части изделия ударом возбуждают механические колебания и анализируют спектр возбуждаемых частот. В изделиях с трещинами спектр, как правило, смещается в высокочастотную сторону.

Неразрушающий контроль внутренней структуры радиопрозрачных изделий, а также текстуры материалов ведут с помощью радиоинтроскопов, работающих в режиме сканирования. Информация о внутренней структуре материалов содержится в амплитуде, фазе и характере поляризации отраженной или прошедшей волны. Физико-механические свойства материалов (величина зерна, модуль упругости, твердость, текстура и др.) могут определяться акустическими средствами путем измерения скорости распространения и коэффициента затухания упругих волн, характеристического импеданса и др.

Внутренние полости некоторых деталей или сопряжений пар деталей проверяют на *герметичность*. Это свойство определяет способность конструкции или материала препятствовать проникновению жидкости или газа (ГОСТ 24054–80). В качестве пробного вещества применяют воду, керосин или воздух. Количественная характеристика герметичности выражается расходом газа или жидкости, протекающими через течь,

или падением давления в полости за единицу времени. Наибольшее распространение в ремонтном производстве получили газовые манометрические способы. Таким образом контролируют блоки, головки и гильзы цилиндров, впускные трубы и газопроводы, корпуса воздухоочистителей и другие изделия.

Герметичность стенок водяной рубашки головки цилиндров проверяют на стенде КИ-12587. Пробным веществом является сжатый воздух под давлением 0,4 МПа. Предмет ремонта при испытании помещают в воду, нагретую до температуры 85...90 °С. Расположение и размер течи определяют по выходу пузырьков воздуха.

Стенд состоит (рис. 2.15) из: ванны 1, заполненной водой, с кронштейном, на оси которого установлен рычаг 6; плиты 2 для установки головки цилиндров; зубчатого сектора 3, соединенного с рейкой 4, и пневмоцилиндров 5 и 7. Рычаг 6 перемещается от пневмоцилиндра 7. Вращение плиты 2 происходит в результате взаимодействия сектора 3 и рейки 4, которая приводится от пневмоцилиндра 5. Угол поворота сектора 3 ~180°.

Стенд работает следующим образом. Сжатый воздух подают в пневмоцилиндр 7, шток которого вытягивается и поворачивает рычаг 6 по часовой стрелке; плита 2 перемещается в верхнее положение. Проверяемую головку цилиндров устанавливают и закрепляют на плите, при этом

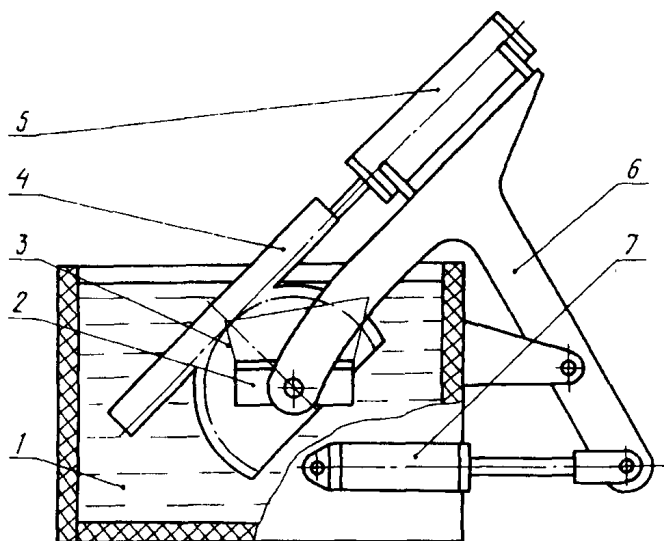


Рис. 2.15. Стенд для контроля герметичности головки цилиндров

между ними помещают резиновую прокладку. В полость водяной рубашки подают сжатый воздух. С помощью пневмоцилиндра 7 рычаг 6 поворачивается против часовой стрелки, отчего головка цилиндров оказывается в воде. Посредством пневмоцилиндра 5 и зубчатой пары рейка – сектор головка цилиндров поворачивается в поле зрения оператора для обнаружения места течи.

Производительную и объективную сортировку винтовых пружин по их жесткости обеспечивает стенд, представленный на рис. 2.16.

Корпус 1 стенда с направляющими элементами и кронштейнами крепят опорной поверхностью на верстаке. Скалки 2 и 5 установлены со скольжением в соосных втулках, причем шток пневмокамеры 7 ввернут в верхнюю скалку 5, ход которой ограничен гайками 6. Пневмокамера установлена и закреплена на кронштейне корпуса. В нижней скалке 2 имеется паз, в который входит одним концом рычаг 3 (соотношение плеч 1:2), напрессованный на ось 4. Рычаг вращается относительно корпуса 1 в игольчатых подшипниках. На другом конце рычага установлена призма 12 с грузом 14. Нижняя часть рычага взаимодействует с упором 13, а верхняя – с регулировочным болтом 9 и конечным выключателем 10 с нормально разомкнутыми контактами (момент его срабатывания регулируют

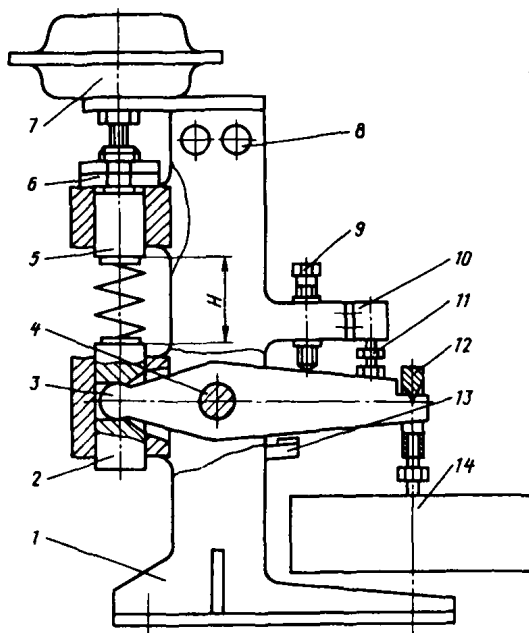


Рис. 2.16. Стенд для контроля жесткости пружин

болтом 11). На корпусе стенда установлен световой индикатор 8 с лампочками зеленого и красного цвета.

При изготовлении стенда добиваются, чтобы массы контролируемой пружины, скалки 2 и левого конца рычага 3, с одной стороны, и правого конца рычага с болтом 11 и призмой 12, с другой стороны, были уравновешены относительно оси вращения рычага.

При наладке стенда, вращая болт 9, устанавливают зазор 0,4...0,5 мм между рычагом 3 и упором 13. При вращении болта и касании рычагом болта 9 контакты конечного выключателя 10 замыкаются (горит зеленая лампочка индикатора 8), а при касании рычагом упора 13 они размыкаются (горит красная лампочка). Болты 9 и 11 фиксируются контргайками. Затем при касании рычагом болта 9 и включенной пневмокамере 7 вращают гайки 6 и устанавливают расстояние  $H$  между опорными поверхностями скалок, равное высоте пружины под нагрузкой. Расстояние  $H$  выбирают с учетом характеристики пружины. И, наконец, к призме 12 привинчивают груз 14, вес которого равен половине необходимого усилия сжатия контролируемой пружины.

Проверяемую пружину устанавливают на опорную поверхность скалки 2 при выключенной пневмокамере 7 и поднятой скалке 5. Включают пневмокамеру. При этом годная пружина передает на рычаг усилие, достаточное для подъема груза 14, с касанием рычагом болта 9 загорается зеленая лампочка, в противном случае рычаг остается неподвижным (горит красная лампочка) и жесткость пружины должна быть восстановлена.

### **2.2.3. Организация работ**

При сортировке деталей по годности назначают сплошной контроль, потому что детали могут иметь критические повреждения.

При ремонте, как правило, принят качественный способ определения повреждений, т.е. устанавливают факт их наличия без определения количественных характеристик. Исключение составляет описание повреждений, способ устранения которых назначается в зависимости от величины повреждений (значений износов, длин трещин, площади пробоин и др.). В первую очередь находят повреждения, при наличии которых деталь выбраковывают.

Повреждение на детали помечают, а в соответствующем поле ведомости ставится знак «+». Отсутствие пометки означает годность элемента детали. При технологической подготовке производства определяют организацию учета деталей и способ пометки поврежденных элементов. Здесь возможны три решения.

1. Поврежденные места помечают краской. Ее наносят непосредственно на место повреждения. Содержание повреждения шифруют цветом краски и характером линий. Типовая технология ГосНИТИ рекомендует сортировать детали на группы и помечать цветом: зеленым – годные детали; желтым – детали, годные только для сопряжения с новыми или восстановленными до номинальных размеров деталями; белым – детали, подлежащие восстановлению на данном предприятии; синим – детали, определенные для восстановления на специализированных предприятиях; красным – утиль.

2. Повреждения записывают на бланках установленной формы, которые приклеивают к деталям. Детали поступают на места их восстановления, где рабочие по записям изучают повреждения и по разработанной технологии устраняют эти повреждения. Контролер на своем посту в конце линии восстановления определяет полноту и качество работ.

3. На деталях выбивают порядковый номер. Повреждения каждой детали шифруют, и сведения о них в виде табл. 2.12 вносят в память ПЭВМ. На каждом рабочем месте имеется монитор. По данным запроса о состоянии детали устраняют повреждения на этом рабочем месте. Контролер по записям знакомится с доремонтным состоянием детали и определяет полноту и качество восстановления. Такая организация перспективна при необезличенном методе ремонта агрегатов с учетом идентификации деталей.

**2.12. Ведомость повреждений детали**

(наименование, номер детали каталожный)					
Номер детали порядковый	Повреждение: номер, наименование, наличие (+)				
	1	2	3	...	n
1					
2					
3					
⋮					
m					

Сортировщик \_\_\_\_\_ (Фамилия, и.о.) «\_\_» \_\_\_\_ 200\_\_ г.  
(подпись)

Последние два метода нанесения пометок относятся к указанию повреждений на крупных деталях. Мелкие детали перемещаются партиями в нумерованном контейнере.

Опыт показывает, что оснащение постов сортировки необходимыми средствами и организация дополнительных слесарных работ по устранению несложных повреждений (забоин, погнутости и др.) приводят к значительному уменьшению затрат на ремонт агрегата. Из деталей ремонтного фонда двигателей, например, в качестве годных можно выбрать: 23 % поршней, 30 % шатунных и 10 % коренных вкладышей, 20 % накладок ведомых дисков сцеплений, 50 % распределительных валов, 40 % толкателей, 15 % поршневых колец и 40 % поршневых пальцев.

#### 2.2.4. Определение остаточного ресурса деталей

Остаточный ресурс деталей прогнозируют с применением способов и средств диагностирования. При этом учитывают значения диагностических параметров, предыдущую наработку и условия работы. В этом случае полагают, что скорость изнашивания или закономерность изменения диагностических параметров остаются постоянными. По причине того что ~85 % деталей машин теряют работоспособность в результате изнашивания, наибольший интерес на практике представляет параметр износа.

Наибольшее распространение при прогнозировании остаточного ресурса деталей получил функционально-статистический способ, который основан на среднестатистических закономерностях изменения диагностируемых параметров во времени.

Среднестатистический остаточный ресурс детали  $T_{ост}$  определяют по формуле

$$T_{ост} = t_n \left( \sqrt[\alpha]{\frac{P_{пр} - P_{нач}}{P_{изм} - P_{нач}}} - 1 \right), \quad (2.5)$$

где  $t_n$  – наработка детали с начала эксплуатации (или после восстановления) до диагностирования;  $\alpha$  – показатель степени (значение приведено в табл. 2.13);  $P_{пр}$  – предельное значение параметра;  $P_{нач}$  – начальное значение параметра;  $P_{изм}$  – значение параметра, измеренное при диагностировании.

Если наработка с начала эксплуатации новой или восстановленной детали неизвестна, то остаточный ресурс ее находят по наработке между

2.13. Значения показателя  $\alpha$  для различных деталей и их элементов

Изнашиваемые детали или их элементы	Значение $\alpha$
Гладкие шейки валов и осей	1,4
Шлицевые шейки валов	1,1
Кулачки распределительных валов	1,1
Фрикционные накладки	1,0
Отверстия под подшипники	1,0
Детали плунжерных пар	1,1
Зубья шестерен	1,5

двумя диагностированиями по формуле

$$T_{\text{ост}} = R t_{\text{ост}}, \quad (2.6)$$

где  $R$  – коэффициент пропорциональности;  $t_{\text{ост}}$  – условный остаточный ресурс.

Значения  $R$  и  $t_{\text{ост}}$  определяются по формулам

$$R = \frac{1}{\sqrt{\frac{P_{\text{изм}}^* - P_{\text{нач}}}{P_{\text{изм}}^{**} - P_{\text{нач}}}}} + 1; \quad (2.7)$$

$$t_{\text{ост}} = t_0 \left( \alpha \sqrt{\frac{P_{\text{пр}} - P_{\text{нач}}}{P_{\text{изм}} - P_{\text{нач}}}} - 1 \right), \quad (2.8)$$

где  $P_{\text{изм}}^*$ ,  $P_{\text{изм}}^{**}$  – измеренные значения параметров при предыдущем и последующем диагностированиях соответственно;  $t_0$  – наработка между двумя диагностированиями.

Если положить, что величина износа носит линейный характер в зависимости от наработки детали, то остаточный ресурс детали равен

$$T_{\text{ост}} = t_n \left( \frac{P_{\text{пр}} - P_{\text{нач}}}{P_{\text{изм}} - P_{\text{нач}}} - 1 \right). \quad (2.9)$$

Предельное значение рассматриваемого параметра выбирают из руководства по капитальному ремонту соответствующего агрегата, а на-



чальные размеры детали – из ее рабочего чертежа. При этом учитывают, что приработочный износ детали не превышает допуск на ее изготовление. Поэтому за начальный размер принимают для шейки вала наименьший предельный размер, а для отверстия – наибольший предельный размер.

Значение остаточного ресурса детали как вероятностной величины заключено в числовом интервале. Чем шире этот интервал, тем с большей вероятностью находится в нем значение оцениваемого параметра. Рассеяние остаточного ресурса деталей подчиняется закону распределения Вейбулла с коэффициентом вариации  $V = 0,33...0,40$ . Величина смещения начала рассеяния равна 0,3. Доверительную вероятность принимают равной 0,8...0,9.

### **2.2.5. Обеспечение сохранности деталей при разборке агрегатов**

Детали, поступающие на сборку, имеют различную стоимость. Годные детали без восстановления обходятся производству в 5...10 % от цены новых деталей, а восстановленные – в 30...40 % от нее. Замена выбракованных деталей на новые обходится в 110...150 % их отпускной цены за счет больших накладных и транспортных расходов.

Сохранность деталей при разборке обеспечивается применением специализированных стендов, учетом деталей и внедрением системы оплаты труда разборщикам за сданные на посты сортировки неповрежденные рабочим детали.

Технологические мероприятия, обеспечивающие сохранность деталей, сводятся к исключению ручной или ударной разборки. Повреждения деталей при такой разборке агрегатов проявляются в виде обломов фланцев, трещин в корпусных деталях, погнутости и вмятин в деталях из листового проката, забоин на точных поверхностях, изогнутости осей деталей – тел вращения (валов, клапанов), разрушения резьбы, деформации стыковых плоскостей и др. Такие повреждения увеличивают расход запасных частей до 15 % и объем восстановительных работ до 20 %.

### **2.2.6. Формирование маршрутов восстановления и партий деталей**

Возможны две организационные формы восстановления деталей: подефектная и маршрутная. *Подефектную* технологию разрабатывают для устранения отдельных повреждений, *маршрутную* – для устранения

реально существующих сочетаний повреждений по установленным маршрутам.

Подефектная технология для ремонтных предприятий с большими объемами выпуска экономически неоправдана. При этом партии восстанавливаемых деталей комплектуют только по наименованиям без учета однотипности имеющихся сочетаний повреждений. Организация работ не позволяет восстановить эти детали по единому технологическому процессу. В результате партия деталей распадается при восстановлении, а учет деталей, трудовых и материальных затрат затрудняется. При этих условиях невозможен запуск в производство больших партий деталей и нецелесообразно применение специализированного оборудования и оснастки.

Проф. К.Т. Кошкин впервые предложил и на 5-м авторемонтном заводе Москвы внедрил маршрутную технологию восстановления деталей. Основой для этого послужил опыт капитального ремонта машин промышленными методами.

Детали, требующие восстановления, имеют, как правило, устойчивые сочетания повреждений. Множества повреждений в каждом сочетании определяются условиями эксплуатации, а выбор технологического процесса восстановления детали диктуется комплексом сочетаний повреждений, выявленных в результате исследования ремонтного фонда машин. Такое восстановление обеспечивает необходимое качество и экономическую эффективность.

При разработке маршрутов восстановления деталей учитывают следующие основные принципы.

1. Сочетание повреждений в каждом маршруте должно быть объективно существующим. Сочетания повреждений устанавливают исследованием большого количества деталей.

2. Число маршрутов восстановления деталей должно быть минимальным. Большое количество маршрутов затрудняет организацию, требует большой площади складов. Число маршрутов может быть уменьшено путем объединения подобных сочетаний повреждений, отличающихся друг от друга незначительными по трудоемкости повреждениями, а также исключением маршрутов с редко встречающимися сочетаниями повреждений. Сокращать количество маршрутов можно объединением операций по устранению взаимосвязанных повреждений (восстановление соосных отверстий, ориентированных относительно друг друга плоскостей и др.).

3. Содержание маршрута учитывает требования к точности взаимного расположения поверхностей детали. Так, если аварийно изношена одна шейка коленчатого вала и принят способ восстановления ее наплавкой, механической и термической обработкой, то в маршрут восстановления включают все шейки независимо от того, что остальные шейки не повреждены.

4. Восстановление детали по каждому отдельному маршруту должно быть экономически целесообразным. В качестве критерия эффективности выступают затраты на восстановление, а сравнительной базой является цена новой детали. Затраты на восстановление детали включают затраты прошлого (овеществленного) и живого труда.

В МАДИ разработана методика формирования маршрутов восстановления деталей и оптимизации их количества путем последовательного перебора и объединения сочетаний повреждений.

По мере образования необходимого количества деталей формируются их партии, которые направляются на рабочие места нанесения покрытий, установки и закрепления дополнительных ремонтных деталей, пластического деформирования и обработки.

Учет отдельных крупных деталей и партий мелких деталей с их повреждениями служит основой прогноза трудоемкости и продолжительности восстановления этих деталей.

## Глава 3

### РЕМОНТНЫЕ ЗАГОТОВКИ

Доля трудоемкости, связанной с превращением исходных заготовок в ремонтные, составляет 22...27 % от общей трудоемкости ремонта машин. В свою очередь, 80...85 % этой доли трудоемкости приходится на базовые и основные детали агрегатов (корпусные детали, валы, гильзы цилиндров, шатуны и др.).

Цель настоящей главы заключается в обосновании области применения способов создания ремонтных заготовок различных деталей в зависимости от технического уровня (технических возможностей) ремонтного производства и его объемов. Ремонтную заготовку можно получить различными способами, однако некоторое множество этих способов представляет рациональную область технических решений, а самое лучшее из них – оптимальное решение.

Процесс превращения исходных заготовок в ремонтные путем создания припусков на изношенных поверхностях необходим для придания предписанных значений физико-механических свойств поверхностям и объемам восстанавливаемых элементов и для ведения последующей механической обработки. Этот процесс характерен только для ремонтного производства, реализация его представляет одну из важнейших проблем этого производства.

#### 3.1. Виды и применение способов создания ремонтных заготовок

##### 3.1.1. *Определение и назначение ремонтных заготовок*

**Ремонтная заготовка** – это состояние восстанавливаемой детали после создания припусков на ее поверхностях для последующей механической обработки.

Припуск на последующую механическую обработку заготовки получают одним из трех способов. Первый из них предполагает выделение припуска из оставшегося материала на поверхности восстанавливаемого

элемента самой детали для его обработки под один из ремонтных размеров. Во втором случае материал детали перемещают путем его пластического деформирования из неизнашиваемого объема в зону будущей обработки. В третьем случае на поверхность восстанавливаемого элемента наносят покрытия. Способы создания ремонтных заготовок путем нанесения покрытий получили наибольшее распространение.

**Покрытие** – это слой материала, нанесенный на восстанавливаемую поверхность детали и прочно соединенный с этой поверхностью.

**Поверхностный слой** заготовки (детали) включает покрытие и зону термического влияния. Химический, структурный и фазовый составы поверхностного слоя отличаются от соответствующих показателей основного материала.

На операциях создания ремонтной заготовки в основном формируют состав материала рабочих поверхностей детали путем выбора материала покрытия и условий его нанесения, что в значительной мере определяет послеремонтную надежность детали. В дальнейшем необходимая совокупность структуры и свойств восстановленных поверхностей будет обеспечена термической, химико-термической и механической обработкой. Вид и свойства восстановительного покрытия, с одной стороны, и способ его обработки, с другой, должны быть совместимы между собой.

Численные значения свойств по толщине восстановительного покрытия и материала детали должны изменяться не скачкообразно, а плавно по установленному закону. Слой покрытия ближе к основе обеспечивает прочное соединение покрытия с материалом детали, следующий слой повышает механическую прочность детали, в том числе усталостную, а наружный слой, участвующий в трении, обеспечивает необходимую износостойкость восстановленного элемента.

Необходимый градиент значений свойств покрытия по его толщине обеспечивает послойный его синтез за счет поочередного нанесения различных материалов, или изменения режимов нанесения одного материала, или обработки поверхностного слоя.

**Примеры.** 1. Предложена новая композиция материалов: металл – оксид – карбид. В этой композиции металл воспринимает основную нагрузку на деталь, оксидный подслоя толщиной до 300 мкм – удельные контактные нагрузки, а поверхностный карбидный слой участвует в трении, снижая коэффициент трения и износ контртела. Толщина карбида составляет 5...15 мкм.

2. В Институте надежности машин НАН Беларуси создан способ формирования многослойных покрытий на основе газопламенного напы-

ления проволочных материалов и последующей микроплазменной обработки этих покрытий. По рекомендациям швейцарской фирмы «Metko» пористые газотермические покрытия пропитывают органическими смолами. Белорусский государственный университет транспорта (г. Гомель) рекомендует более эффективный способ плазменного осаждения химически стойких полимеров на неорганический подслои. Покрытия полифункционального назначения при этом получают практически без пор (антикоррозионные, антифрикционные, антиадгезионные, электроизоляционные и др.). В качестве неорганических подслоев применяют износостойкие сплавы ПГ-СР, Ni-Al, коррозионно-стойкий ПР-Х18Н9Т, жаростойкие оксиды алюминия, циркония, карбиды, бориды и др. В качестве полимерных соединений используют термопластичный полиуретан, политетрафторэтилен и его модификации Ф-4Д, Ф-4М, Ф-40 и др.

Нанесение покрытий позволяет исключить применение дорогостоящих и дефицитных материалов (стали ШХ15, 38ХС, 38ХГН и др.) в качестве основы детали, а применять для этих целей конструкционные стали (сталь 40 и др.). В условиях абразивного изнашивания срок эксплуатации деталей с покрытиями повышается в 2...2,5 раза по сравнению с термообработанными поверхностями деталей из конструкционных сталей.

Виды ремонтных заготовок определяются способом создания припуска для последующей механической обработки.

### **3.1.2. Классификация и общая характеристика способов создания ремонтных заготовок**

В основу *классификации* способов создания припусков на восстанавливаемых поверхностях положены признаки превращения основного материала в покрытие, а также виды потребляемой энергии. Процесс создания ремонтных заготовок будет определен, если указаны:

- время дробления исходного материала в процессе нанесения покрытия (перед нанесением, в процессе нанесения);
- вид и дисперсность материала наносимого покрытия (ионы, молекулы, макрочастицы, капли, вся масса покрытия);
- среда переноса материала (жидкий раствор, сжатый воздух, продукты горения газов, плазма, вакуум);
- состояние наносимого материала (твердое, жидкое, парообразное);
- состояние материала поверхности детали (твердое, жидкое);
- способ закрепления материала покрытия на восстанавливаемой поверхности (химический, механический, диффузионный и др.);

- способ защиты зоны нанесения покрытия от вредного влияния окружающей среды (без защиты, с местной защитой, в герметичной камере);
- виды энергии соответственно на диспергирование, активацию, перенос и закрепление материала (механическая, химическая, тепловая, электрическая, магнитная и др.).

Описание множества сочетаний видов признаков без пропусков и повторений включает в себя прогрессивные и новые способы создания ремонтных заготовок.

Ремонтные заготовки получают без вложения или с вложением материалов в исходные заготовки (рис. 3.1). В первом случае элементы детали обрабатывают под ремонтные размеры и в качестве припусков используют изношенные поверхностные слои материала или материал детали перемещают внутри ее объема. Во втором случае на восстанавливаемые элементы наносят покрытия и деталь в процессе восстановления приобретает номинальные размеры. Технические патентоохранные решения на эти темы включены в МПК В23 Р6/00.

Способ получения сопряжения деталей с ремонтными размерами бывает основным при освоении ремонта изделий, когда ограничены или отсутствуют мощности по нанесению восстановительных покрытий. Восстанавливаемый элемент более дорогой и трудоемкой детали сопряжения обрабатывают под ремонтный размер. Другую сопрягаемую деталь изготавливают или приобретают. Способ обеспечивает наименьшую трудоемкость восстановления, правильную геометрическую форму восстанавливаемых элементов и возвращает сопряжению деталей первоначальный износ. Однако реализация способа требует больших затрат на приобретение заменяемой детали, а в эксплуатации возможен повышенный износ подвижного сопряжения из-за снятия наружного более износостойкого слоя материала, а также снижение усталостной прочности шеек валов.

**Примеры.** У коленчатых валов износ коренных шеек увеличивается на 15...20 %, начиная с третьего ремонтного размера, а усталостная прочность снижается до 25 % при достижении последнего ремонтного размера. Распределительные валы с кулачками, у которых шлифованием снят слой толщиной 2 мм, снижают мощность двигателя на 20 %, на столько же увеличивается удельный расход топлива. Результат объясняется ухудшением наполнения цилиндров за счет уменьшения «временн-сечения» открытия клапанов.

Приведенные примеры подчеркивают важность восстановления номинальных размеров деталей.

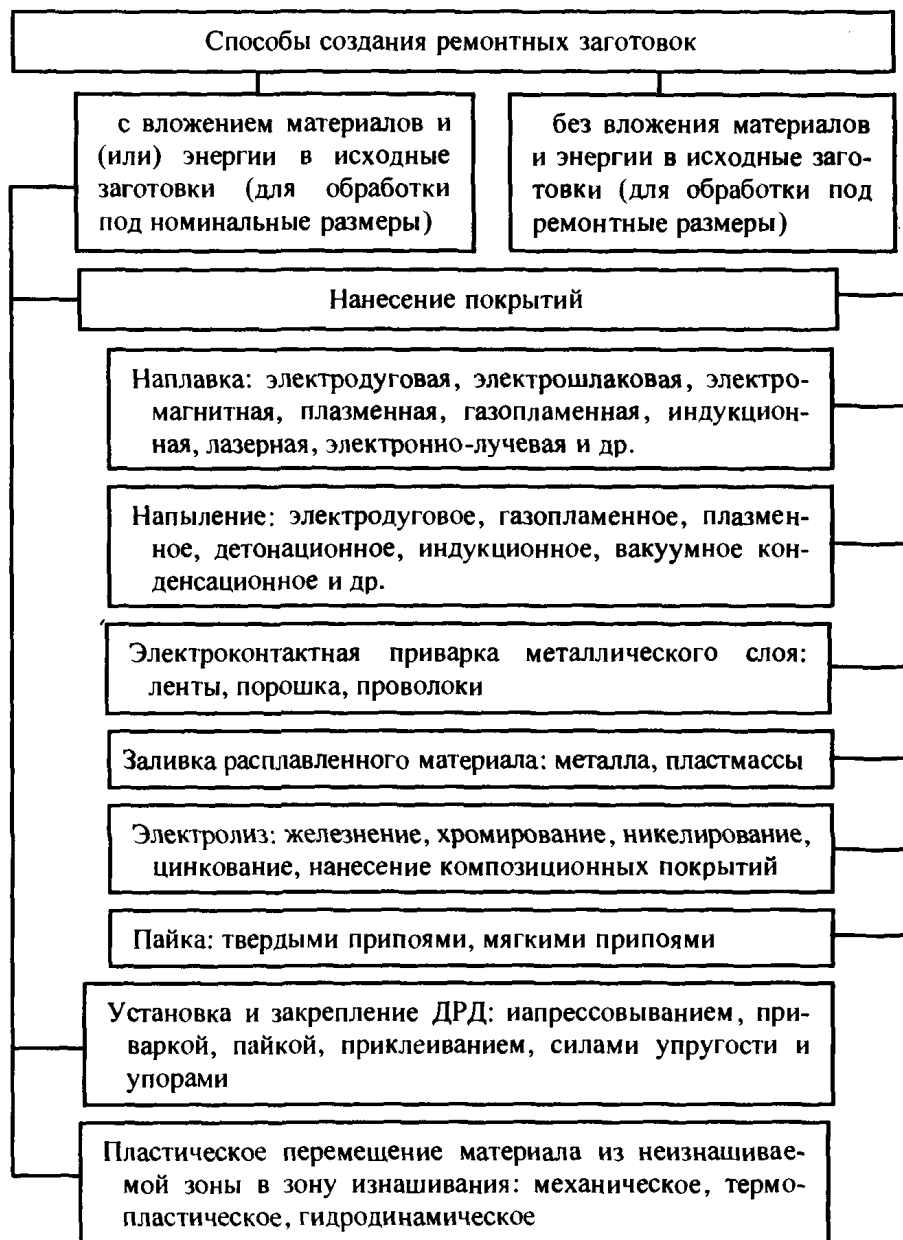


Рис. 3.1. Классификация способов создания ремонтных заготовок



Восстановительные покрытия наносят: наплавкой, приваркой, напылением, плакированием, химическим осаждением из растворов, электролизом, осаждением из газовой или парогазовой фазы и др. В ремонтном производстве нашли наибольшее применение: электродуговая наплавка, газотермическое напыление, нанесение гальванических покрытий, электроконтактная приварка металлического слоя, пластическое деформирование материала, нанесение полимерных покрытий, закрепление дополнительных ремонтных деталей – ДРД (табл. 3.1).

Для получения ремонтных заготовок ограниченно применяют пайку, заливку металлов и пластмасс.

Электронно-лучевая и лазерная обработка, электроискровое наращивание, детонационное напыление обеспечивают высокое качество покрытий. В настоящее время наибольшее развитие получают прогрессивные способы создания ремонтных заготовок: пластическое деформирование материала, электроэрозионная, электронно-лучевая и лазерная обработка, ионно-плазменное напыление и др.

Материал восстанавливаемого элемента детали совпадает с материалом основы в случае принудительного перемещения материала в зону износа или при обработке под ремонтные размеры (без нанесения покрытия). В других случаях материал восстанавливаемой поверхности, как правило, не совпадает с материалом основы.

Ведущее место в процессах создания ремонтных заготовок занимает наплавка, в свою очередь, до 80 % ее объема приходится на механизированную наплавку. При наплавке применяют различные источники тепла для нагрева наносимых материалов и детали. По значению удельной мощности вложенного тепла в единицу восстанавливаемой поверхности ( $10^2 \dots 10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup>) источники тепла располагаются в такой последова-

### 3.1. Частота применения способов создания ремонтных заготовок от общего объема работ

Способ создания ремонтных заготовок	Частота, %
Наплавка (электродуговая, газопламенная, плазменная)	60...80
Напыление	6...12
Нанесение гальванических покрытий	4...7
Электроконтактная приварка металлического слоя	3...7
Нанесение полимерных покрытий	2...6
Пластическое деформирование	1...2

тельности: разовое пламя – электрическая дуга – ТВЧ – плазма – электронный луч – лазер.

Наплавка применяется для нанесения восстановительно-упрочняющего покрытия путем расплавления (теплом пламени, дуги, тока, излучения и др.) присадочного металла, переноса его на оплавленную восстанавливаемую поверхность и кристаллизации слоя.

В зависимости от способа нагрева наносимого материала существуют основные виды наплавки: электродуговая (электрической свободной дугой), плазменная (электрической сжатой дугой), электрошлаковая (теплом шлака за счет прохождения электрического тока), электромагнитная (теплом электрического тока, проходящего через соприкасающиеся металлические частицы, удерживаемые над восстанавливаемой поверхностью силами магнитного поля), индукционная (теплом вихревых токов в материале детали), намораживанием (теплом расплава), электронно-лучевая (энергией ускоренных электронов), лазерная (энергией видимого излучения), ионно-плазменная (энергией движущихся ионов), газовая (теплом сгораемой смеси газов).

Дуговую наплавку по расположению сварочного шва относительно оси детали подразделяют на винтовую и широкослойную. В зависимости от вида присадочного материала различают наплавку: компактной проволокой, порошковой проволокой, лентой, по оболочке, электромагнитной шихтой и проволокой, порошками. По виду защиты сварочной ванны от влияния атмосферного воздуха наплавка бывает: без защиты, под слоем флюса, в среде защитных газов, самозащитной проволокой. По степени автоматизации наплавку делят на ручную, полуавтоматическую и автоматическую.

В зависимости от вида источника диспергирования частиц напыляемого материала и источника тепловой энергии различают основные способы газопламенного напыления (ГОСТ 28076–89): электродуговое, газопламенное, детонационное и плазменное. Плазменное напыление, в свою очередь, подразделяется на индукционное и плазменно-дуговое. По виду защиты рабочей зоны напыления различают его виды: без защиты, с местной защитой и в герметичной камере.

Процессы создания припусков с применением ДРД классифицируют по способам закрепления ДРД и используемой при этом энергии.

Процессы перераспределения материала детали пластическим деформированием подразделяются в зависимости от вида источника применяемой энергии и соотношения направлений сил и деформаций.

Наименее изучены комбинированные способы создания припусков на ремонтных заготовках.

Работоспособность покрытий оценивается такими основными критериями: прочностью соединения их с основой, сохранением или повышением усталостной прочности элементов детали и износостойкостью поверхностей.

Выбор способа создания ремонтной заготовки определяет как трудоемкость процесса восстановления детали, расход материалов и энергии, так и последующую надежность восстановленной детали.

### 3.2. Материалы

#### 3.2.1. Общая характеристика материалов

**Материал** (ГОСТ 3.1109–82) – это исходный предмет труда, потребляемый для изготовления изделия. Материал делят на основной и вспомогательный.

**Основной материал** – это материал исходной заготовки. К основному материалу относят также материал, масса которого входит в массу изделия при выполнении технологического процесса (например, материал наплавочного электрода, припоя). **Вспомогательный материал** расходуется дополнительно к основному материалу при выполнении технологического процесса. Вспомогательными считаются материалы, расходуемые при нанесении покрытий, пропитке, сварке (например, аргон), пайке (например, канифоль), закалке и т.д. Составы вспомогательных материалов, применяемых в различных процессах нанесения покрытий, будут приведены в соответствующих разделах.

Основной материал, применяемый при восстановлении деталей, претерпевает существенные изменения. В результате технологических воздействий при формировании покрытия изменяются свойства, а в ряде случаев и химический состав материала. Поэтому различают материалы, применяемые для восстановления деталей, и полученные покрытия на этих деталях. Материалы для восстановления деталей обладают двумя группами свойств: технологическими и эксплуатационными. **Технологические свойства** материала включают свойства, обеспечивающие высококачественное нанесение покрытия по принятой технологии. Особенности способа нанесения покрытия определяют требования к технологическим свойствам материалов (табл. 3.2). Например, при электродуговой наплавке важными являются сварочно-технологические свойства наплавочных электродов: свариваемость, устойчивость горения дуги, разрывная длина и др. Для процессов газопорошковой наплавки и напыления большое значение имеет текучесть исходного порошка. В случае

## 3.2. Технологические свойства сплавов для восстановления деталей машин

Технологические свойства	Способ нанесения защитного покрытия					Электро- контакт- ная при- варка	Газотер- мическое напыление
	Наплавка						
	газопро- рошковая	индукци- онная	электроду- говая	плазменная	лазерная		
Низкая температура плавления, °С	5	5	3	3	3	4	4
Самофлюсуемость (флюсуемость)	5	5	4	3	3	4	3
Жидкотекучесть, смачиваемость, расправом подложки	5	4	4	4	4	2	2
Близость коэффициентов термического расширения подложки и покрытия	4	4	5	5	5	4	3
Трещиностойкость	4	4	5	5	5	5	4
Устойчивость горения электрической дуги	2	2	5	2	2	2	2
Магнитные характеристики сплава	2	5	3	2	2	3	2
Теплоемкость сплава	3	3	3	3	3	2	5
Теплопроводность сплава	3	4	3	3	4	3	5

Условные обозначения: 5 – чрезвычайно важно; 4 – очень важно; 3 – важно; 2 – несущественно.

Условные обозначения: 5 – чрезвычайно важно; 4 – очень важно; 3 – важно; 2 – несущественно.

газотермического напыления покрытий существенны теплопроводность, теплоемкость, а также температура плавления материала.

Под *эксплуатационными свойствами* материала понимают свойства нанесенного и обработанного на детали покрытия, обеспечивающие требуемый срок эксплуатации детали в заданных условиях.

Классификация материалов состоит в разделении их множества на непересекающиеся подмножества по их сходству в соответствии с принятыми методами. Традиционно материалы для восстановления классифицируют по следующим основным признакам: виду материала, химическому составу, назначению, методам получения покрытий. Существенным признаком классификации является структура покрытия, так как она определяет эксплуатационные свойства покрытия, а следовательно, работоспособность и долговечность восстановленной детали.

В общем случае структура восстановленного слоя может быть *гомогенной* и *композиционной*. *Гомогенные покрытия* представляют собой однофазную систему. Это могут быть боридные фазы, полученные в результате химико-термической обработки, слои твердого раствора хрома, гальванически осажденного на восстанавливаемую поверхность, однородное керамическое или полимерное покрытие и т.д. Гомогенные покрытия находят широкое применение в ремонтном производстве. Их высокая однородность обуславливает высокую химическую стойкость. Ряд гомогенных покрытий, например напыленные керамические покрытия и диффузионные слои, обладают высокой твердостью и обеспечивают высокую износостойкость.

Широкое распространение в практике восстановления деталей получили материалы, обеспечивающие формирование композиционных покрытий. *Композиционные покрытия* представляют собой гетерофазные системы, состоящие из двух или более фаз, разделенных границей раздела и отличающихся по химическому составу и свойствам.

В большинстве случаев фазы композиции различны по геометрическому признаку. Одна из фаз, обладающая непрерывностью по всему объему слоя, является матрицей (матричной фазой). Фаза, разделенная на отдельные фрагменты в объеме композиции, является армирующей, или упрочняющей. Наиболее часто роль матричной фазы выполняют твердые растворы металлов, а упрочняющими фазами являются высокотвердые химические металлоподобные соединения – карбиды, бориды, нитриды, интерметаллиды, оксиды. Композиционные слои и покрытия, как правило, обладают более высоким комплексом эксплуатационных, особенно триботехнических свойств, чем гомогенные слои. В настоящее время гетерогенизация является доминирующим направлением в разработке износостойких и антифрикционных покрытий.

Существуют два основных пути получения композиционной структуры покрытий: кристаллизация из легированного многокомпонентного расплава и спекание компонентов без их полного расплавления и гомогенизации расплава (рис. 3.2). При кристаллизации из расплава формируется близкая к равновесной гетерогенная структура. Наибольшее распространение получили гетерогенные эвтектические наплавленные слои, содержащие эвтектику и избыточные фазы (рис. 3.3). Эффективным приемом получения гетерогенной структуры является термическая обработка наплавки. Происходящее при этом дисперсионное твердение (выделение вторичных высокотвердых фаз) дополнительно упрочняет наплавленный слой.

В случае спекания порошковых смесей или композиционных порошков гетерогенная структура покрытия формируется вследствие полного или частичного сохранения исходной структуры порошковых частиц. Такие покрытия получают газотермическим напылением, электроконтактной приваркой, а также гальваническим осаждением материалов. Возможности конструирования этих покрытий с различным сочетанием упрочняющих и матричных фаз значительно шире, чем у слоев, получаемых кристаллизацией из расплава. Создание композиционного покрытия базируется на основе сочетания в объеме покрытия материалов различных классов, обладающих различными исходными свойствами (металл, керамика, полимер). Природа исходных компонентов, их фазовое состояние и соотношение, состояние границы раздела фаз и создание заданной микро- и макроструктуры определяют свойства композиционного покрытия.

Матрица материала композиционного покрытия может быть металлической, полимерной или керамической. Матрица придает покрытию монолитность, связывает его с основой детали, обеспечивает передачу и перераспределение нагрузки по объему покрытия, защищает армирующие элементы от внешних воздействий. Тип матрицы непосредственно определяет технологию получения композиционного покрытия, его термическую и коррозионную стойкость, электрические и теплозащитные свойства, старение и другие важнейшие характеристики покрытия в целом.

Большой интерес представляют материалы и покрытия системы металл – полимер, обладающие комплексом свойств, присущих как металлам, так и полимерам. Известно, что металлическим материалам свойственны большая теплопроводность и высокая прочность, но они уступают по антифрикционным свойствам, коррозионной стойкости, упругости многим полимерным материалам. В свою очередь, полимеры обладают

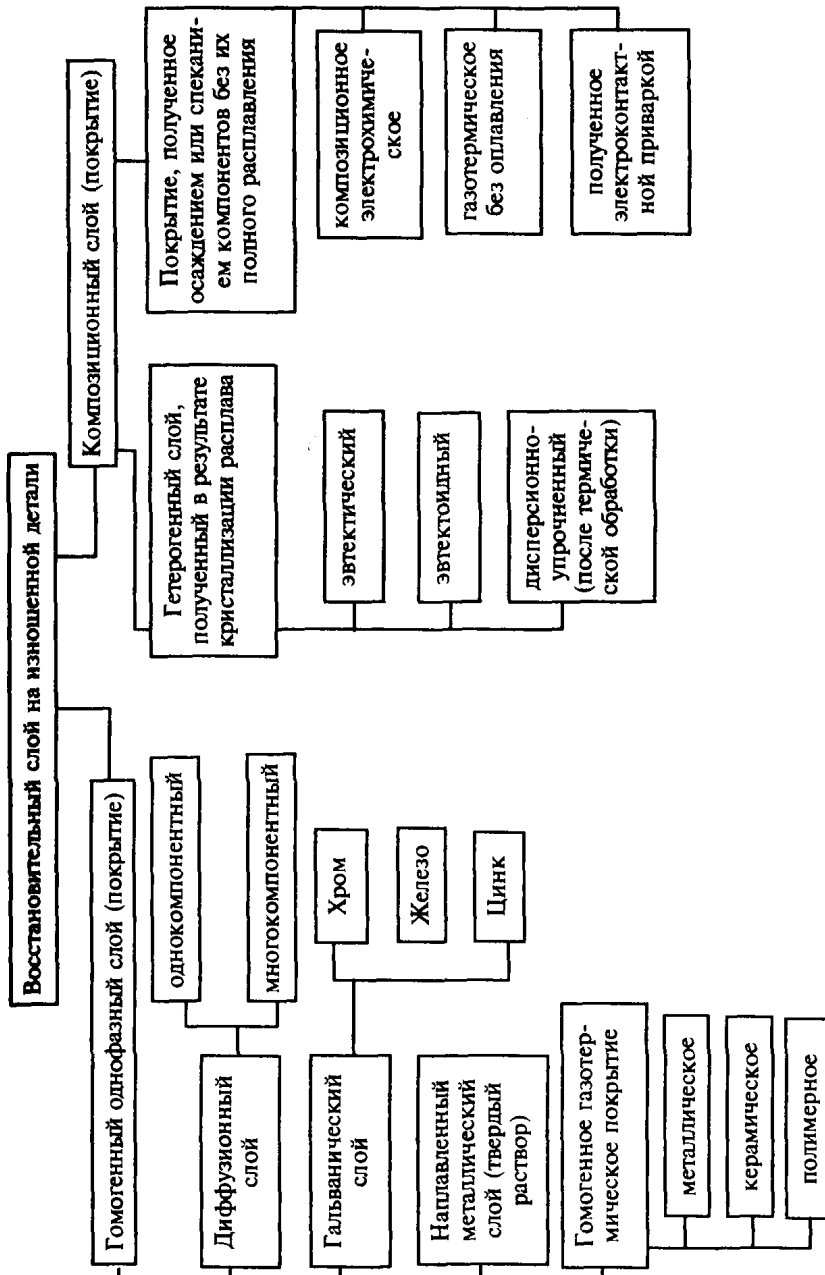
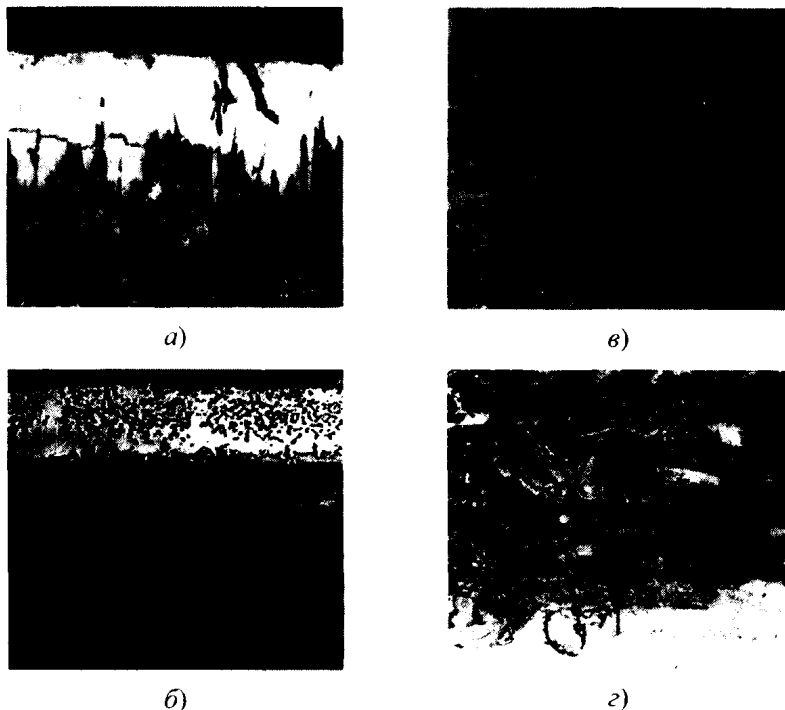


Рис. 3.2. Классификация восстановительных слоев и покрытий на деталях машин



**Рис. 3.3. Микроструктуры износостойких слоев и покрытий:**  
*а* – диффузионный боридный слой на углеродистой стали. Гомогенная однофазная структура из боридов  $\text{Fe}_2\text{B}$ ; *б* – карбидный слой на углеродистой стали, полученный диффузионным хромированием с предварительным цинкованием. Гетерогенная структура, состоящая из карбидов  $(\text{Cr}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$ ,  $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$  и  $\alpha$ -твердого раствора, легированного хромом и цинком; *в* – наплавленный слой из самофлюсующегося композиционного порошка ПР-X18Н9Р4. Гетерогенная заэвтектическая структура, состоящая из эвтектики  $[\text{Fe}_7(\text{Cr}, \text{Ni}) + (\text{Fe}, \text{Cr})\text{B}_2]$  и избыточных призматических боридов  $(\text{Fe}, \text{Cr})\text{B}_2$ ; *г* – газотермическое антифрикционное покрытие, полученное плазменным напылением композиционного порошка системы  $\text{Fe}-\text{C}-\text{B}-\text{Cu}$ . Гетерогенная структура, состоящая из  $\alpha$ -твердого раствора, боридов  $\text{Fe}_2\text{B}$  и медистой фазы

небольшой плотностью и значительной эластичностью, лучшими антифрикционными свойствами, легко обрабатываются, но имеют очень низкие электро- и теплопроводность, невысокую контактную прочность, малое сопротивление срезу, склонность к ползучести и др.



### 3.2.2. Выбор материалов для восстановления деталей

Восстановление изношенной поверхности детали предполагает нанесение покрытия, основные эксплуатационные свойства которого близки к свойствам изношенного слоя. Формирование на изношенной поверхности покрытия, полностью идентичного по химическому составу, структуре и свойствам изношенному слою, является, как правило, технически сложной и экономически нецелесообразной задачей. Поэтому нанесенные покрытия значительно отличаются от металла изношенного слоя.

При выборе материала для защитного покрытия руководствуются следующей исходной информацией:

- воздействию каких видов изнашивания подвержена деталь;
- из какого материала изготовлена деталь;
- какой технологический процесс предпочтителен;
- каковы свойства восстановленной поверхности;
- какова допустимая стоимость восстановления.

Определяющими являются эксплуатационные свойства поверхностного слоя детали, которые, в свою очередь, зависят от условий эксплуатации и характера разрушения. *Условия работы* восстанавливаемых и упрочняемых деталей разнообразны (табл. 3.3).



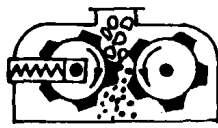
Для обеспечения высокой стойкости против разрушения при различных видах изнашивания наплавленный металл по структуре и свойствам должен отвечать требуемым свойствам. Свойства материала определяются химическим составом и структурой. Ниже приведена краткая характеристика основных *легирующих элементов*, применяемых в сплавах для восстановления и упрочнения деталей.

**Бор.** Имея малый атомный радиус (0,09 нм), бор, однако, малорастворим в большинстве металлов, применяемых для восстановления деталей (хром, железо, кобальт, никель, медь, вольфрам). При легировании бором этих металлов образуются высокотвердые бориды  $Me_xB_y$ , которые способствуют резкому повышению твердости сплава. Высокая микротвердость боридов (12 000...37 000 МПа) и малая растворимость бора в металлах обеспечивают значительное повышение твердости сплава. Борсодержащие покрытия имеют высокую износостойкость. Характерной их особенностью является образование в условиях трения скольжения с большими удельными нагрузками вторичных борсодержащих структур оксидного типа, выполняющих роль смазки и снижающих силы трения и интенсивность изнашивания деталей пары трения. Наряду с повышением

### 3.3. Характерные условия работы восстанавливаемых и упрочняемых деталей

Схема	Индекс	Контртело	Вид изнашивания. Условия эксплуатации	Упрочняемые и восстанавливаемые детали
1	2	3	4	5
	1	Кварцевый песок, дробленая порода	Абразивное. Низкое давление	Детали облицовки бункеров, пресс-формы для кирпича
	2	Гранулированный шлак, стальная дробь	Газоабразивное	Трубопроводы дробеструйных и пескоструйных устройств
	3	Формочная земля, песок		Пескометы, детали формочных машин, лопадки дробеметов
	4	Кварцевый песок, дробленая сухая порода		Клыки роторного экскаватора, режущие зубья, рабочие детали брикетных прессов
	5	Сталь. При открывании затвора – агломерат, шихта, колошниковая пыль	Газоабразивное. Температура газа до 800 °С	Большой конус и чаша засыпного аппарата доменной печи

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5
	6	Пластмасы с наполнителями, сырой синтетический каучук	Абразивное и коррозионно-механическое. Температура до 400 °С, агрессивные растворы	Шнеки и гильзы экструдеров и отжимных машин
	7	Почва различных типов (чернозем, суглинок и др.)	Абразивное	Лемеха плугов, лапы культиваторов, диски борон
	8	Каменистая почва		
	9	Песок, замерзший грунт, валуны, скальные породы	Абразивное. Давление до 50 МПа	Зубья и ковши экскаваторов, детали дробилок
	10	Стальная дробь, электрокорунд	Абразивное с ударами	Лопатки дробебетонщиков, отбойные листы, лопатки дымососов и эксгаустеров
	11	Уголь, известняк и другие породы		Била молотковых дробилок и мельниц для размола угля
	12	Известняк, каолин и другие породы	Абразивное	Валки дробилок с шипами



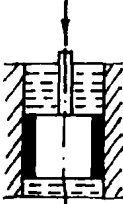
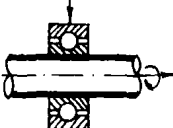
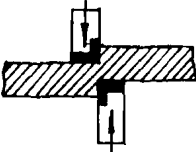
Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5
	13	Уголь, известняк и другие породы	Абразивное с ударами	Колосники молотковых дробилок, детали шаровых мельниц, молотковых дробилок
	14	Руда, горные породы средней и высокой крепости	Абразивное с ударами. Давление до 50 МПа	Щеки дробилок, бандажи валковых дробилок
	15	Жидкая среда и твердые взвешенные зерна (песок и др.)	Гидроабразивное	Защитные втулки валов, детали насосов и гидротурбин
	16	Песок и гравий, молотые минералы		Мешалки и другие детали смесителей, земснарядов
	17	Песок, гравий и камни		Детали морских землечерпалок, грейдеров и экскаваторов
	18	Конструкционная сталь и абразив	Абразивное с ударами	Детали гусеничных машин, цепей экскаваторов, звездочки ковшовых элеваторов
	19	Конструкционная сталь	Механическое. Трение без смазки или с граничной смазкой	Направляющие, измерительный инструмент

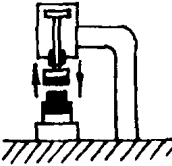
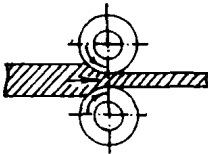
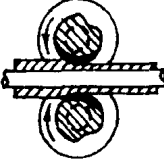
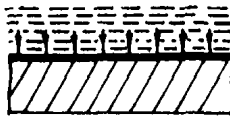
Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5
	20	Мягкая сталь, нержавеющая (коррозионно-стойкая) сталь, алюминий	Механическое. Давление более 50 МПа, удары, скольжение	Гибочные штампы, вытяжные штампы холодной штамповки
	21	Сталь	Механическое	Рабочие колеса кранов, колесные пары и бандажи
	22	Резина и синтетическая ткань	Абразивное	Ролики транспортных лент
	23	Сталь	Механическое. Сильные удары, вызывающие смятие, а также абразивное изнашивание	Железнодорожные крестовины, звенья гусениц
	24	Конструкционная сталь	Механическое. Граничная смазка, контактные напряжения	Зубья шестерен
	25		Механическое. Граничная смазка, наличие продуктов изнашивания	Уплотнения валов, узлы трения скольжения
	26	Бронза, антифрикционный сплав	То же, пленка смазки	Валы, оси в узлах трения

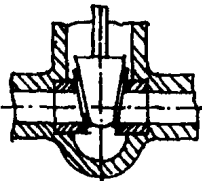

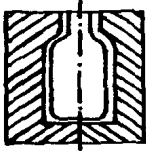
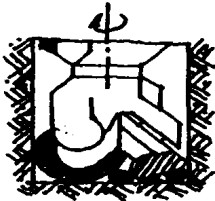
Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5
	27	Сталь	Гидроэрозсионное	Концевые валы судов, подшипники скольжения гидравлических приводов
	28	Вода	Кавитационное	Лопасты гидротурбин, лопасти судовых винтов
	29	Сталь, бронза		Плунжеры гидравлических прессов
	30	Сталь	Механическое	Посадочные места
	31	Сталь, цветные металлы	Механическое. Давление > 50 МПа, удары, скольжение	Ножи ножниц холодной резки, обрезающие штампы холодной штамповки
	32	Сталь, нагретая до 1100 °С	Коррозионно-механическое. Давление > 50 МПа, удары, скольжение, окислительная атмосфера, резкое охлаждение	Ножи ножниц горячей резки, штампы горячей штамповки

Продолжение табл.3.3

1	2	3	4	5
	33	Горячий металл (сталь, сплавы никеля, меди и др.)	Коррозионно-механическое. Окислительная атмосфера, удары	Детали ковочных молотов и прессов, ковочные штампы горячей штамповки
	34	Горячий металл (листовой и сортовой)	То же. Циклический нагрев и резкое охлаждение	Валки горячей прокатки листа и сортового проката
	35	Горячий металл – трубы		Валки пильгерстанов ковочных машин, штампы горячей штамповки
	36	Горячие газы	Окислительное. Окислительная атмосфера, высокая температура	Детали облицовки печей, держатели
	37	Жидкие и газообразные агрессивные среды, вызывающие коррозию	Гидро- и газоабразивное	Днища котлов, стенки резервуаров, трубы (внутренние поверхности)
	38	Зола, песок, уголь	Газоабразивное. Температура до 500 °С	Парозольные вентили, седла продувочных клапанов

Окончание табл. 3.3

1	2	3	4	5
	39	Пар высоких параметров	Эрозионное и коррозионно-механическое. Температура до 585 °С, давление до 12 МПа	Трубопроводные вентили, паровые клапаны и др.
	40	Жаростойкий чугун или сплав, выхлопные газы	Эрозионное и коррозионно-механическое. Температура до 850 °С, удары	Выхлопные клапаны двигателей внутреннего сгорания
	41	Расплавленное стекло	Коррозионно-механическое	Формы для прессования стекла
	42	Порода сухая и влажная	Абразивное с ударами	Зубья шарошек буровых долот, замки и муфты бурильных труб, горный и почвообрабатывающий инструмент

твердости бор сильно охрупчивает сплавы. Это обусловлено хрупкостью боридов и образующихся эвтектических структур. Охрупчивание особенно сильно при совместном легировании бором и углеродом. Бор — относительно дорогой легирующий элемент. В покрытиях, работающих с ударными нагрузками, ограничивают содержание бора. Образование лег-



коплавких эвтектик при легировании бором повышает технологические свойства этих сплавов. Особенно это важно для самофлюсующихся порошков. В них бор является основным легирующим элементом.

**Углерод.** Большинство наплавочных сплавов в той или иной степени легировано углеродом. Такое широкое применение углерода обусловлено его минимальной стоимостью и высоким упрочняющим действием. Он является основным карбидообразующим элементом. При доэвтектоидном содержании углерода ( $< 0,8\%$ ) формируется покрытие, обладающее высокой ударостойкостью при сравнительно хорошей износостойкости. При большем содержании углерода при наличии карбидообразующих металлов существенно возрастает износостойкость, особенно абразивная, однако стойкость к ударным нагрузкам снижается. Углерод резко снижает коррозионную стойкость покрытий. Поэтому для коррозионно-стойких покрытий содержание углерода уменьшают. Содержание углерода  $> 1,2\%$  применяется редко: в том случае, когда необходима большая твердость. На технологические свойства сплавов углерод оказывает отрицательное влияние, ухудшает свариваемость и увеличивает склонность к трещинообразованию.

**Хром.** Он находит очень широкое применение в наплавочных сплавах. Следует отметить, что сплавы системы Fe–Cr практического значения как наплавочные не имеют из-за образования хрупкой  $\sigma$ -фазы FeCr и относительно небольшого упрочнения. Наибольшее влияние хрома на эксплуатационные свойства износостойких сплавов проявляется при наличии углерода. Высокий уровень эксплуатационных свойств сплавов Fe–Cr–C обусловлен количеством, размерами, морфологией и микротвердостью карбидов и металлической основы.

В наплавленном металле хром может образовывать следующие карбиды: орторомбический  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , тригональный  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  и кубический  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ . Карбид  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  в сплавах Fe–Cr–C встречается редко. Как правило, при содержании хрома  $< 7\%$  образуются карбиды цементитного типа, легированные хромом. В цементите может растворяться до  $20\%$  хрома. При содержании хрома  $> 8\%$  в чугуне с  $3\%$  C количество карбидов цементитного типа уменьшается за счет образования карбидов  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  и  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ . Именно эти карбиды предпочтительны в износостойких сплавах.

Основной путь регулирования количества и типа карбидов в износостойких сплавах – выдерживание требуемого соотношения Cr/C в сплаве. Экономические издержки такого подхода обусловили интенсивную разработку экономно-легированных износостойких сплавов. В этих сплавах

требуемое количество, тип и морфология карбидных фаз формируются за счет рационального легирования более сильными карбидообразующими элементами, такими как ванадий, титан, вольфрам, молибден. В этом случае образуются преимущественно карбиды  $MC$  и  $M_3C$ , способствующие повышению эксплуатационных характеристик сплавов. В сплавах с дефицитом по углероду, а также в легированных бором могут присутствовать дополнительно карбиды  $M_{23}C_6$ . Указанные сплавы обладают высокой твердостью и абразивной износостойкостью.

Эффективным приемом регулирования количества, морфологии и типа карбидной фазы в хромистых износостойких сплавах является термическая обработка. Однако для покрытий она находит ограниченное применение. Хром повышает коррозионную и окислительную стойкость покрытий. С увеличением количества хрома ухудшается свариваемость, повышается вероятность образования трещин в покрытиях.

*Никель* находит широкое применение в сплавах для защитных покрытий. Он неограниченно растворим в железе и является сильным аустенизирующим элементом. Собственных высокотвердых фаз в сплавах железа никель не образует. Его влияние заключается в существенном повышении стойкости покрытий к ударным нагрузкам. С увеличением содержания никеля повышается вязкость сплава практически без ущерба для износостойкости. Никель – дорогой легирующий элемент, поэтому его количество в износостойких сплавах на основе железа ограничивают. Исключение составляют сплавы для коррозионно-стойких покрытий. Легирование никелем повышает свариваемость сплавов, снижая склонность к трещинам. В самофлюсующихся порошках никель применяют в качестве основы сплава. В этом случае достигаются высокие коррозионная и износостойкость, а также технологичность нанесения покрытия благодаря образованию в системе  $Ni-Cr-B-Si$  эвтектической структуры эвтектического типа с низкой температурой плавления ( $\leq 1000^\circ C$ ).

*Кремний*. В силу металлургических особенностей производства кремний является постоянным спутником сплавов на основе железа, в том числе наплавочных. В  $Fe$  растворяется до 15 %  $Si$ . В системе  $Fe-Si$  образуется ряд силицидов:  $Fe_3Si$ ,  $FeSi$ ,  $FeSi_2$ ,  $Fe_5Si_3$ ,  $FeSi_3$ .

Кремнийсодержащие сплавы для износостойких покрытий, как правило, содержат углерод, хром и ряд других легирующих элементов. Кремний не образует самостоятельных карбидов, является ферритизирующим элементом, он снижает количество остаточного аустенита. В

отдельных случаях возможна графитизация наплавленного слоя. Легирование кремнием наплавочных сплавов упрочняет ферритную матрицу и способствует увеличению количества карбидов  $M_7C_3$ .

По мере увеличения содержания в сплавах кремния количество его в матрице резко повышается. Добавка даже 4 % Si приводит к увеличению его содержания в матрице > 10 %, так как ни первичные, ни эвтектические карбиды  $M_7C_3$  не растворяют кремний. При увеличении содержания кремния относительное количество хрома в твердом растворе снижается на 55...70 %. Все это дает повышение твердости и износостойкости наплавки.

В отдельных случаях зафиксировано образование карбосилицидной фазы. Кремний повышает коррозионную стойкость железоуглеродистых сплавов. Находят применение коррозионно-стойкие сплавы с содержанием кремния > 12 %. Однако механические и триботехнические свойства указанных сплавов низки. Высококремнистый наплавленный слой склонен к образованию пор и имеет низкую трещиностойкость.

*Марганец.* Карбидообразующая способность марганца несколько выше, чем у железа, и, как правило, собственных карбидов в стали он не образует, растворяясь в цементите. Однако при большом содержании марганца, например в ферромарганце, образуются карбиды марганца  $Mn_3C$ ,  $Mn_7C_3$ . Значение марганца для износостойких сплавов обусловлено его аустенизирующей способностью и стабилизацией карбидов. Следует отметить также, что легированный марганцем карбид  $(FeMn)_3C$  менее хрупок, чем цементит. По стабилизирующему воздействию на аустенит марганец подобен никелю.

Замена никеля марганцем значительно удешевляет сплав. Марганец подавляет превращение в бейнитной области, растягивает во времени превращение в перлитной области при одновременном интенсивном снижении температуры мартенситного превращения. Поэтому наплавленные слои, легированные марганцем, имеют в структуре значительное количество остаточного аустенита. Образованная при этом структура (остаточный аустенит, мартенсит, карбиды) обладает высокими эксплуатационными свойствами, особенно в условиях ударных нагрузок. Для сплавов Fe—Cr—Mn—C оптимальным является содержание 2...4 % Mn.

Для получения мартенситно-аустенитных сплавов с небольшим содержанием остаточного аустенита рекомендовано ограничивать содержание марганца до 4 %. Если надо получить чисто аустенитные сплавы, необходимо > 5 % Mn.

Велик потенциал повышения эксплуатационных свойств марганцовистых наплавов за счет термической обработки. Обнаружен значительный эффект дисперсионного твердения – сфероидизация первичных и выпадение вторичных карбидов. Эффективно легирование марганцем бористых наплавочных сплавов. В этом случае уменьшается количество хрупкого цементита за счет образования карбида  $\text{Fe}_{0,4}\text{Mn}_{3,6}\text{C}$  на фоне боридов  $\text{Fe}_2\text{B}$ . Однако для аустенизации сплава и повышения его ударостойкости необходимо дополнительное легирование никелем. Увеличение количества аустенита при легировании марганцем неравноценно по эффекту, достигаемому путем легирования никелем.

Характеристика основных фазовых составляющих металлических покрытий состоит в следующем. Феррит является наименее благоприятной фазовой составляющей основы сплава, так как он имеет невысокие твердость, износостойкость, вязкость и сопротивление разрушению. Он может находиться в наплавленном металле при наличии мартенсита и небольшого количества упрочняющей фазы.

Наилучшей основой наплавленного металла является смесь аустенита с мартенситом. При этом в зависимости от наличия и энергии ударных составляющих при работе детали количество аустенита и мартенсита должно быть различным. Чем больше ударные нагрузки, тем больше должно быть аустенита. Желательно, чтобы мартенсит в этом случае был низкоуглеродистым, например благодаря связыванию углерода карбидообразующими элементами. Количество и тип высокотвердых фаз влияют на износостойкость покрытий. Увеличение содержания карбидов, боридов, нитридов значительно повышает твердость покрытия. Однако износостойкость при этом может не увеличиваться. Это обусловлено морфологией и физико-механическими свойствами высокотвердых фаз (табл. 3.4).

Разработаны рекомендации по выбору наплавочного сплава для износостойких покрытий (табл. 3.5). Указанные фазовый и химический составы наплавленного металла являются рекомендуемыми. Доступные наплавочные материалы не всегда отвечают этим рекомендациям. Однако приведенные в табл. 3.5 данные позволяют ориентироваться в выборе наплавочных материалов для различных условий работы, а также руководствоваться при разработке новых материалов.

Рекомендации по рациональному применению выпускаемых материалов в процессах восстановления и упрочнения деталей активно разрабатывают ведущие зарубежные фирмы («ESAB», Швеция; «Sulzer Metco» Швейцария и др.) (табл. 3.6).

### 3.4. Физико-механические свойства высокотвердых фаз, применяемых в материалах для восстановления деталей

Фаза	Микротвердость, МПа	Температура плавления, °С	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Модуль нормальной упругости, ГПа
$\text{Cr}_7\text{C}_3$	13 700...24 000	1655	6,92	360
$\text{Cr}_{23}\text{C}_6$	12 250...22 800	1550	6,97	380
$\text{Cr}_7\text{C}_2$	13 500...18 000	1660	6,68	280
VC	30 000	2810	5,36	270...430
TiC	24 000...32 000	3150	4,93	460
ZrC	28 000	3420	6,57	350...420
WC	17 400...22 000	2720	15,6	610...720
$\text{CrB}_2$	20 600...21 000	2200	5,2	220
$\text{VB}_2$	21 000...27 400	2400	5,28	~ 270
TiB	32 000...33 000	2980	4,45	455...540
$\text{W}_4\text{B}$	37 000	2800	15,3	790
CrB	22 500...34 000	3040	6,17	220...350
CrN	11 000	~ 1500	6,1	330
VN	15 000	2180	6,1	267
TiN	19 000...20 500	2950	5,43	340...616
ZrN	15 000	2950	7,1	~ 400
$\text{Al}_2\text{O}_3$	20 000...25 400	2050	3,9	410
$\text{SiO}_2$	11 500	1720	2,65	73
$\text{TiO}_2$	15 000	1850	4,24	280
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	29 400	2300	5,21	405
$\text{B}_4\text{C}$	35 600...49 500	2350	3,2	460

### 3.5. Рекомендуемые структуры наплавленного металла и наплавочные сплавы для различных видов изнашивания

Индекс по табл. 3.3	Условия работы. детали	Наплавочный слой			Рекомендуемые наплавочные сплавы	
		Фазовый состав, %		Химический состав, мас. %	Электрод	Порошковая проволока
		матрицы	упрочняющей фазы			
1	2	3	4	5	6	7
1, 7, 8	Скольжение по сыпучему абразиву. Абразивное изнашивание. Клыки и зубья экскаваторов при работе по сыпучей породе, брикеты, прессы, формовочные машины	70...60 М	30...40 К, Б	1,4...2,5 С; 10...25 Cr; Mn; B; Ni; Si	ВСН-9 (140Х10Н2Г2АР), ВСН-6 (110Х14В13Ф2)	ПП-A11170 (80Х20Р3Т)
2, 3	Работа в газо- или струйно-абразивном потоке. Газо- или струйно-абразивное изнашивание. Штуцеры, насадки, элементы запорной арматуры на газовых промыслах	$\alpha \leq 45^\circ$ 60 М, 10 А	30 К, Б, 20 К	0,8...2 С; $\leq 15$ Cr; Mn; Ni; Si	13АН/ЛИОТ80Х4С	ПЛ-У30Х30ГЗТЮ АН-125 (200Х15С1РГТ), ПП-АН17 (80Х20Р3Н)
		$\alpha > 60^\circ$ 60 М, 20 А	То же			

4, 9, 13, 14, 42	Ударное воздействие крупных монолитных пород. Ударно-абразивное изнашивание. Породоразрушающий инструмент, детали дробильных аппаратов	40 М; 40 АН	20 К, 10 К	0,7...1,5 С; 5...25 Cr; ≤ 15 W; Ni; Mn	ВСН-6 (110X14В13Φ2) ОМГ-Н (65X11Н3) ВСН-10 (50X12Н4М2)	ПП-АН135 (250X10Н8С2) ПП-АН122-П (30X5Г2СМ)
		90 АН		0,3...0,7 С; ≤ 7...9 Mn; 5...10 Cr; Ni; Si; Mo; V; Ti; Mo		
15-17	Скольжение в жидкой среде с абразивом. Гидроабразивное изнашивание. Детали мешалок, смесителей, насосов, землечерпалок	60 М, 10 А	30 К, Б	~ 3 С; ≤ 25 Cr; ≤ 1 В; Mn; Si; Ti	ЭНУ-2 (350X15Н4М2)	ПЛ- У25Х25Г3Ф1НРС
18-20	Трение металла о металл без смазочного материала в присутствии сыпучего абразива. Абразивное изнашивание сопряженных пар трения. Детали гусеничных машин, цепи и звездочки экскаваторов и тракторов	70 М	30 К	≤ 1 С; ≤ 12 Cr; Ni; Mo	ВСН-10 (50X12Н4М2)	ПП-АН103 (200ХМ12)

Продолжение табл. 3.5

1	2	3	4	5	6	7
21, 23	Качение металла по металлу. Подшипники качения, колесные пары	90 М	10 К	$\leq 1 \text{ C};$ $\leq 15 \text{ Cr};$ Ni; Mo; W	ОМГ-Н (65Х11Н3)	ПП-АН103 (200ХМ12)
25, 26	Трение металла о металл со смазочным материалом. Изнашивание сопряженных пар. Валы. Оси	90...100 М	0...10 К	$\leq 0,5 \text{ C};$ $\leq 5 \text{ Cr};$ $\leq 3 \text{ Mn};$ Ni	ЭН-60М (70Х3СМТ)	ПП-25Х5ФМС, ПП-АН122 (30Х5Г2СМ)
24, 25	Изнашивание при граничной смазке. Контактная усталость. Зубья шестерен	90...100 М, 70...80 АН	0...10 К, 20...30 К	$\leq 0,5 \text{ C};$ Cr; Mn; $\leq 1,2 \text{ C};$ Cr; Mn	НР-10 (30Г2ХМ), ОЗИ-3 (90Х4М4ВФ)	ПЛ-АН126 (20Х2Г2СТ)
28, 29	Воздействие гидравлического потока. Кавитация. Плунжеры, лопасти гидротурбин, гребные валы	20...30 М, 70...80 АН	10 К	0,3...0,7 C; 7...9 Mn; 5...10 Cr; Ni; Ti; Mo	Нет сведений	ПП-АН105 (90Г13Н4)



38	Клапан с седлом, работающий в потоке с абразивом. Ударно-абразивное и ударно-усталостное изнашивание. Клапаны насосов	40 А, 40 М	20 К	1,0...1,5 С; 40...60 Ni; ≤ 20 Cr	ЭА-582/23 (5Н34Х14М6Г6Б)	ПП-АН106 (10Х14Т)
		40 М, 40 Ф	То же	≤ 1,5 С; ≤ 20 Cr; Ni; Mo; Ti	ЦН-2 (190К62Х29В5С2)	ПП-АН138 (10Х15Н2ГТ)
36-38, 40	Клапаны в потоке горячих газов. Окислительное изнашивание и прогар. Клапаны двигателей внутреннего сгорания	20 К		≤ 2 С; ~ 25 Cr; Ni; Mn		
		5, 38, 3920 К	То же	≤ 2 С; ~ 25 Cr; 60 Co	ЭЛ-898/21Б (8Х18Н9Г2Б3И08)	ПП-АН106 (10Х14Т) ПП-АН133 (10Х17Н9С5ГТ)
5, 38, 39	Воздействие абразива в коррозионно-активной среде. Коррозионно-механическое разрушение. Насосы и аппараты химического производства, оборудование газоконденсатных месторождений	20 К	10 К	~ 2С; ≤ 10 Cr; Mn; Ni		
		10 К		≤ 1 С; ≤ 20 Ni; ≤ 15 Cr; Mo; W; Mn		

Условные обозначения: А – аустенит; М – мартенсит; Ф – феррит; АН – аустенит нестабильный с  $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращением при деформации; К – карбиды; Б – бориды;  $\alpha$  – угол атаки потока (струи) с абразивом.

## 3.6. Рекомендации по применению наплавочных электродов фирмы «ESAB» (Швеция)

Рекомендуемые электроды для восстановления и упрочнения деталей (химический состав, мас. %) (индекс условий работы взят по табл. 3.2)					
Основной металл	Трущиеся детали (18, 19, 21–27)	Детали в условиях абразивного изнашивания (1, 2, 6, 7)	Детали в условиях абразивного изнашивания с ударами (3, 4, 8–14)	Режущие крошки деталей (31, 35)	Изнашиваемые поверхности штампов (20, 33–35)
Малоуглеродистая низколегированная сталь	OK 83.28 (0,1 C; 0,5 Si; 0,7 Mn; 3,2 Cr; Fe – остальное); OK 83.29 (0,1 C; 0,5 Si; 0,7 Mn; 3,2 Cr; Fe – остальное)	OK 84.78 (4,5 C; 33 Cr; Fe – остальное); OK 84.84 (3 C; 2 Si; 8 Cr; 6 V; Fe – остальное)	OK 84.58 (0,7 C; 0,6 Si; 0,7 Mn; 10 Cr; Fe – остальное); OK 83.50 (0,4 C; 0,4 Si; 0,5 Mn; 6 Cr; 0,6 Mo; Fe – остальное)	OK 84.52 (0,25 C; 0,5 Si; 0,3 Mn; 13 Cr; Fe – остальное); OK 85.65 (0,9 C; 4,5 Cr; 7,5 Mo; 1,8 W; 1,5 V; Fe – остальное)	OK 85.58 ( $\leq 0,35$ C; 1,8 Cr; 8 W; 0,8 Nb; 2 Co; Fe – остальное); OK 92.35 ( $\leq 0,1$ C; 16 Cr; 16 Mo; 4 W; $\geq 5$ Fe; Ni – остальное)
Высоколегированная углеродистая сталь	OK 68.82 (0,1 C; 0,8 Si; 1,2 Mn; 28,5 Cr; 10 Ni; Fe – остальное); OK 67.45 (0,1 C; 0,5 Si; 6 Mn; 18 Cr; 8,5 Ni; Fe – остальное)	OK 84.78; OK 84.84	OK 84.58; OK 83.50	OK 84.52; OK 85.65	OK 85.58; OK 92.35

Марганцовистая сталь (14 % Mn)	OK 86.28 (0,75 C; 14 Mn; 0,02 P; 0,01 S; 3,5 Ni; Fe – остальное)	OK 84.78; OK 84.84	OK 84.58; OK 83.50	Не применяется	
	OK 68.82; OK 67.45			OK 84.52; OK 85.65	OK 85.58; OK 92.35
Чугун	OK 92.35 (≤0,1 C; 16 Cr; 16 Mo; 4 W; 0,5 Si; ≥ 5 Fe; Ni – остальное); OK 92.60 (1,7 C; 46 Fe; Ni – остальное)	OK 83.28 (0,1 C; 0,5 Si; 0,7 Mn; 3,2 Cr; Fe – остальное)	Не применяются		
Медные сплавы	OK 94.25 (0,5 Mn; 92 Cu; 78 Sn; 0,15 P)	Не применяются			
Алюминиевые сплавы	OK 96.50 (12 Si; 0,5 Fe; Al – остальное)	Не применяются			

### 3.2.3. Металлическая проволока и лента

Стальная сварочная проволока согласно ГОСТ 2246–70 делится на низкоуглеродистую, легированную и высоколегированную. Предусмотрено 77 марок проволок диаметром 0,3...12 мм. Проволоку применяют для наплавки, электроконтактной приварки и газотермического напыления.

Условное обозначение марки сварочной проволоки включает в себя последовательно:

- число, указывающее диаметр проволоки в мм;
- индекс Св (сварочная) или Нп (наплавочная);
- число, показывающее содержание углерода в сотых долях процента, которое следует за индексом;
- буквенно-цифровое обозначение легирующих элементов; степень чистоты материала; другие сведения. При содержании легирующих элементов < 1 % ставят только букву этого элемента, при их содержании > 1 % после буквенного обозначения элемента приводят цифру, указывающую содержание в целых единицах процента. Приняты обозначения: А – азот (только в высоколегированных сплавах), Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, М – молибден, Н – никель, К – кобальт, Р – бор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Ц – цирконий, Ю – алюминий. Буква А после обозначения низкоуглеродистых и легированных проволок указывает на повышенную чистоту материала по содержанию серы и фосфора, две буквы А рядом – АА показывают пониженное содержание серы и фосфора по сравнению с проволокой А;
- затем через дефис указывают способ плавления: Ш – полученная из стали электрошлаковым переплавом, ВД – выплавленная вакуумно-дуговым переплавом, ВИ – выплавленная в вакуумно-индукционной печи, О – омедненная, Э – для изготовления электродов;
- через дефис: Д – холоднодеформированная (тянутая); Г – горячедеформированная, КР – круглого сечения, БТ – мотки, бухты, КТ – катушки, БР – барабаны.

**Пример.** Обозначение сварочной проволоки 2,5Св-08ХЗГ2СМФА-ВИ-Э-О несет следующие сведения: стальная сварочная проволока диаметром 2,5 мм содержит 0,08 % С, 3 % Cr, 2 % Mn, кремния, молибдена и ванадия – до 1 % каждого, характеризуется повышенной чистотой по содержанию серы и фосфора, выплавлена в вакуумно-индукционной печи, предназначена для изготовления электродов, омедненная.

Для сварки алюминия и его сплавов по ГОСТ 7871–75 предусмотрено 25 различных видов проволоки диаметром 0,8...12,5 мм. Для сварки меди и ее сплавов служат проволоки по ГОСТ 16130–80 из меди (М1, М1р, М2р, Мср1, МНЖ5-1, МНЖКТ5-1-0-0,2-0,2 и др.), бронзы (БрКМц3-1, БрОЦ4-3, БрАМЦ9-2 и др.) и латуни (Л63, ЛО60-1, ЛК62-05, ЛМц58-2, ЛОК52-1-0,3 и др.).

Для механизированной наплавки по ГОСТ 10543–98 выпускается специальная *наплавочная проволока* типа Нп диаметром 0,3; 0,5; 0,8; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,5 и 8,0 мм. Наплавочная проволока разделена на три группы: из углеродистых сталей; из легированных сталей и высоколегированных сталей (табл. 3.7). На практике в наплавочных работах находит также применение стандартная сварочная проволока по ГОСТ 2246–70 и проволока, предназначенная для изготовления пружин по ГОСТ 9389–75.

*Проволока для напыления.* Для газотермических покрытий применяют как сварочную проволоку, так и наплавочную (Св-08Г2С, Св-07Х19Н9ТЮ, Нп-65Г, Нп-40Х13 и др.). За рубежом ряд фирм выпускают специальную проволоку для газотермических покрытий. Фирма «Metco» (в настоящее время «Sulzer Metco», Швейцария) длительное время занимается разработкой технологий и проволочных материалов для газотермических покрытий (табл. 3.8).

*Стальная наплавочная лента* представляет собой полосу толщиной 0,4...0,6 мм и шириной 30...100 мм. Применение ленты обеспечивает широкослойную наплавку с высокой производительностью и небольшой глубиной проплавления основного материала. Материалом холоднокатаной ленты служат конструкционные, инструментальные, пружинные или нержавеющие стали с невысоким содержанием углерода. Такую ленту применяют, как правило, при наплавке под флюсом. Однако лента из компактного материала не удовлетворяет разнообразным требованиям к наплавке, поэтому разработаны и применяются спеченные и порошковые ленты.

### 3.2.4. Штучные электроды и прутки

*Электрод сварочный* – это стержень, по которому подводится к детали электрический ток во время сварки, наплавки или резки. Электроды бывают плавящиеся и неплавящиеся. Неплавящийся электрод изготавливают из электротехнического, реже синтетического графита или вольфрама. Основой плавящегося электрода является сварочная проволока, материал которой в процессе сварки переносится в виде валика на деталь.

## 3.7. Химический состав наплавочной проволоки

Марка проволоки	Химический состав, мас. %
1	2
<i>Углеродистая</i>	
Нп-30	0,27...0,35 С; 0,5...0,8 Мп; 0,17...0,37 Si; ≤ 0,25 Cr; ≤ 0,3 Ni; < 0,04 S; < 0,035 P; остальное Fe
Нп-45	0,42...0,50 С; 0,5...0,8 Мп; 0,17...0,37 Si; ≤ 0,25 Cr; ≤ 0,3 Ni; < 0,04 S; < 0,035 P; остальное Fe
Нп-50	0,45...0,55 С; 0,5...0,8 Мп; 0,17...0,37 Si; ≤ 0,25 Cr; ≤ 0,3 Ni; < 0,04 S; < 0,035 P; остальное Fe
Нп-85	0,82...0,90 С; 0,5...0,8 Мп; 0,17...0,37 Si; ≤ 0,25 Cr; ≤ 0,3 Ni; < 0,35 S; < 0,035 P; остальное Fe
<i>Легированная</i>	
Нп-40Г	0,27...0,45 С; 0,7...1,0 Мп; 0,17...0,37 Si; ≤ 0,3 Cr; ≤ 0,3 Ni; < 0,035 S; < 0,035 P; остальное Fe
Нп-50Г	0,45...0,56 С; 0,7...1,0 Мп; 0,17...0,37 Si; ≤ 0,3 Cr; ≤ 0,3 Ni; < 0,035 S; < 0,035 P; остальное Fe
Нп-65Г	0,60...0,70 С; 0,9...1,2 Мп; 0,17...0,37 Si; ≤ 0,3 Cr; ≤ 0,3 Ni; < 0,035 S; < 0,035 P; остальное Fe
Нп-30ХГСА	0,27...0,35 С; 0,8...1,1 Мп; 0,90...1,20 Si; 0,8...1,1 Cr; ≤ 0,4 Ni; < 0,025 S; < 0,025 P; остальное Fe

Нп-50Х5	0,27...0,35 С; 0,4...0,7 Мп; 0,20...0,50 Si; 4,0...6,0 Cr; $\leq 0,4$ Ni; $\leq 0,04$ S; $\leq 0,03$ P; остальное Fe
Нп-40Х3Г2МФ	0,35...0,45 С; 1,3...1,8 Мп; 0,4...0,7 Si; 3,3...3,8 Cr; $\leq 0,4$ Ni; 0,1...0,2 V; 0,3...0,5 Mo; $< 0,035$ S; $< 0,035$ P; остальное Fe
Нп-40Х2Г2М	0,35...0,43 С; 1,8...2,3 Мп; $\leq 0,40$ ...0,70 Si; 1,8...2,3 Cr; $\leq 0,4$ Ni; 0,8...1,2 Mo; $< 0,035$ S; $< 0,035$ P; остальное Fe
Нп-50ХНМ	0,5...0,6 С; 0,5...0,8 Мп; $\leq 0,35$ Si; 0,5...0,8 Cr; 1,4...1,8 Ni; 0,15...0,30 Mo; $< 0,03$ S; $< 0,03$ P; остальное Fe
Нп-50Х6ФМС	0,45...0,55 С; 0,3...0,6 Мп; 0,8...1,2 Si; 5,5...6,5 Cr; $\leq 0,35$ Ni; 0,35...0,55 V; 1,2...1,6 Mo; $< 0,03$ S; $< 0,03$ P; остальное Fe
Нп-50ХФА	0,46...0,54 С; 0,5...0,8 Мп; 0,17...0,37 Si; 0,8...1,1 Cr; $\leq 0,4$ Ni; 0,1...0,2 V; $< 0,025$ S; $< 0,025$ P; остальное Fe
Нп-105Х	0,95...1,1 С; 0,15...0,4 Мп; 0,15...0,35 Si; 1,3...1,65 Cr; $\leq 0,35$ Ni; $< 0,03$ S; $< 0,03$ P; остальное Fe
<i>Высоколегированная</i>	
Нп-20Х14	0,16...0,25 С; $\leq 0,8$ Мп; $\leq 0,8$ Si; 13...15 Cr; $\leq 0,6$ Ni; $< 0,025$ S; $< 0,03$ P; остальное Fe
Нп-30Х13	0,25...0,35 С; $\leq 0,8$ Мп; $\leq 0,8$ Si; 12...14 Cr; $< 0,025$ S; $< 0,03$ P; остальное Fe

Продолжение табл. 3.7

1	2
Нп-30Х10Г10Т	0,25...0,35 С; 10...12 Мп; $\leq 0,35$ Si; 10...12 Cr; $\leq 0,6$ Ni; 0,15...0,3 Ti; $< 0,03$ S; $< 0,035$ P; остальное Fe
Нп-40Х13	0,35...0,45 С; $\leq 0,8$ Мп; $\leq 0,8$ Si; 10...12 Cr; $< 0,025$ S; $< 0,03$ P; остальное Fe
Нп-45Х4В3ГФ	0,4...0,5 С; 0,8...1,2 Мп; 0,7...1,1 Si; 3,6...4,6 Cr; $\leq 0,6$ Ni; 2,5...3 W; 0,2...0,4 V; $< 0,03$ S; $< 0,03$ P; остальное Fe
Нп-45Х2В8Г	0,4...0,5 С; 1...1,4 Мп; 0,4...0,7 Si; 2,2...3 Cr; $\leq 0,6$ Ni; 8...9,5 W; 0,3...0,5 V; 0,2...0,9 Ti; $< 0,03$ S; $< 0,03$ P; остальное Fe
Нп-60Х3В10Ф	0,55...0,65 С; 0,8...1,2 Мп; 0,7...1,1 Si; 3,6...4,6 Cr; $\leq 0,5$ Ni; 9...10,5 W; 0,3...0,5 V; $< 0,03$ S; $< 0,03$ P; остальное Fe
Нп-Г13А	1...1,2 С; 12,5...14,5 Мп; $\leq 0,4$ Si; $\leq 0,6$ Cr; $\leq 0,6$ Ni; 2,5...3 W; 0,2...0,4 V; $< 0,03$ S; $< 0,03$ P; остальное Fe
Нп-Х15Н60	$\leq 0,15$ С; $\leq 1,5$ Мп; $\leq 1$ Si; 15...18 Cr; 55...60 Ni; $< 0,02$ S; $< 0,03$ P; остальное Fe
Нп-Х20Н80Т	$\leq 0,12$ С; $\leq 0,7$ Мп; $\leq 0,8$ Si; 19...23 Cr; 0,15...0,4 Ti; $< 0,015$ S; $< 0,02$ P; остальное Ni, Fe
Нп-03Х15Н35Г7М6В	$\leq 0,03$ С; 5...7,5 Мп; $\leq 0,98$ Si; 13...16 Cr; 33...36 Ni; 5...7,5 Мо; 1,2...1,8 Nb; $< 0,02$ S; $< 0,035$ P; остальное Fe



## 3.8. Проволочные материалы фирмы «Sulzer Metco» (Швейцария)

Марка проволоки	Химический состав, мас. %	Характеристика покрытия
1	2	3
Metcoloy 1	18 Cr; 8 Ni; 2 Mn; 0,75 Si; 0,08 C; остальное Fe	Нержавеющая сталь типа 18-8. Высокая коррозионная стойкость, умеренная износостойкость
Metcoloy 2	13 Cr; 0,5 Si; 0,5 Ni; 0,5 Mn; 0,35 C; остальное Fe	Высокохромистая углеродистая нержавеющая сталь. Высокая коррозионная стойкость и износостойкость. Покрытие имеет низкий коэффициент усадки при малой вероятности растрескивания на валах
Metcoloy 5	18 Cr; 5 Ni; 8,5 Mn; 1 Si; 0,15 C; остальное Fe	Низкоуглеродистая нержавеющая сталь. Применяется для нанесения на внутренние поверхности и для получения толстых покрытий. Хорошая коррозионная стойкость, умеренная износостойкость
Metcoloy 33	22,5 Fe; 16 Cr; 1,5 Si; остальное Ni	Применяется в качестве подслоя или основного покрытия для защиты стальных поверхностей от высокотемпературной газовой коррозии
Strasteel 10	0,5 Mn; 0,1 Si; 0,1 C; остальное Fe	Низкоуглеродистая сталь. Износостойкое покрытие с высоким коэффициентом усадки
Strasteel 25	0,6 Mn; 0,1 Si; 0,25 C; остальное Fe	Аналог Strasteel 10, но более твердое и износостойкое покрытие
Strasteel 80	0,8 Mn; 0,7 Si; 0,1 C; остальное Fe	Самое твердое покрытие класса Strasteel

Продолжение табл. 3.8

1	2	3
Strasteel LS	4 Ni; 2 Mn; 1,5 Mo; 1,5 Cr; 0,04 C; осталь- ное Fe	Высококачественная легированная сталь. Высокая технологичность нанесения и износостойкость по- крытия. Возможность нанесения толстых покрытий без растрески- вания
Metco Copper	99,8 Cu	Декоративные и электропроводя- щие покрытия
Sprabronze AA	9 Al; 1 Fe; остальное Cu	Алюминиевая бронза. Высокая износостойкость в паре трения. Высокая коррозионная стойкость в морской воде
Metco Aluminium	99,0 Al	Высокая коррозионная стойкость в атмосферной и химической средах. Высокие тепло- и электропровод- ности, способность радиочастотно- го экранирования
Sprababbit	7,5 Sb; 3,5 Cu; 0,25 Pb; остальное Sn	Оловянистый баббит. Антифрик- ционное покрытие подшипников скольжения
Metco Zinc	99,9 Zn	Покрытия, стойкие против атмо- сферной коррозии
Metco 405	20 Al; остальное Ni	Сплав никеля и алюминия, даю- щий во время напыления экзотер- мическую реакцию. Плотное по- крытие с высокой прочностью сцепления. Может применяться в качестве подслоя
Sprabond	99,9 Mo	Подслой под основное покрытие. Высокая прочность сцепления со сталью. Высокие жаро- и коррози- онная стойкость

Плавящиеся электроды классифицируются по видам проволочного материала и электродного покрытия.

Электроды классифицируют по:

- назначению (ГОСТ 9466–75);
- типам (ГОСТ 9467–75, 10051–75 и 10052–75);
- маркам;
- толщине покрытия (ГОСТ 9466–75);
- группам;
- видам покрытий.

Электроды для сварки обозначают буквой Э с двухцифровым числом через дефис. Число показывает прочность сварочного шва на растяжение. Электроды для наплавки обозначают буквами ЭН и числом, которое указывает гарантированную твердость наплавленного материала. Каждому типу электродов соответствует несколько их марок, различающихся видом и составом покрытий. По ГОСТ 10051–75 установлено 44 типа электродов. Для сварки и наплавки деталей применяют электроды с покрытиями.

По толщине покрытия (в зависимости от соотношения их наружного диаметра  $D$  к диаметру  $d$  стального стержня) электроды бывают с тонким – М ( $D/d \leq 1,20$ ), средним – С ( $D/d = 1,20 \dots 1,45$ ), толстым – Д ( $D/d = 1,45 \dots 1,80$ ) и особо толстым Г ( $D/d \geq 1,80$ ) покрытиями.

Тонкие (стабилизирующие) покрытия электродов служат только для обеспечения устойчивого горения дуги. Их толщина равна 0,10...0,25 мм, а масса составляет 1...2 % от массы металлического стержня. Толстые (качественные) покрытия в отличие от стабилизирующих не только повышают устойчивость горения дуги, но и улучшают качество сварного шва.

Толстые качественные покрытия защитно-легирующего типа включают в себя такие составляющие:

- добавки, стабилизирующие процесс горения дуги (соду, поташ, диоксид титана, мел, мрамор и др.);
- газообразующие добавки из органических соединений (крахмал, муку пищевую или древесную, декстрин) для создания среды, защищающей расплавленный металл от вредного влияния атмосферы;
- шлакообразующие добавки (титановый концентрат, марганцевую руду, полевой шпат, плавиковый шпат, кварц, гранит, мрамор, каолин и др.), которые очищают расплавленный металл и защищают его от вредного влияния атмосферы;

– раскисляющие и легирующие (ферромарганец, ферросилиций, ферротитан, алюминий и др.);

– связующие добавки (жидкое стекло, декстрин и др.).

Вид *электродного покрытия* обозначается индексами:

А – кислое покрытие, содержащее оксиды железа, марганца, кремния, иногда титана (ОММ-5, ОММ-5Ц, ЦМ-7, ЦМ-8 и др.). Сварку ведут на переменном или постоянном токе прямой или обратной полярности;

Б – основное покрытие, содержащее фтористый кальций (плавиковый шпат) и карбонат кальция (мрамор, мел). Это электроды марок УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, ЦЛ-9, ОЗС-2, АНО-7 и АНО-8. Электроды применяют для сварки на постоянном токе обратной полярности. Вследствие малой склонности металла шва к образованию горячих и холодных трещин электроды применяют и для сварки деталей с толстыми стенками;

Ц – целлюлозное покрытие, создающее газовую защиту дуги (ВСЦ-4, ВЦС-4А, ОМА-2, ОЗС-1 и др.). Ими сваривают стали малой толщины на переменном токе обратной полярности;

Р – рутиловое покрытие (ОЗС-4, ОЗС-6, АНО-1, АНО-3, АНО-4, АНО-5, АНО-12 и др.). Основной компонент покрытия – оксид титана. Электроды служат для сварки на переменном и постоянном токе прямой и обратной полярности. Достигается высокая устойчивость горения дуги во всех пространственных положениях. Поскольку в покрытие входит 2...8 % органических веществ, то электроды хранят в сухом месте, а перед употреблением сушат в течение 1 ч при температуре 120... 150 °С;

АЦ, РБ и др. – смешанные покрытия;

П – прочие виды покрытий (АНО-6, АНО-10 и др.).

В зависимости от вида свариваемых материалов электроды делятся на группы для сварки: У – углеродистых сталей; Л – легированных конструкционных сталей; Т – легированных теплоустойчивых сталей; В – высоколегированных сталей с особыми свойствами; а также Н – для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

По допустимым пространственным положениям свариваемого шва электроды обозначают: 1 – для всех положений; 2 – для всех положений, кроме вертикального сверху вниз; 3 – для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх; 4 – для нижнего.

По роду и полярности применяемого тока, а также по номинальному напряжению холостого хода источника питания сварочной дуги переменного тока электроды маркируются: 0 – только для постоянного тока обратной полярности; 1, 2 и 3 – для напряжения холостого хода переменного тока  $50 \pm 5$  В; 4, 5 и 6 – то же для напряжения  $70 \pm 10$  В; 7, 8 и 9 – то

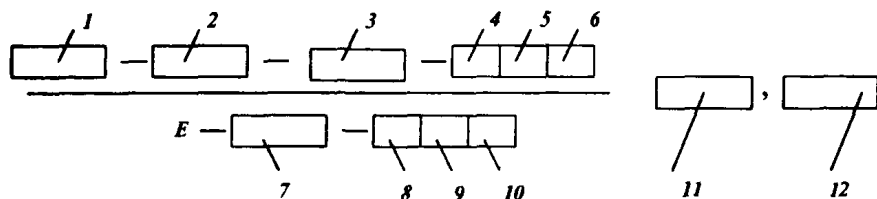
же для напряжения  $90 \pm 5$  В. Структура условного обозначения электродов приведена на рис. 3.4.

**Пример. Обозначение электрода**

Э46А-УОНИ-13/45-3,0-УД2  
Е-432(5)-Б10

расшифровывается следующим образом: Э46А (Э – электрод сварочный, 46 – минимальный гарантируемый предел прочности металла шва на растяжение 460 МПа, А – гарантируется получение повышенных пластических свойств металла шва); УОНИ-13/45 – марка; 3,0 – диаметр стальной проволоки, мм; У – электроды для сварки углеродистых сталей; Д2 – с толстым покрытием второй группы; Е-432(5) характеризует наплавленный металл шва, где 43 – временное сопротивление разрыву 430 МПа, относительное удлинение  $\geq 2\%$  и (5) – ударная вязкость  $\geq 34,5$  Дж/см<sup>2</sup> при температуре  $-40^\circ\text{C}$ ; Б – основное покрытие; 1 – для сварки во всех пространственных положениях; 0 – на постоянном токе обратной полярности.

*Наплавочные покрытые электроды* представляют собой электродный стержень с толстым электродным покрытием. Как правило, для электродного стержня применяют низкоуглеродистую сварочную проволоку,



**Рис. 3.4. Структурная схема условного обозначения электрода:**

1 – тип электрода; 2 – марка электрода; 3 – диаметр электрода; 4 – обозначение назначения электрода; 5 – обозначение толщины покрытия; 6 – группа качества электрода; 7 – группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва; 8 – обозначение вида покрытия; 9 – обозначение допустимых пространственных положений сварки или наплавки; 10 – обозначение рода применяемого при сварке или наплавке тока, полярности постоянного тока и номинального напряжения холостого хода источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц; 11 – обозначение стандарта на покрытые металлические электроды для ручной дуговой сварки сталей и наплавки; 12 – обозначение стандарта на типы электродов

а требуемый химический состав наплавки формируется за счет легирующих порошков, вводимых в электродное покрытие. Легированную проволоку для электродного стержня применяют значительно реже, в частности для получения высоколегированных наплавов, когда традиционное легирование через электродное покрытие неэффективно. Электроды применяют для ручной электродуговой наплавки различных деталей. Предпочтительна наплавка на постоянном токе обратной полярности. Реже применяется наплавка на переменном токе.

В группу электродов для наплавки входят электроды, предназначенные для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Электроды изготавливают и поставляют в соответствии с требованиями ГОСТ 9466–75 и 1005–75. Для наплавочных работ в некоторых случаях также используют сварочные электроды, например электроды, предназначенные для сварки высоколегированных коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных сталей.

Согласно ГОСТ 10051–75 электроды для наплавки по химическому составу наплавленного металла и твердости при нормальной температуре классифицированы на 44 типа (например, электроды типов Э-16Г2ХМ, Э-110Х14В13Ф2, Э-13Х16Н8М5С5Г46).

Наплавленный металл многих электродов регламентируется техническими условиями предприятий-изготовителей. Европейская классификация наплавочных электродов представлена на рис. 3.5.

В зависимости от принятой системы легирования и условий работы получаемого наплавленного металла электроды для наплавки могут быть условно разделены на следующие шесть групп.

1. Электроды, обеспечивающие получение низкоуглеродистого низколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях трения металла о металл и ударных нагрузок (по назначению к этой группе относятся некоторые марки электродов третьей группы).

2. Электроды, обеспечивающие получение среднеуглеродистого низколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях трения металла о металл и ударных нагрузок при нормальной и повышенной температурах (до 600...650 °С).

3. Электроды, обеспечивающие получение углеродистого легированного (или высоколегированного) наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях абразивного изнашивания и ударных нагрузок.

4. Электроды, обеспечивающие получение углеродистого высоколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях больших давлений и высоких температур (до 650...850 °С).

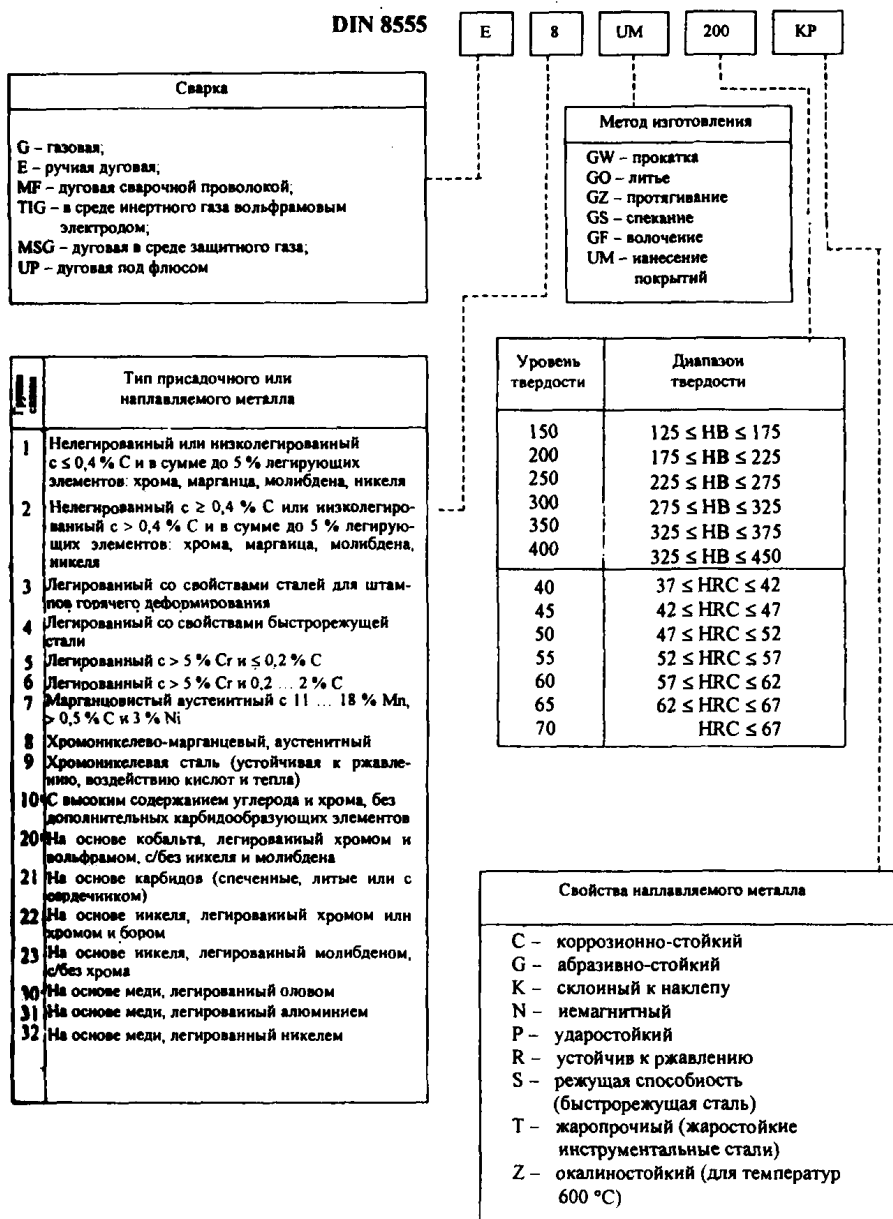


Рис. 3.5. Классификация материалов для наплавки поверхностей твердым сплавом в соответствии с DIN 8555 T1 (1983 г.)

5. Электроды, обеспечивающие получение высоколегированного аустенитного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях коррозионно-эрозионного изнашивания и трения металла о металл при повышенных температурах (до 570...600 °С).

6. Электроды, обеспечивающие получение дисперсноупрочняемого высоколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в тяжелых температурно-деформационных условиях (до 950...1100 °С).

В табл. 3.9 приведены электроды для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

**3.9. Электроды для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами, выпускаемые АО «Спецэлектрод» (Москва)**

Марка электрода	Тип электрода по ГОСТ 1005-75 или тип наплавленного металла	Основное назначение. Условия работы по табл. 3.3. Твердость наплавленного металла
1	2	3
<i>Первая группа</i>		
ОЗН-300М	11Г3С	Наплавка быстроизнашиваемых деталей из углеродистых и низколегированных сталей (например, валы, оси, автосцепки, крестовины, другие детали автомобильного и железнодорожного транспорта). 270...360 НВ (23; 25)
ОЗН-400М	15Г4С	Наплавка быстроизнашиваемых деталей из углеродистых и низколегированных сталей (например, валы, оси, автосцепки, крестовины, другие детали автомобильного и железнодорожного транспорта). 360...430 НВ (23; 25)
ЦНИИН-4	Э-65Х25Г13НЗ	Наплавка изношенных участков и заварка дефектов литых железнодорожных крестовин и других деталей из стали типа 110Г13Л 23...37 HRC (23)



Продолжение табл. 3.9

1	2	3
<i>Вторая группа</i>		
ОЗШ-1	Э-16Г2ХМ	Наплавка молотовых и высадочных штампов. 320...365 НВ (20; 33)
УОНИ-13/НЖ, 20Х13	Э-20Х13	Наплавка штампов холодной и горячей (до 400 °С) обрезки, быстроизнашиваемых деталей машин и оборудования. 41,5...49,5 HRC (20; 33-35)
ОЗШ-3	Э-37Х9С2	Наплавка обрезных и вырубных штампов холодной и горячей (до 650 °С) штамповки, быстроизнашиваемых деталей машин и оборудования. 53...59 HRC (20; 31-35)
ОЗШ-7	5Х10С3М	Наплавка кузнечно-штамповочной оснастки, работающей при температурах до 650 °С. > 56 HRC (32-35)
ОЗШ-2	10Х5М10В2Ф	Наплавка штампов горячей штамповки. > 57 HRC (33)
ЭН-60М	Э-70Х3СМТ	Наплавка штампов всех типов, работающих при температуре до 400 °С, быстроизнашиваемых машин и оборудования. 53...61 HRC (18; 19; 25)
ОЗИ-3	Э-90Х4М4ВФ	Наплавка штампов холодной и горячей (до 650 °С) штамповки, быстроизнашиваемых деталей машин, горно-металлургического и станочного оборудования. 41,5...49,5 HRC (33)

Продолжение табл. 3.9

1	2	3
<i>Третья группа</i>		
ОЗН-6	90Х4Г2СЗР	Наплавка быстроизнашиваемых деталей горнодобывающих и строительных машин и металлургического оборудования. > 58 HRC (1–4; 9)
ОЗН-7	75Х5Г4СЗРФ	Наплавка быстроизнашиваемых деталей преимущественно из стали 110Г13Л. > 56 HRC (10–14)
ОЗН-7М	75Х5Н2СФР	Наплавка быстроизнашиваемых деталей преимущественно из стали 110Г13Л. > 56 HRC (10–14)
ВСН-6	Э-110Х14В13Ф2	Наплавка быстроизнашиваемых деталей из углеродистых и высокомарганцовистых сталей. 51...56,5 HRC (22; 18; 19)
ЭНУ-2	360Х15ГЗР	Наплавка быстроизнашиваемых стальных и чугуновых деталей (ударные нагрузки умеренные). > 58 HRC (2; 27)
Т-590	Э-320Х25С2ГР	Наплавка быстроизнашиваемых стальных и чугуновых деталей (ударные нагрузки минимальные). 58...64 HRC (1; 7; 6)
Т-620	Э-320Х23С2ГТР	Наплавка быстроизнашиваемых стальных и чугуновых деталей (ударные нагрузки умеренные). 56...63 HRC (6; 18; 19)
<i>Четвертая группа</i>		
ОЗИ-5	Э-10К18В11М10Х3СФ	Наплавка металлорежущего инструмента и штампов горячей (до 800...850 °С) штамповки. 63...67 HRC (32; 33)

*Продолжение табл. 3.9*

1	2	3
ОЗИ-6	110Х4М8В2СФ	Наплавка при изготовлении металло-режущего инструмента, ремонте тяжело нагруженных штампов холодной и горячей (до 650 °С) штамповки. 59...64 HRC (31–33; 35)
ЦН-6Л	Э-08Х14Н8С6Г	Наплавка уплотнительных поверхностей деталей арматуры котлов, работающих при температурах до 570 °С и давлении до 78 МПа. 29,5...39 HRC (38; 39)
ЦН-12М-67	Э-13Х16Н8М5С5Г4Б	Наплавка уплотнительных поверхностей деталей арматуры энергетических установок, работающих при температурах до 600 °С и высоких давлениях. 39,5...51,5 HRC (39; 40)
ОЗШ-6	10Х3ЗН11МЗСГ	Наплавка кузнечно-штамповочной оснастки холодного и горячего деформирования металлов, быстро изнашиваемых деталей металлургического, станочного и другого оборудования, работающего в тяжелых условиях термической усталости (до 950 °С) и больших давлений. 52...60 HRC (32; 33)
ОЗШ-8	11Х31МЗГСЮФ	Наплавка кузнечно-штамповочной оснастки горячего деформирования металлов, работающих в сверхтяжелых условиях термической усталости (до 1100 °С) и больших давлений. 51...57 HRC (32–35)

К группе электродов для сварки и наплавки чугуна относятся электроды, предназначенные для устранения дефектов в чугунных отливках с помощью холодной сварки и наплавки, а также электроды, используемые

при ремонте вышедшего из строя оборудования и восстановлении изношенных деталей. В ряде случаев электроды могут быть применены при изготовлении сварно-литых конструкций. Электроды для холодной сварки и наплавки чугуна не стандартизованы, и их производят по отдельным техническим условиям. Они позволяют получать наплавленный слой (металл шва) с заданными свойствами в виде стали, сплавов на основе меди, никеля, железоникелевого сплава. В табл. 3.10 приведены электроды для сварки и наплавки серого, ковкого и высокопрочного чугунов. Для холодной сварки и наплавки чугуна характерен процесс с минимальным тепловложением короткими валиками протяженностью 25...60 мм с охлаждением каждого валика на воздухе до температуры  $\leq 60^\circ\text{C}$ . Иногда рекомендуется проковка каждого валика легкими ударами молотка.

В табл. 3.11 представлены электроды, которые применяются для сварки и наплавки алюминиевых, медных и никелевых сплавов.

**3.10. Электроды для сварки и наплавки серого, ковкого и высокопрочного чугунов, выпускаемые АО «Спецэлектрод»**

Марка электрода	Тип наплавленного металла. Химический состав, мас. %	Основное назначение	Особенность наплавленного металла
1	2	3	4
ЦЧ-4	Сталь легированная (0,13 C; 0,9 Mn; 0,5 Si; 8,6 V; остальное Fe)	Сварка и заварка дефектов литья в деталях из серого, ковкого и высокопрочного чугунов. Сварка серого и высокопрочного чугунов со сталью	—
ОЗЧ-2	Сплав на медной основе (1,8 Mn; 0,2 Si; 2,0 Ni; 10,0 Fe)	Сварка, наплавка и заварка отливок из серого и ковкого чугунов	
ОЗЧ-6	Сплав на медной основе (0,05 C; 1,1 Mn; 0,3 Si; 1,2 Ni; 0,7 Cr; 10,0 Fe; 0,2 B)	Сварка деталей (предпочтительно тонкостенных) из серого и ковкого чугунов	

Продолжение табл. 3.10

1	2	3	4
МНЧ-2	Сплав медно-никелевый (2,2 Мп; 66,0 Ni; 2,9 Fe; остальное Cu)	Сварка, наплавка и заварка отливок из серого, ковкого и высокопрочного чугунов	Высокая технологичность при обработке резанием. Коррозионная стойкость в жидкостных агрессивных средах и горячих газах
ОЗЖН-1	Сплав железоникелевый (0,1 С; 0,4 Мп; 0,6 Si; 48,0 Ni; следы Al; остальное Fe)	Сварка, наплавка и заварка отливок из серого и высокопрочного чугунов	Близость по цвету к основному металлу
ОЗЖН-2	Сплав железоникелевый (0,08 С; 1,0 Мп; 1,0 Si; 2,0 Мо; 27,0 Ni; 3,5 Со; 5,0 Cr; 1,3 W; остальное Fe)	Сварка, наплавка и заварка дефектов литья в деталях из серого и высокопрочного чугунов	—
ОЗЧ-3	Сплав на никелевой основе ( $\geq 99,0$ Ni; $\leq 0,04$ С; $\leq 0,1$ Мп; $\leq 0,14$ Si; $\leq 0,06$ Cu; $\leq 0,1$ Fe)	То же	Высокая технологичность при обработке резанием
ОЗЧ-4	Сплав на никелевой основе (0,3 С; 0,05 Мп; 0,5 Si; 1,5 Cu; 0,5 Fe)	Сварка, наплавка и заварка дефектов литья в деталях из серого и высокопрочного чугунов	Стойкость в условиях трения металла о металл и к воздействию ударных нагрузок

### 3.11. Электроды для сварки и наплавки алюминиевых, медных и никелевых сплавов, выпускаемые АО "Спецэлектрод"

Марка электрода	Химический состав наплавленного слоя, мас. %	Основное назначение
1	2	3
<i>Электроды для сварки и наплавки алюминия и его сплавов</i>		
ОЗА-1	0,4 Si; 0,2 Ti; Cu – следы; 0,1 Fe; Al – основа	Сварка и наплавка технически чистого алюминия
ОЗА-2	5,0 Si; 0,2 Ti; 0,1 Fe; Al – основа	Заварка дефектов отливок, наплавка изделий из алюминиево-кремнистых сплавов
ОЗАНА-1	$\leq 0,5$ Si; $\leq 0,2$ Fe; Al – основа	Сварка и наплавка изделий из технически чистого алюминия
ОЗАНА-2	$\leq 5,0$ Si; $\leq 0,2$ Fe; Al – основа	Заварка дефектов отливок, наплавка изделий из алюминиево-кремнистых сплавов
<i>Электроды для сварки и наплавки меди и ее сплавов</i>		
Комсомолец-100	5,1 Mn; 0,75 Si; 0,8 Fe; Cu – основа	Сварка и наплавка технически чистой меди
АНЦ/ОЗМ-2	0,16 Mn; 0,06 Si; $\leq 0,005$ Ti; 0,19 Al; $\leq 0,15$ Fe; Cu – основа	Сварка и наплавка технически чистой меди, содержащей $\leq 1\%$ O <sub>2</sub>
АНЦ/ОЗМ-3	$\leq 0,4$ Mn; $\leq 0,15$ Si; $\leq 0,15$ Al; $\leq 0,15$ Fe; $\leq 0,03$ B; Cu – основа	
АНЦ/ОЗМ-4	$\leq 0,2$ Mn; $\leq 0,05$ Si; $\leq 0,2$ Al; $\leq 0,3$ Fe; $\leq 0,02$ B; Cu – основа	
ОЗБ-2М	1,0 Mn; 0,8 Ni; 0,5 Fe; 6,0 Sn; 0,35 P; Cu – основа	Сварка и наплавка бронз, заварка дефектов бронзовых и чугуновых отливок
ОЗБ-3	0,7 Si; 2,5 Ni; 1,0 Cr; Cu – основа	Изготовление и восстановление электродов машин контактной сварки ручной дуговой наплавкой

Продолжение табл. 3.11

1	2	3
<i>Электроды для сварки и наплавки никелевых сплавов</i>		
ОЗЛ-32	0,07 C; 1,8 Mn; 1,2 Si; 65 Ni; 1,1 Ti; 0,3 Al; 1,8 Fe	Сварка технически чистого никеля, наплавка коррозионно-стойких слоев на углеродистые высоколегированные коррозионно-стойкие стали. Сварка никеля с углеродистыми и высоколегированными коррозионно-стойкими сталями
В-56У	0,03 C; 4,1 Mn; 0,3 Si; 65 Ni; 0,2 Ti; 0,2 Al; 0,9 Fe	Сварка монель-металла, наплавка коррозионно-стойкого слоя на углеродистую сталь. Сварка двухслойных сталей (Ст-3сп + монель-металл) со стороны коррозионно-стойкого слоя. Сварка монель-металла с углеродистой сталью

**Наплавочные прутки.** Прутки применяют в основном для газопламенной и аргонодуговой наплавки в качестве присадочных материалов без приложения к ним электрического напряжения. Прутки получают литьем. Их изготавливают диаметром 4; 6; 8; 10; 12; 14 и 16 и длиной 250; 300; 350; 400; 450 и 500 мм.

Литые прутки используют также для изготовления покрытых электродов для ручной дуговой наплавки (табл. 3.12), например марки ГН-1 со стержнем из сплава Сормайт и ЦН-2 со стержнем из стеллита ВЗК.

### 3.12. Химический состав литых прутков для наплавки

Марка сплава	Содержание, мас. %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Co	Fe
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сормайт прутковый	2,5...3,3	2,8...3,5	1,5	25...31	3...5	—	—	Основа
НХН-1	0,5...1,2	1,5...2,5	0,5	35...40	50...60	—	—	< 5

Продолжение табл. 3.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
В2К	1,75...2,25	1...2	—	28...32	< 2	14...17	48...53	< 3
В3К	0,9...1,3	1,75...2,75	—	28...32	< 2	4...5	58...63	< 3

Литые прутки для износостойкой наплавки подразделяют на четыре группы: сормаиты (сплавы на железохромовой основе с марганцем и никелем); стеллиты (сплавы на основе кобальта); релиты (литые карбиды вольфрама); сталиниты (сплавы на железоуглеродистой основе, содержащие 24...26 % Cr, 6...9 % Mn, до 3 % Si и 7...10 % графита). Характеристики некоторых марок прутков приведены в табл. 3.13.

### 3.13. Прутки для износостойкой наплавки неплавящимся электродом

Марка (тип) прутка	Твердость покрытия	Область и особенности применения (индекс по табл. 3.3)
1	2	3
Сормаиты: ПР-С27 (ПРН-У20Х17Н2) ПР-С1 (ПРН-У30Х27Н4С3) ПР-С2 (ПРН-У20Х17Н2)	$\geq 52$ HRC $\geq 50$ HRC $\geq 44$ HRC	Абразивное изнашивание с умеренными ударными нагрузками (1; 2; 6; 7)
Стеллиты: ПР-В3К (ПРН-У10ХК63В5)  ПР-В3К-Р (ПРН-У20ХК57В10)  ПР-В3В16К	$\geq 40$ HRC $\geq 45$ HRC 54...60 HRC	Абразивное и эрозионное изнашивание при температуре до 750 °С (6; 38; 39) Абразивное и эрозионное изнашивание при температуре до 800 °С (5; 38–40) Абразивное изнашивание с умеренными ударными нагрузками



*Продолжение табл. 3.13*

1	2	3
Релиты: ТЗ-25-7  ТЗ-11-5 ТЗ-6-6 ТЗ-4-3	2100...2800 НВ	Очень высокая износостойкость в условиях абразивного изнашивания (1; 2; 15)
Сталинит М	350...580 НВ	Для наплавки рабочих органов почвообрабатывающих машин. Образует микроструктуру легированного белого чугуна (7; 8)
Ultramax 111 (Швейцария)	2500...3000 НВ	Абразивное изнашивание
Ultimium 8811 (Швейцария)		Высокое сопротивление деформации
Drutek 8800 (Швейцария)		Механическое изнашивание с наличием ударов
Castolin 186FC (Швейцария)	240...270 НВ	Высокая износостойкость, низкий коэффициент трения

Присадочные прутки, используемые при сварке чугуна, в зависимости от назначения (ГОСТ 2671-70) имеют марки ПЧ1, ПЧ2, ПЧН1, ПЧН2, ПЧИ и ПЧВ.

Применяют также прутки из керамических материалов. Для наплавки рабочих поверхностей из легированных металлов используют керамические стержни ЦСК-3-Х13, ЦСН-80ЧГС в сочетании с электродной проволокой, например Св-08А.

### 3.2.5. Порошки

Промышленное применение порошковых сплавов для нанесения защитных покрытий развивается начиная с 40-х годов прошлого столетия, когда впервые покрытия были использованы для деталей военной техники. В настоящее время номенклатура порошковых материалов для наплавки и напыления весьма разнообразна. Она включает металличе-

ские и композиционные порошки, порошковые смеси, тугоплавкие соединения (рис. 3.6).

В табл. 3.14 приведен состав *порошков чистых металлов*, изготовленных в странах СНГ. В процессах восстановления и упрочнения деталей порошки чистых металлов находят ограниченное применение. Как правило, эти порошки обладают удовлетворительными технологическими свойствами, но имеют высокую стоимость.

Распространенными порошковыми материалами являются *порошки сплавов*, получаемые распылением в защитной атмосфере расплава. В разное время НПО "Тулачермет" и Торезский завод наплавочных твердых сплавов выпускали порошки износостойких чугунов, инструментальных и конструкционных сталей, нержавеющей сталей и медных сплавов. Аналогичные порошки производят фирмы «Sulzer Metco» (Швейцария), «Castolin» (Швейцария), «Höganäs» (Швеция), «Kobe Steel» (Япония), «Leybold-Heraeus GMBH» и др.

В табл. 3.15 представлены марки порошков высокоуглеродистых легированных сплавов. Эти наплавочные сплавы применяются для упрочнения и восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин, деталей систем гидравлических приводов и др. Они наносятся плазменной и индукционной наплавкой. Сплавы ПР-Х30ГСР и ПР-ФМИ могут также наплавляться газопламенной горелкой с добавлением флюса в ее факел.



Рис. 3.6. Классификация порошков, применяемых для нанесения покрытий

## 3.14. Порошки чистых металлов

Марка порошка	Химический состав, мас. %	Характеристика
ПАД ТУ 48-01-82-71	< 99,0 Al	Коррозионно-стойкие покрытия
АСД-Т ГОСТ 5.16667-81	> 99,0 Al	
ПТС; ПТК; ПТМ; ТУ 15-1958	98,98...99,0 Ti	Коррозионно-стойкие покрытия химического оборудования
ПХ1; ПХ2 ТУ 14-1-1474-75	98,8...99,5 Cr	Износо- и жаростойкие покрытия до 1000 °С
ПЖ0	> 99,0 Fe	Восстановление изношенных деталей электроконтактной приваркой как без добавок, так и вместе с тугоплавкими соединениями
ПЖ1; ПЖ2	> 98,8 Fe	
ПЖ3 ГОСТ 9849-86	> 98,5 Fe	
ПК-1; ПК-2 ГОСТ 9721-79	98,2...99,2 Co	Электропроводящие, антистатические слои, магнитное экранирование
ПНЭ-1; ПНЭ-2 ГОСТ 9722-97	99,3...99,5 Ni	Износостойкие слои на деталях из алюминиевых сплавов. Подслой для износостойких покрытий из керамики
ПМС-В; ПМС-ВУ ГОСТ 4960-75	> 99,5 Cu	Электропроводящие декоративные покрытия
ПВП-1; ПВП-2 ТУ 48-19-71-78	> 98,0 W	Высокая прочность сцепления с керамическими поверхностями. Высокая жаропрочность, стойкость к искровой коррозии, к коррозии в расплавах меди и цинка

## 3.15. Порошки на основе высокоуглеродистых легированных сплавов

Марка	Состав, мас. %	T <sub>пл</sub> , °C	HRC	Свойства покрытий
ПГ-C27	Fe – основа; 3,9 C; 26 Cr; 1,5 Si; 1,7 Ni; 1,1 W	1280...1320	59	Высокая износостойкость при абразивном изнашивании
ПГ-C1	Fe – основа; 2,9 C; 29 Cr; 3,5 Si; 4,2 Mn; 4 Ni		51	
ПГ-УС25	Fe – основа; 4,9 C; 38 Cr; 2,1 Si; 2,5 Mn; 1,4 Ni		55	
ПГ-ФБХ6-2	Fe – основа; 4,5 C; 34 Cr; 1,7 Si; 2,7 Mn; 1,6 В		52	
ПР-ЧН15Д7	Fe – основа; 2,6 C; 1,7 Cr; 2,2 Si; 1 Mn; 15 Ni; 6,5 Cu	Нет сведений	40...50	Хорошая износостойкость при повышенной температуре
ПР-Х30СРНД	Fe – основа; 4,9 C; 30 Cr; 3,2 Si; 1 Mn; 1,4 Ni; 2 В	1240...1260	59	Износостойкость в сочетании с жаростойкостью
ПР-Х30ГСР	Fe – основа; 30 Cr		58	
ПР-ФМИ	Fe – основа; 3,5 C; 2,5 Si; 12 Mn; 3 В	1200...1240	55	Высокая износостойкость

В табл. 3.16 приведены распространенные марки порошков инструментальных и конструкционных сталей. Эти порошки применяют для восстановления режущего, штамповочного инструмента горячего и холодного деформирования, валков горячей прокатки, прессового инструмента, плунжеров, роликов, ножей блюминга, рабочих органов землеройного оборудования. Наносят их плазменным напылением и наплавкой.

Порошки коррозионно-стойких сталей и сплавов рассмотрены в табл. 3.17. Указанные порошки применяют для уплотнительных и защитных слоев на деталях двигателей внутреннего сгорания, вентиляторов, валов, подшипников энергетического и химического оборудования. Порошки наносят плазменным напылением и наплавкой.

Порошки медных сплавов представлены в табл. 3.18. Их используют для исправления дефектов бронзовых отливок, восстановления и изготовления вкладышей подшипников скольжения, уплотнений компрессоров, деталей судовых механизмов. Наносят эти порошки газотермическим напылением и наплавкой.

### 3.16. Порошки инструментальных и конструкционных сталей на железной основе

Марка	Химический состав, мас. %	Свойства покрытий
<b>ПР-10P6M5</b>	1 С; 6,5 W; 5,2 Мо; 4,1 Cr; 1,9 V	Высокая износостойкость в сочетании с высокой прочностью и ударной вязкостью
<b>ПР-P0M6Ф3</b>	1,1 С; 6,2 Мо; 4,2 Cr; 2,6 V	
<b>ПР-P0M6Ф1</b>	0,7 С; 6,2 Мо; 4,2 Cr; 1 V	
<b>ПР-17X5B3MФ5C</b>	1,7 С; 3,1 W; 0,4 Мо; 5,4 Cr; 5,1 V; 2,4 Si	Высокая износостойкость в условиях воздействия механических нагрузок, абразива и повышенных температур
<b>ПР-22X6BMФ8C</b>	2,1 С; 1 W; 0,4 Мо; 5,9 Cr; 7,8 V; 1,4 Si	
<b>ПР-X3BMФ5C</b>	1,7 С; 1,5 W; 1,4 Мо; 2,9 Cr; 5,1 V; 0,8 Si	
<b>ПР-X12MФ</b>	1,5 С; 0,5 Мо; 11,9 Cr; 0,2 V	
<b>ПР-X12MФ3Т</b>	3,9 С; 26 Cr; 1,5 Si; 1,7 Ni; 0,3 W; 1,1 Мо	Термическая устойчивость в сочетании с высокой ударной вязкостью
<b>ПР-25X5MФC</b>	2,9 С; 29 Cr; 0,8 Si; 4,2 Mn; 4 Ni	
<b>ПР-30X4B2M2ФC</b>	0,3 С; 2,7 W; 3,5 Мо; 4 Cr; 0,5 V; 0,8 Si	
<b>ПР-0X7H8M6C</b>	0,006 С; 7,5 Мо; 6,7 Cr; 0,4 V; 0,8 Si	Высокая износостойкость при температуре до 700 °С. Повышенная вязкость и износостойкость при трении и работе с ударами
<b>ПР-25X10Г10Ю</b>	0,25 С; 10 Cr; 0,4 Si; 10,2 Mn; 0,2 Al	
<b>ПР-65X25Г13НЗ</b>	0,6 С; 24,5 Cr; 13 Mn; 3 Ni	

## 3.17. Порошки коррозионно-стойких сталей и сплавов

Марка	Химический состав, мас. %	Свойства покрытий
ПР-Х18Н9	18 Cr; 9,5 Ni; Fe – основа	Износостойкость и высокая устойчивость к химической коррозии в воде и агрессивных жидкостях, стойкость к кавитации, хорошая сопротивляемость изнашиванию потоком абразивных частиц при 500...550 °С
ПР-06ХН28МДТ	23,5 Cr; 27,5 Ni; 3 Mo; 1 Ti; 3 Cu; Fe – основа	
ПР-04Х19Н9Ф2С2	19 Cr; 11 Ni; 2,5 Mo; Fe – основа	
ПР-08Х19Н9Ф2С2	19 Cr; 9 Ni; 2 V; 1,6 Si; Fe – основа	
ПР-10Х16Н25АМ6	16 Cr; 25 Ni; 6,7 Mo; 0,5 N; Fe – основа	
ПР-Х20Н80	20,5 Cr; Ni – основа	

## 3.18. Порошки медных сплавов

Марка	Химический состав, мас. %	Свойства покрытий
ПР-БрАЖНМц8,5-4-5-1,5	8,5 Al; 4 Fe; 4,8 Ni; 1,4 Mn; Cu – основа	Антифрикционные свойства в сочетании с хорошей износостойкостью в условиях смазки маслом или без нее и скольжения с возможным внедрением абразивных частиц
ПР-БрАЖНМц8,5-1,5-5-1,5	8,5 Al; 1,2 Fe; 4,8 Ni; 1,4 Mn; Cu – основа	
ПР-БрОН8,5-3	8,5 Sn; 3 Ni; Cu – основа	
ПР-БрКМц3-1	3 Si; 1,3 Mn; Cu – основа	
ПР-МН40	1,8 Al; 1,5 Fe; 41 Ni; 1,1 Mn; 0,3 Ti; Cu – основа	
ПР-АМц9-2	9 Al; 2 Mn; Cu – основа	
ПР-БрОЦС5-5-5	5 Sn; 5 Zn; 5 Pb; Cu – основа	
ПР-БрА7Н6Ф	7 Al; 5,5 Ni; 1 P; Cu – основа	
ПР-БрА8,5	8,5 Al; Cu – основа	

*Самофлюсующиеся порошки* получили наибольшее распространение в практике восстановительно-упрочняющих технологий. Особое преимущество материалов этого класса состоит в том, что качественное оплавление покрытия происходит без применения дополнительных флюсов или защитных сред. Химический состав сплавов обеспечивает пониженную температуру плавления, расплав хорошо смачивает наплавляемую поверхность, удаляет оксидные пленки, частично растворяет подложку, что в конечном итоге приводит к формированию высококачественного покрытия с минимальной пористостью, высокой прочностью сцепления с основой и ровной, гладкой поверхностью. Основными элементами, обеспечивающими самофлюсование сплава, являются бор и кремний. Эти элементы имеют высокое сродство к кислороду. При взаимодействии с оксидами они ведут себя как энергичные восстановители, образуя  $B_2O_3$  и  $SiO_2$  в виде стекловидного шлака на поверхности, защищая таким образом металл от окисления. Помимо флюсования бор и кремний улучшают жидкотекучесть и уменьшают поверхностное натяжение расплава. В настоящее время выпускают самофлюсующиеся порошки на основе кобальта, никеля и железа. Есть сведения о самофлюсующихся порошках на основе меди.

Порошки, предназначенные для нанесения защитных покрытий наплавкой и напылением с последующим оплавлением, являются специфическим продуктом порошковой металлургии. Технологические особенности метода нанесения покрытия обуславливают следующие требования к наплавочным порошкам.

1. Температура плавления порошка, значительно более низкая, чем материала детали. Как правило, для стальных деталей она составляет 950...1200 °С. В этом случае не происходит пережога и оплавления материала детали.

2. Высокая нвплавляемость порошка, обусловленная способностью удалять оксидные пленки с подложки, хорошо смачивать ее и формировать беспористое (малопористое) покрытие.

3. Высокая текучесть порошка для обеспечения бесперебойной его подачи дозирующими системами в зону наплавки. Высокая текучесть характерна для порошков, имеющих сферическую форму частиц.

4. Однородность фракционного состава и высокая устойчивость против сегрегации. В противном случае покрытие формируется со значительной неоднородностью химического и фазового составов, а следовательно, и эксплуатационных свойств.

5. Близость теплофизических характеристик материала порошка и материала подложки, в частности коэффициента линейного расширения.

Иначе при охлаждении наплавленного покрытия возникают значительные растягивающие напряжения и существует опасность растрескивания покрытия.

6. Заданный комплекс эксплуатационных свойств наплавленного покрытия (твердость, износ- и коррозионная стойкость и т.д.) при достаточной обрабатываемости резанием (точением, шлифованием).

Наиболее полно указанным требованиям отвечают самофлюсующиеся сплавы. Самофлюсующимися их называют потому, что они могут быть оплавлены в окислительной или нейтральной атмосфере в плотное, беспористое покрытие.

Наиболее распространенными самофлюсующимися порошками являются сплавы на основе никеля, легированные бором и кремнием. Они отличаются высокими технологическими свойствами и низкой температурой плавления, что позволяет наплавлять стальные детали на воздухе. Покрытия стойки к воздействию агрессивных сред, повышенных температур, изнosoустойчивы при трении по металлу со смазкой и без нее, а также при абразивном изнашивании. По уровню износостойкости покрытия из самофлюсующихся сплавов в 3...5 раз превосходят закаленные инструментальные стали. По американской спецификации эти сплавы имеют торговое название Колмоной, а сплавы подобного типа в Японии называются Фукудалои.

В табл. 3.19–3.21 представлены марки и области применения самофлюсующихся порошков на никелевой основе, в разное время выпускавшихся в СНГ и за рубежом.

Самофлюсующиеся порошки на основе кобальта обладают повышенной коррозионной стойкостью и устойчивостью против трещинообразования. Одним из распространенных в СНГ порошков этого вида является порошок ПГ-10K01 (ТУ 48-4206-156–82). Его химический состав (мас. %): 35...39 Co; 28...32 Ni; 23...25 Cr; 1,2...1,8 B; 1,3...1,7 C; 0,8...1,3 W; 0,1 Fe. Высокая стоимость самофлюсующихся порошков на основе кобальта ограничивает их применение.

Наряду с неоспоримыми преимуществами самофлюсующимся порошкам на никелевой основе присущ ряд серьезных недостатков, значительно снижающих эффективность восстановления деталей. Рассмотрим их.

1. Высокая стоимость, обусловленная применением дорогостоящего металла основы – никеля. Высокий комплекс защитных свойств покрытий из никелевых самофлюсующихся порошков зачастую избыточен. Высокие коррозионная, жаро- и теплостойкость часто остаются невостребованными.



## 3.19. Самофлюсующиеся порошки на никелевой основе стран СНГ

Марка порошка	Производитель, стандарт, технические условия	Химический состав, мас. %	Твердость покрытий, HRC	Температура плавления, °C
1	2	3	4	5
НП-Н80Х13С2Р	НПО «Тулачермет» ТУ 147-1-3758-84	0,3 C; 13,0 Cr; 2,4 Si; 1,5 B; до 5 Fe	29...34	1070
НП-Н77Х15С3Р2		0,5 C; 15,0 Cr; 3,2 Si; 2,0 B; до 5 Fe	37...42	1050
НП-Н73Х16С3Р3		0,7 C; 16,0 Cr; 3,2 Si; 2,7 B; до 5 Fe	47...52	
НП-Н70Х17С4Р4		1,0 C; 17,0 Cr; 4,1 Si; 3,6 B; до 5 Fe	55...59	990
НП-Н67Х18С5Р4		1,2 C; 17,5 Cr; 4,5 Si; 4,3 B; 1,0 Mn; до 5 Fe	60...62	1000
НП-Н65Х25С3Р3		1,2 C; 25 Cr; 2,7 Si; 2,5 B; 0,2 Mn; до 5 Fe	45...51	
НП-Н68Х21С5Р		0,4 C; 21,0 Cr; 4,5 Si; 1,1 B; до 5,5 Fe	44...50	1050
НП-СР2	ГОСТ 21448-75	0,3 C; 13,5 Cr; 2,5 Si; 1,8 B; до 5 Fe	40...45	
НП-СР3		0,5 C; 15,0 Cr; 3,0 Si; 2,4 B; до 5 Fe	50...55	
НП-СР4		0,8 C; 16,5 Cr; 3,7 Si; 3,3 B; до 5 Fe	58...62	990
НП-НХГС4Р3		0,4 C; 6,8 Cr; 4,1 Si; 3,0 B; до 3 Fe		980
НП-НД42СР	ТУ 14-3997-85	0,2 C; 0,9 Si; 1,0 B; 42,5 Cu; до 3 Fe	200 HB	1065

Продолжение табл. 3.19

1	2	3	4	5
СНГН50	ТЗНТС ТУ 48-19-212-76	0,6 C; 14,0 Cr; 3,4 Si; 2,9 B; 1,0 Mn; 3,5 Fe	47...53	Нет сведе- ний
СНГН55		0,85 C; 15,0 Cr; 4,0 Si; 3,6 B; 1,0 Mn; 4,0 Fe	53...58	
ВСНГН35	ТУ 48-19-214-77	45 Ni; 2,9 C; 9,0 Cr; 2,4 Si; 2,2 B; 0,6 Mn; 2,5 Fe; W остальное	56...58	
ВСНГН80		16 Ni; 5,1 C; 2,75 Cr; 0,85 Si; 0,8 B; 0,1 Mn; 0,8 Fe; W остальное	60...62	
НПЧ-1	ТУ 48-19-40-73	0,2 C; 1,4 Si; 1,4 B; 0,4 Fe; 4...5 Cu	190... 230 HB	
НПЧ-2		0,2 C; 2,5 Si; 2,4 B; 0,6 Fe; 4...5 Cu	300... 345 HB	
НПЧ-3		0,2 C; 0,75 Si; 0,8 B; 0,3 Fe; 40 Cu	180... 220 HB	
ПГ-10Н-01	ТУ 48-4206-156-82	0,8 C; 17,0 Cr; 4,2 Si; 3,0 B; 5,0 Fe	55...56	
ПГ-10Н-03		0,1 C; 2,5 Si; 1,6 B; 0,4 Fe	До 20	
ПГ-10Н-04		0,2 C; 2,5 Si; 1,6 B; до 2,0 Fe	230 HB	
ПГ-12Н-01	ТУ 48-4206-156-82	0,6 C; 11,0 Cr; 2...3 Si; 42,0 B; 2,0 Fe	35...40	
ПГ-12Н-02		0,8 C; 13,0 Cr; 3...5 Si; 3,0 B; 4,0 Fe	45...50	
ПГ-12Н-03		1,5 C; 15,0 Cr; 15,0 Si; 3,0 B; 4,0 Fe	55...65	
ПГ-АН3	ИЭС им. Е.О. Патона, ТУ ИЭС 374-83	0,8...1,2 C; 14,0...18,0 Cr; 2...3 Si; 1,0...1,9 B; до 3,0 Fe	35...45	

Продолжение табл. 3.19

1	2	3	4	5
<b>ПГ-АН4</b>	ИЭС им. Е.О. Патона, ТУ ИЭС 374-83	0,8...1,4 C; 14,0...18,0 Cr; 2,5...3,5 Si; 1,5...2,2 В; до 3,0 Fe	40...48	Нет сведе- ний
<b>ПГ-АН5</b>		0,9...1,5 C; 14,0...18,0 Cr; 2,5...3,5 Si; 2,0...3,0 В; до 3,0 Fe	45...55	
<b>ПГ-АН6</b>	ТУ ИЭС 874-83	0,9...1,8 C; 14,0...18,0 Cr; 2,5...3,5 Si; 2,5...3,5 В; до 3,0 Fe	54...55	
<b>ПГ-АН8</b>		1,4...2,0 C; 28,0...32,0 Cr; 2,8...3,5 Si; 3,0...4,5 В; до 3,0 Fe	55...65	
<b>ПГ-АН9</b>		0,5...1,2 C; 6,0...10,0 Cr; 1,5...3,5 Si; 2,8...3,5 В; до 3,0 Fe	48...57	

### 3.20. Самофлюсующиеся порошки на никелевой основе, выпускаемые в странах дальнего зарубежья

Марка порошка	Производитель, стандарт, технические условия	Химический состав, мас. %	Твердость покрытий, HRC	$T_{пл}$ , °C
1	2	3	4	5
<b>MSFN1 1</b>	Япония	0,25 C; 0...10,0 Cr; 1,5...3,5 Si; 1,0...2,5 В; 4 Fe; до 4 Cu	15...30	Нет сведе- ний
<b>MSFN1 2</b>		0,5 C; 9...11 Cr; 2,0...3,5 Si; 1,5...2,5 В; 4 Fe	30...40	
<b>MSFN1 3</b>		0,4...0,9 C; 10,0...15,0 Cr; 3,0...4,5 Si; 2,0...3,0 В; 5 Fe	40...50	
<b>MSFN1 4</b>		0,4...0,9 C; 12,0...17,0 Cr; 3,5...5,0 Si; 2,5...4,0 В; 5 Fe; до 4 Cu; 4 Mo	50...60	

Продолжение табл. 3.20

1	2	3	4	5
MSFN1 5	Япония	0,5...1,1 C; 15,0...20,0 Cr; 2,0...5,0 Si; 3,0...4,5 B; 5 Fe	55...65	Нет сведе- ний
Колмоной 20		0,25 C; 5,0 Cr; 3,0 Si; 1,0 B; 3,5 Fe	15...20	
Колмоной 25		0,25 C; 6,0 Cr; 3,25 Si; 1,25 B; 1,0 Fe	26...31	1120
Колмоной 30		0,3 C; 6,0 Cr; 2,5 Si; 1,60 B; 1,9 Fe	25...30	1085
Колмоной 4		0,45 C; 10,0 Cr; 2,25 Si; 2,0 B; 2,5 Fe	35...40	1108
Колмоной 42A		0,45 C; 10,0 Cr; 2,25 Si; 2,0 B; 2,5 Fe	35...40	1105
Колмоной 42H		0,45 C; 10,0 Cr; 2,75 Si; 2,0 B; 2,75 Fe	40...50	1110
Колмоной 5	США, «Woll Colmonoy»	0,65 C; 11,5 Cr; 3,75 Si; 2,5 B	45...50	1066
Колмоной 52M		0,65 C; 11,5 Cr; 3,75 Si; 2,5 B; 4,25 Fe	45...50	
Колмоной 56		0,70 C; 12,5 Cr; 4,0 Si; 2,75 B; 4,5 Fe	50...55	1050
Колмоной 8		0,95 C; 17,0 Cr; 4,0 Si; 3,3 B; 1,1 Fe	53...58	1080
Колмоной 62		0,7 C; 14,0 Cr; 3,75 Si; 3,0 B; 4,35 Fe	55...60	
Колмоной 6		0,75 C; 13,5 Cr; 4,25 Si; 3,0 B; 4,75 Fe	56...61	1040
Колмоной 69		0,7 C; 14,0 Cr; 3,75 Si; 3,0 B; 4,35 Fe	58...65	
Колмоной 72		0,75 C; 12,0 Cr; 3,6 Si; 2,7 B; 3,5 Fe	58...63	Нет сведе- ний
1-15(1215)	Швеция, «Höganäs»	0,03 C; 2,0 Si; 1,1 B; 0,5 Fe; 20 Cu	15	

Продолжение табл. 3.20

1	2	3	4	5
1-20(1220)	Швеция, «Höganäs»	0,03 C; 2,4 Si; 1,3 B; 0,5 Fe	20	1090
1-25		0 05 C; 3,5 Si; 1,5 B	25	1070
1-30		0,11 C; 2,7 Cr; 2,7 Si; 1,4 B; 08 Fe	30	
1-35		0,17 C; 4,7 Cr; 3,1 Si; 1,5 B; 1,0 Fe	35	
1-38(1240)		0,07 C; 3,0 Si; 2,1 B; 0,2 Fe	38	1000
1-40(1240)		0,25 C; 7,5 Cr; 3,6 Si; 1,6 B; 1,3 Fe	40	1050
1-45(1245)		0,35 C; 8,5 Cr; 3,7 Si; 1,8 B; 1,7 Fe	45	1000
1-50(1250)		0,45 C; 11,0 Cr; 3,9 Si; 2,3 B; 2,5 Fe	50	1015
1-55(1255)		0,70 C; 16,0 Cr; 4,5 Si; 3,4 B; 3,0 Fe; 2,2 Cu; 2,5 Mo	55	1000
1-60 (1260)	0,75 C; 15,0 Cr; 4,3 Si; 3,1 B; 3,5 Fe	60	990	
12C	Швей- цария, «Sulzer Metco»	0,15 C; 10,0 Cr; 2,5 Si; 2,5 B; 2,5 Fe	30	Нет сведе- ний
15E		1,0 C; 17,0 Cr; 4,0 Si; 3,5 B; 4,0 Fe	62	
16C		0,5 C; 16,0 Cr; 4,0 Si; 4,0 B; 2,5 Fe; 3,0 Cu; 3,0 Mo	60	
18C		0,2 C; 18,0 Cr; 3,5 Si; 3,0 B; 2,5 Fe; 40,0 Co; 6,0 Mo	50	
31C		46,0 Ni; 0,5 C; 11,0 Cr; 2,5 Si; 2,5 B; 2,5 Fe; 35,0 карбиды	62/75	
32C		14,0 Ni; 0,1 C; 3,5 Cr; 0,8 Si; 0,8 B; 2,5 Fe; 35,0 карбиды		
34F	33,0 Ni; 0,5 C; 9,0 Cr; 2,0 Si; 2,0 B; 3,5 Fe; 50,0 карбиды			
ХР1	Герма- ния	0,05 C; 10,0 Cr; 2,0 B	40	1050
ХР2		0,05 C; 2,0 B	20	1080
В55-Р		0,03 C; 17,0 Cr; 3,5 B	60	1050
В55-Мо-Р		0,03 C; 17,0 Cr; 3,6 B		

## 3.21. Назначение самофлюсующихся порошков на основе никеля

Область применения, назначение и характеристика	Марка порошка
<i>Наплавка</i>	
На углеродистые, нержавеющие стали и чугуны; для защиты от изнашивания и коррозии; для работы при высоких температурах	ПГ-СР4; ПГ-СР3; ПГ-10Н-01; ПГ-10Н-03; СНГН-55; СНГН-60; ПР-Н67Х18С5Р4; ПГ-Н70Х14С4Р4
При наличии ударных и сдавливающих нагрузок	ПГ-10Н-04; ПГ-10К-01; СНГН-50; ПР-Н80Х13С2Р; ПР-Н77Х15С3Р2; ПР-Н68Х21С5Р; ПГ-СР2
При изнашивании в условиях трения скольжения, эрозии	ПС-10НВК-01
Заварка дефектов чугуна	НПЧ-1; НПЧ-2; НПЧ-3; ПР-НДЧ2СР
Жаропрочные обрабатываемые покрытия	ПР-Н65Х25С3Р3
При интенсивном абразивном изнашивании (необрабатываемые покрытия)	ВСНГН-35; ВСНГН-80; ПР-Н67Х18С5Р4; ПГ-СР4
Для защиты от коррозии	ПГ-СР2; ПГ-10Н-04; ПР-Н80Х13С2Р
<i>Напыление с последующим оплавлением</i>	
На стали и чугуны (низкий коэффициент трения, сопротивление ударам)	ПГ-12Н-01
При трении металла о металл, коррозии, термических ударах	ПГ-12Н-02; ПГ-12НВК-01
При изнашивании (низкий коэффициент трения)	ПГ-12Н-03

2. Низкая трещиностойкость при нанесении покрытий на стальные детали, обусловленная высоким коэффициентом линейного расширения. На практике применяют предварительный подогрев, особенно массивных восстанавливаемых деталей, и контролируемое охлаждение для устранения растрескивания. Это также ограничивает применение покрытий из никелевых самофлюсующихся порошков в условиях термоциклирования.

3. Высокая чувствительность к технологическим режимам нанесения покрытия. Требуемый комплекс свойств покрытия достигается лишь при сохранении однородной мелкодисперсной структуры исходного порошка. Даже незначительный перегрев резко снижает качество покрытия.

4. Трудоемкость последующей механической обработки покрытия. Это значительно повышает стоимость восстановления деталей.

Все это ограничивает применение материалов на основе никеля. В большинстве случаев детали целесообразно наплавлять менее дорогостоящими самофлюсующимися сплавами на железной основе.

Находят применение два типа самофлюсующихся порошков на железной основе:

- *объемно-легированные порошки*, полученные распылением расплава (табл. 3.22);

- *диффузионно-легированные порошки*, полученные методом химико-термической обработки стального или чугунного порошка (табл. 3.23).

Объемно-легированные порошки имеют гетерогенную структуру с равномерным по сечению распределением легирующих элементов. Диффузионно-легированные самофлюсующиеся порошки являются, по сути, композиционными и состоят из металлического ядра и диффузионного боросилицидного слоя, в котором сконцентрированы флюсующе-раскисляющие элементы (рис. 3.7). Повышенная концентрация флюсующе-раскисляющих элементов в поверхностном слое частиц порошка способствует более эффективному раскислению зоны наплавки. Получаемые покрытия имеют гетерогенную структуру (рис. 3.8) и высокие триботехнические свойства.

Специфические свойства присущи *порошкам тугоплавких соединений*. К ним относятся карбиды, оксиды, бориды, нитриды, интерметаллиды и их комбинации. Наиболее часто их применяют для напыления газотермических покрытий. Широко используют оксиды и карбиды.

По сравнению с другими высокотемпературными материалами оксиды имеют наиболее низкую тепло- и электропроводность, но значительную прочность при высоких температурах. Оксиды подразделяются на простые и сложные. Простые представляют собой соединения одного металла с кислородом, а сложные – соединения оксидов двух или более металлов. Наиболее высокие температуры, как правило, могут выдерживать простые оксиды. Сложные оксиды в основном являются тугоплавкими материалами, однако температура плавления их более низкая, чем входящих в них компонентов.

## 3.22. Объемно-легированные самофлюсующиеся порошки на железной основе

Марка порошка	Изготовитель, стандарт	Химический состав, мас. %	Твердость покрытий, HRC	Температура плавления, °C
ПР-Х4Г2Р4С2Ф	НПО «Тулачермет», ТУ 14-22-18-88	3,3...3,4 В; 1,2 С; 2,2 Si; 3,7 Cr; 2,2 Mn; 0,8 V	58...67	1200
БХ	ТЗНТС	7,0...9,0 В; 0,3...1,0 С; 0,5...1,0 Si; 35,0...40,0 Cr	63	Нет све- дений
КБХ	ГОСТ 14546-75	0,7...0,9 В; 4,0...6,0 С; 0,5...1,4 Si; 42...52 Cr	60	
ПР-18Х16Н8Ф3ТР	ТУ 127-161-80	1,5 В; 1,8 С; 16,5 Cr; 7,7 Ni; 7,9 V	Нет све- дений	1145
ПГ-У25Х28Н4С4Р4	ТЗНТС ГОСТ 14546-75	2,5...4,0 В; 2,0...3,0 С; 3,0...4,0 Si; 27,0...29,0 Cr; 3,0...4,0 Ni; 0,5 Mn		Нет све- дений
ПР-10Г10Т11Р5	ТУ 127-161-80	5,0 В; 1,0 С; 10,0 Mn; 3,2 Ti		
ПР-0Х20Н8Т2Ю6Р8		2,6 В; 2,0 Cr; 8,0 Ni; 5,6 Al; 2,3 Ti	52	Нет све- дений
ПГ-ФБХ6-2	ГОСТ 21448-75	2,0 В; 5,5 С; 2,5 Si; 37,0 Cr; 4,0 Mn		
ПГ-АН-1		1,8 В; 2,8 С; 2,5 Si; 32 Cr; 1,5 Mn	54	
ЛГС-1		0,7 В; 1,5 С; 5,0 Si; 2,0 Cr; 4,0 Ni; 4,0 Mn; 2,5 Cu	36...42	
ЛГС-2		0,7 В; 1,5 С; 3,5 Si; 20,0 Cr; 4,0 Ni; 4,0 Mn; 2,5 Cu	42...49	



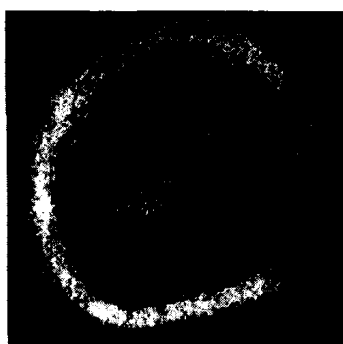
<b>С-300</b>	<b>Моюдеченский завод порошковой металлургии (Беларусь), ТУ 231-130-004-89</b>	<b>3,2 В; 1,2 С; 3,5 Si; 14,0 Cr; 6,0 V</b>	<b>Нет све- дений</b>	<b>Нет све- дений</b>
Колмоной С 290	<b>США</b>	<b>1,5 В; 0,45 С; 13,3 Si; 2,5 Cr; 37,0 Ni</b>	<b>Нет све- дений</b>	<b>1480</b>
Колмоной С 395				
Колмоной С 495				
<b>F303</b>	<b>Япония</b>	<b>0,5 В; 2,0 Si; 13,0 Cr; 37,0 Ni; 5,0 Mo</b>	<b>Нет све- дений</b>	<b>Нет све- дений</b>
<b>F307</b>		<b>0,7 В; 2,0 Si; 13,0 Cr; 37,0 Ni; 4,5 Mo</b>		
<b>A-276</b>		<b>0,007 В; 0,03 С; 0,6 Si; 15,0 Cr; 1,5 Mn; 1,0 Co; 1,2 Mo</b>		
<b>MPAZIS 550</b>	<b>Германия</b>	<b>2,2 В; 4,5 С; 1,0 Si; 45 Cr</b>	<b>60...65</b>	<b>Нет све- дений</b>
<b>СПАУ-1</b>				
<b>СПАУ-2</b>				
<b>СПАУ-3</b>	<b>Болгария</b>	<b>0,5...2,0 В; 1,0...3,0 С; 1,0...4,0 Si; 20,0...26,0 Cr; 1,4 Mn</b>	<b>51...55</b>	<b>Нет све- дений</b>
		<b>1,5...3,5 В; 1,5...2,5 С; 3,0...4,0 Si; 20,0...26,0 Cr; 4,0...6,0 Ni</b>		
		<b>4,0...6,0 Ni</b>		

3.23. Диффузионно-легированные самофлюсующиеся порошки на железной основе

Марка порошка	Химический состав, мас. %	Твердость наплавленных покрытий, HV	Назначение и характеристика
ПЖР-С1 (ТУ 230-130-009-91)	0,02 С; 0,06 Si; 0,02 Mn; 0,5...2,5 В	150...1000	Износостойкие покрытия, полученные электроконтактной приваркой и газопорошковой наплавкой для работы с ударными нагрузками
ПР-45Р4	0,4...0,5 С; 0,1...0,4 Si; 0,4...0,8 Mn; 2,0...5,0 В	400...850	Износостойкие покрытия для условий трения скольжения
ПР-С3 (борированный)	2,8...3,5 С; 1,5...3,0 Si; 0,4...0,8 Mn; 2,0...4,0 В	500...950	Износостойкие, антифрикционные покрытия для работы без ударных нагрузок
ПР-10Р6М5 (борированный)	0,95...1,05 С; 0,5 Si; 0,4 Mn; 2,0...3,5 В; 3,8 Cr; 6,0 W; 5,0 Mo; 0,4 Ni; 1,72...1,0 V	1000...1300	Покрытия для работы в условиях абразивного изнашивания. Инструментальные покрытия повышенной теплоустойчивости
ПР-Х18Н9Р4 (ТУ 230-130-012-92)	0,12 С; 0,8 Si; 1,0 Mn; 2,0...4,0 В; 16...18 Cr; 8...11 V	300...900	Износостойкие покрытия для работы в агрессивных технологических средах. Износостойкие покрытия, полученные лазерной наплавкой
ПР-280Х28Н2Р3	2,8 С; 28 Cr; 2 Ni; 3 В	700...1000	Износостойкие покрытия для условий интенсивного абразивного изнашивания. Наплавка рабочих органов почвообрабатывающих машин
Боромеденная стружка серого чугуна	3,2 С; 1,9 Si; 0,8 Mn; 18 Cu; 1,8 В	100...160	Антифрикционные плазменные покрытия для подшипников скольжения



а)



б)

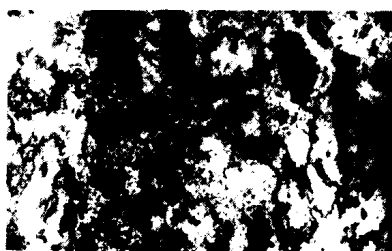
**Рис. 3.7. Микроструктура самофлюсующихся порошков на железной основе (400 $\times$ ):**

а – объемно-легированный распыленный порошок ПР-Х4Г2Р4С2Ф;

б – диффузионно-легированный бором порошок ПР-Х18Н9Р4



а)



б)

**Рис. 3.8. Структуры износостойких и антифрикционных покрытий из диффузионно-легированных сплавов:**

а – плазменная наплавка диффузионно-легированного порошка из стружки серого чугуна (500 $\times$ ); б – электроконтактная приварка диффузионно-легированного

порошка ПЖР-С1 (200 $\times$ )

Не все оксиды при высоких температурах химически устойчивы. В восстановительной среде при высокой температуре оксиды церия, хрома, никеля, олова, титана и цинка легко восстанавливаются и превращаются в металлы или низшие оксиды, имеющие невысокие температуры плавления. Тугоплавкие оксиды ниобия, марганца, ванадия неустойчивы при нагреве в окислительной среде. Они превращаются в оксиды более высокой валентности, имеющие более низкую температуру плавления. При нагреве оксида хрома до 2273 К начинается его активное испарение. Оксиды бериллия, магнезия, циркония и тория устойчивы при высоких температурах (табл. 3.24).

### 3.24. Температура потери устойчивости оксидов при взаимодействии с различными материалами, К

Оксид	C	W	Mo	ThO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	MgO <sub>2</sub>	BeO
BeO	2573	2273	2173	2373	2173	2073	–
MgO	2073	2273	1873	2473	2273	–	2073
ZrO <sub>2</sub>	1873	1873	2473	2473	–	2273	2173
ThO <sub>2</sub>	2273	2473	2173	–	2473	2473	2373

При нагреве диоксида циркония при температуре около 1473 К протекает эндотермическая реакция, сопровождающаяся усадкой из-за структурных превращений. При отжиге диоксида циркония с добавками оксида кальция или оксида магния эти превращения можно подавить. В результате получают стабилизированный диоксид циркония, покрытия из которого обладают большей стойкостью к тепловым ударам и реже отделяются от основы по сравнению с покрытиями из нестабилизированного ZrO<sub>2</sub>.

Порошки из стабилизированного ZrO<sub>2</sub> обеспечивают получение теплозащитных слоев, которые при температуре рабочей среды выше 1273 К снижают температуру металлической поверхности охлаждаемых лопаток газотурбинных двигателей на 30...140° и более. Покрyтия из порошков на основе диоксида циркония стойки в расплавах металлов и защищают поверхности от эрозии частицами при температуре > 1000 К.

Покрyтия из порошков серого оксида алюминия рекомендуются для плазменного напыления антикавитационных покрытий, стойких к эрозии частицами при температуре до 820 К, а также в расплавах металлов (цинка, алюминия и меди). Диоксид титана Metco 102 и композит Metco 111 (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiO<sub>2</sub>) рассчитаны на покрытия, стойкие к абразивному воздействию частицами и твердыми поверхностями при повышенных температурах. Покрyтия из оксида хрома позволяют также защищать детали машин от кавитации и эрозии частицами.

Температура плавления карбидов металлов значительно выше, чем температура плавления металлов. Температуры, при которых карбиды размягчаются, превышают 3273 К. При нагреве в окислительной атмосфере некоторые карбиды могут разрушаться. Однако большинство из

них обладает в этих условиях лучшей жаростойкостью по сравнению с жаростойкими металлами. Значительная часть карбидов имеет большую стойкость к окислению, чем углерод и графит. Эта особенность карбидов и хорошие механические свойства при высокой температуре обеспечивают их использование в качестве жаростойкого покрытия.

Особенно высокой жаростойкостью отличаются карбиды кремния и титана. Почти все карбиды характеризуются высокой теплопроводностью и электропроводностью, а карбиды кремния, титана и вольфрама, обладая особо высокой твердостью, широко применяются при изготовлении режущих и шлифовальных инструментов, а также при напылении с целью повышения износостойкости. Для напыления в основном служат карбиды вольфрама, хрома, титана, циркония и тантала. Наибольшее распространение получил карбид вольфрама. Как напыляемые материалы карбиды нередко используют в смеси со связующим, в качестве которого для карбида вольфрама применяют кобальт (12...17 %), а для карбида хрома – сплавы никеля (15...25 %).

Сочетание положительных свойств различных типов порошков и получение частиц, удовлетворяющих комплексу требований, реализуются в *композиционных порошках*. В зависимости от конструкции различают плакированные и конгломератные композиционные частицы (рис. 3.9). Первые представляют собой исходную частицу одного из материалов, на поверхности которой расположен слой или несколько слоев других материалов. Конгломератная частица сформирована из множества исходных частиц нескольких материалов.

В табл. 3.25 представлены композиционные порошки производства НПО «Тулачермет». Они предназначены для напыления подслоев, получения износостойких слоев на различных деталях. Это экзотермически реагирующие при напылении порошки, образующие соединения никеля с

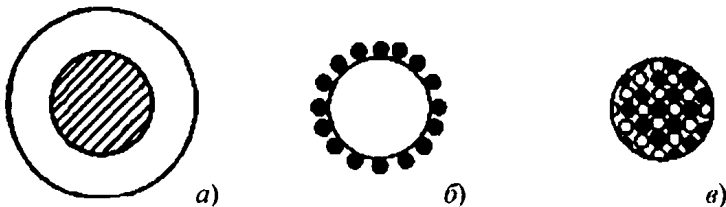


Рис. 3.9. Основные разновидности конструкций частиц композиционных порошков:

а – плакированные; б и в – конгломератные

## 3.25. Композиционные порошки

Марка	Химический состав, мас. %	Твердость, НВ	Прочность сцепления, МПа
ПТ-Ю5Н	Ni + 5,2 % Al	210	55
ПТ-Ю10Н	Ni + 9 % Al	170	
ПТ-ЮХ15СР2	Ni; 0,3 % С; 15 % Cr; 3,1 % Si; 2 % В; 1,2 % Al	360	35
ПТ-ЮХН16СР3	Ni; 0,7 % С; 16 % Cr; 3,2 % Si; 2,6 % В; 1,2 % Al	380	

алюминием. Покрытия отличаются хорошей износостойкостью в сочетании с коррозионной стойкостью и сопротивлением ударным нагрузкам.

Композиционный порошок ПТ-19Н-01, изготовленный на Торезском заводе наплавочных твердых сплавов, получен методом коагломерирования. Он состоит из ядра самофлюсующегося никелевого сплава, покрытого слоем частиц алюминия. При напылении он обладает экзотермическим эффектом. Наплавленный слой устойчив к коррозии и изнашиванию, применяется для восстановления и упрочнения поршней гидравлических машин, шпинделей станков, шеек валов и др.

Как правило, покрытия из порошка ПТ-19Н-01 напыляют на подслои из порошка ПТ-НА-01, который представляет собой композит из ядра никеля, покрытого мелкими частицами алюминия. В результате взаимодействия алюминия с никелем в процессе напыления происходит экзотермическая реакция, улучшающая металлургическую связь напыляемого материала с поверхностью детали. Порошок используют для нанесения подслоя при напылении покрытий из всех порошков сер. 19.

Для восстановления размеров и регулирования зазоров в пневмокомпрессорах, пневматическом, гидравлическом оборудовании, а также при непродолжительной работе при 923...1200 К и термических ударах рекомендуется использовать самосвязывающиеся покрытия из композитного порошка Metco 443. Он состоит из нихрома, коагломерированного с 6 % Al. Покрытие из такого порошка может служить подслоем.

Композитный порошок Metco 445 позволяет получать покрытия типа лучших алюминиевых бронз. Он состоит из смеси порошков меди и

алюминия на органической связке. Стойкость к абразивному изнашиванию покрытия из порошка Metco 445 в 2...3 раза выше, чем из алюминиевой бронзы, полученной распылением, и в 2 раза выше напыленного из проволоки электродуговым способом. Этому способствует высокое содержание в покрытии оксидов и твердых частиц алюминидов меди. Покрытие легко обрабатывается твердосплавными резцами. Материал применяется для повышения износостойкости рабочих поверхностей компенсаторных и уплотнительных колец, ползунов, направляющих штоков поршней гидроцилиндров, штампов, подшипников скольжения. Невысокая прочность сцепления покрытий с подложкой требует применения подслоев.

Эффективной технологией получения композиционных порошков является высокотемпературный синтез тугоплавких соединений в присутствии металла-связки (табл. 3.26).

Наряду с композиционными частицами сочетание положительных свойств различных порошков достигается за счет напыления их *механических смесей*. Торезский завод наплавочных твердых сплавов выпускает смесь ПС-12НВК-01, состоящую из 65 % самофлюсующегося материала ПГ-10Н-01 и 35 % карбида вольфрама. Вначале напыляют подслои ПГ-10Н-01, затем указанную смесь с оплавлением полученного покрытия. Твердость его составляет 57...64 HRC, рабочая температура до 970 К, толщина до 2 мм. Покрытия обладают высоким сопротивлением к истиранию и эрозии при обычных и повышенных температурах. Их применяют для упрочнения и восстановления шнеков, скребков мешалок, режущих инструментов и т.д.

Составы Metco 442 и 444 изготовлены механическим смешением мелких фракций порошков нихрома, молибдена и алюминия. Их рекомендуют для напыления твердых подшипниковых покрытий. Широкое распространение получил порошок Metco 451, который представляет собой механическую смесь порошков никеля, хрома и алюминия, экзотермически реагирующих в процессе плазменного напыления. Покрытия отличаются высокими плотностью, твердостью, износостойкостью, кавитационной, эрозионной и коррозионной стойкостью. Механическая смесь тонких порошков самофлюсующегося никелевого сплава и чистого молибдена (Metco 501) обеспечивает получение покрытий с высокой плотностью, твердостью, износостойкостью. Они хорошо шлифуются, полируются, их можно использовать в подшипниковых соединениях. При напылении составов Metco 451 и 501 необходимо предварительно наносить подслои.

### 3.26. Композиционные порошки, созданные в Белорусском государственном концерне порошковой металлургии

Марка порошка	Химический состав, мас. %	Описание порошка	Область применения
ASCT-50	42...44 Al; 5...6 Si; 8...10 C; >0,5 O; остальное Ti	Каждая частица порошка состоит из большого количества мелких зерен TiC, окруженных алюминиевым сплавом. Порошок получен высокотемпературным синтезом TiC в присутствии алюминиево-кремниевых сплава	Плазменное, детонационное, высокоскоростное газопламенное напыление. Высокая стойкость покрытий к абразивному, эрозионному изнашиванию, низкотемпературной коррозии. Рекомендуется для защиты деталей из алюминиевых и титановых сплавов, восстановления алюминиевых деталей
PSCT-75	21...22 Al; 2...3 Si; 15...17 C; > 0,7 O; остальное Ti	Каждая частица состоит из дисперсных зерен карбида титана, равномерно распределенных в стальной матрице	Высокая стойкость покрытий в условиях абразивного изнашивания и трения скольжения. Относительно низкая стоимость покрытий
FCT-50	48...51 Fe; 9...11 C; > 0,1 O; остальное Ti	Каждая частица состоит из дисперсных зерен карбида титана, равномерно распределенных в стальной матрице	Высокая стойкость к абразивному и эрозионному изнашиванию и высокотемпературной коррозии
FCCT-65	49...52 Ti; 11...13 C; 0...11 Cr; > 0,5 O; остальное Fe	Каждая частица состоит из дисперсных зерен карбида хрома, окруженных нихромом	Высокая стойкость к абразивному и эрозионному изнашиванию и высокотемпературной коррозии
NCC-75	Нет сведений	Каждая частица состоит из дисперсных зерен карбида хрома, окруженных нихромом	Высокая стойкость к абразивному и эрозионному изнашиванию и высокотемпературной коррозии



### 3.2.6. Порошковая проволока, ленты и шнуры

Идея создания трубчатого электрода с сердцевинной из разного типа порошков принадлежит изобретателю дуговой сварки Н.Н. Бенардосу. В настоящее время выпускаются сотни марок различных *порошковых проволок, лент и шнуров*. Важнейшими преимуществами этих материалов являются равномерность подачи присадочного материала в зону наплавки, отсутствие сегрегации порошковых компонентов и широкий диапазон легирования наплавленного слоя или напыленного покрытия.

Порошковая проволока состоит из мягкой тонколистовой металлической оболочки и сердцевинной, которая представляет собой смесь порошков ферросплавов, чистых металлов, карбидов, боридов, раскислителей, шлакообразующих и стабилизирующих горение дуги веществ (рис. 3.10). Наиболее распространенный диаметр порошковой проволоки 2,6...3,6 мм, однако для наплавки крупногабаритных деталей используют проволоку диаметром до 8 мм.

Порошковую проволоку выпускают четырех типов: для наплавки под флюсом, в среде защитных газов, в атмосфере воздуха, универсальную. В странах СНГ изготавливают легированную и высоколегированную порошковую проволоку, обеспечивающую износостойкую и коррозионно-стойкую наплавку (табл. 3.27). Для нанесения слоя бронзы на сталь-

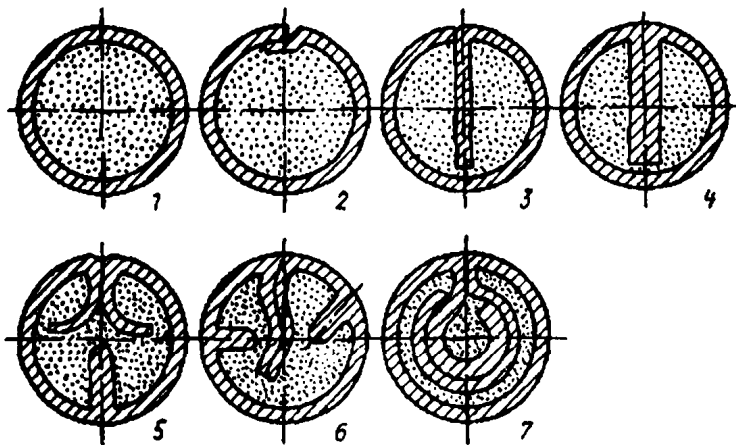


Рис. 3.10. Конструкция порошковой проволоки:

- 1 – с плотным стыком; 2 – со стыком внахлестку; 3 – с одним загибом оболочки; 4 – с двумя загибами оболочки; 5, 6 – сложного сечения; 7 – двухслойная

## 3.27. Марки порошковых наплавочных

Марка (тип или ГОСТ)	Наименование детали (по табл. 3.3)	Режим наплавки		Условия применения
		Постоянный ток обратной полярности, А	Напря- жение, В	
1	2	3	4	5
ПП-Нп-10Х15Н2ГТ (ТУ 14-4-840-77)	28	260...280 в нижнем положении	24...26	Без предваритель- ного подогрева
		220...250 в верти- кальном положении	24...27	
		180...200 в потолочном положении	20...22	
ПП-Нп-70Х4МЗГ4ФТР (ГОСТ 26101-84)	4; 9; 11-14; 16; 17; 42	350...450	32...36	Последующий слой на предыдущий ре- комендуется нано- сить при остывании до 250...150 °С. При большом объ- еме наплавки нано- сить уширенные (25...30 мм) валики длиной ≥ 400 мм
ПП-Нп-14СТ (ГОСТ 26101-84)	18; 19; 21	280...340	24...26	Без предваритель- ного подогрева
ПП-Нп-25Х5ФМСТ (ГОСТ 26101-84)	33; 34	280...320	25...27	Предварительный подогрев до 250... 300 °С. После на- плавки медленное охлаждение со ско- ростью 40...60 °С/ч, отпуск при 400 °С, выдержка 2 ч

## проволок и лент

Химический состав, мас. %	Свойства наплавленного металла				
	Твер- дость, HRC	Износо- стойкость	Сопротив- ление ударам	Термиче- ская выносли- вость	Обрабаты- ваемость
6	7	8	9	10	11
0,1 C; 0,6 Mn; 0,2 Si; 15,0 Cr; 2,0 Ni; 0,2 Ti	240... 260 HB	Высокая стойкость против кавита- ции и коррозии	Высокое	Удовле- твори- тельная	Без затруд- нений
0,7 C; 3,5 Mn; 0,5 Si; 4,0 Cr; 3,0 Mo; 1,0 V; 0,7 B; 0,1 Ti	57...62	Высокая	Удовле- твори- тельное		Шлифо- вание. Резание только после отжига
0,14 C; 0,6 Mn; 0,8 Si; 0,4 Ti	240... 260 HB				
0,25 C; 0,6 Mn; 1,2 Si; 5,0 Cr; 1,2 Mo; 0,4 V; 0,2 Ti	40...46; 47...50 после термо- обра- ботки	Высокая		Очень высокая	Затруд- нена

1	2	3	4	5
ПП-Нп-30Х4ВЗМЗФС (ГОСТ 26101-84)	33; 34	150...200	20...25	Предварительный подогрев до 250... 300 °С, отпуск при 400 °С и медленное охлаждение со ско- ростью 40...60 °С/ч
		210...260	22...27	
		250...300	23...28	
ПП-Нп-30Х4Г2СМ (ГОСТ 26101-84)	21; 25; 26	200...230	24...26	Предварительный подогрев до 250... 300 °С. Рекоменду- ется широкая на- плавка с попереч- ным колебанием электрода
ПП-Нп-30Х5Г2СМ (ГОСТ 26101-84)	18; 22; 25; 30	320...360	25...27	Предварительный подогрев до 250... 300 °С
ПП-Нп-50Х6СГТР (ТУ ИЭС 516-85)	20; 31	180...220	21...24	Предварительный подогрев до 400 °С, одночасовой отпуск при температуре 300...400 °С с после- дующим замедлен- ным охлаждением
		280...320	25...27	
ПП-Нп-40Х4Г2СМНТФ	8; 25; 26	150...300	22...26	При наплавке на углеродистые стали предварительный подогрев до 250... 300 °С
ПП-Нп-40Х7М1ФСТЦ (ТУ ИЭС 311-81)	34; 35	200...220	22...24	Предварительный подогрев до 350 °С, затем медленное охлаждение со ско- ростью 40...60 °С/ч
		220...260	24...26	
ПП-Нп-90Г13Н4 (ГОСТ 26101-84)	10; 11; 13; 14; 23	220...240	20...22	Не допускается чрез- мерный разогрев наплавляемого из- делия. При много- слойной наплавке обязательна про- ковка каждого на- плавленного слоя

Продолжение табл. 3.27

6	7	8	9	10	11
0,35 C; 0,6 Mn; 0,9 Si; 3,8 Cr; 2,8 W; 2,8 Mo; 0,5 V	47...50	Высокая	Удовле- твори- тельное	Высокая	Затруд- нена
0,3 C; 1,6 Mn; 0,8 Si; 4,0 Cr; 0,6 Mo; 0,2 Ti	50...56  28...32 после термо- обра- ботки				
0,3 C; 1,6 Mn; 0,8 Si; 5,0 Cr; 0,6 Mo; 0,2 Ti					Очень высокая
0,5 C; 0,5 Mn; 1,2 Si; 8,0 Cr; 0,2 Ti; 0,7 B	≥ 57				
0,4 C; 1,8 Mn; 1,0 Si; 1,0 Cr; 1,0 Mo; 0,3 V; 1,1 Ni; 0,3 Ti	48...56	Высокая	Высокое	Удовле- твори- тельная	
0,45 C; 0,8 Mn; 1,2 Si; 7,5 Cr; 1,5 Mo; 0,8 V; 0,1 Al; 0,1 Ti; 0,05 Zr	52...56			Высокая	
0,9 C; 13,0 Mn; 0,5 Si; 4,0 Ni	До 20;  40...45 после накле- па			Высокая	

1	2	3	4	5
ПП-Нп-200ХГСР (ТУ ИЭС 435-84)	25; 26	120...140	19...22	Рекомендуется на- плавка в один слой с поперечными ко- лебаниями электрода с максимально воз- можной погонной энергией (изменяет- ся за счет уменьше- ния скорости на- плавки). При увели- чении тока дуги ( $> 220$ А) возможно образование отдель- ных поперечных трещин
ПП-Нп-200Х15С1ГРТ (ГОСТ 26101-84)	9; 12; 13; 17	400...420	28...32	Рекомендуется ши- рокопослойная на- плавка на увеличен- ном вылете с колеба- тельными движе- ниями электродной проволоки. Общая толщина наплавлен- ного слоя $\leq 12$ мм
ПП-Нп-250Х10Б8С2Т (ГОСТ 26101-84)	9; 16; 17	380...420	30...34	Рекомендуется напла- вка на повышенном вылете (70...90 мм) с поперечными колеба- ниями электродной проволоки 30...55 мм. Сварочная ванна — с пониженной жидко- текучестью. Допуска- ется многослойная наплавка отдельных участков толщиной до 40...50 мм
ПП-Нп-350Х10Б8Т2 (ТУ 14-283-16-83)	9; 17; 18	220...650	26...34	При наплавке с колебаниями разма- хом 30...80 мм до- пускается много- слойная наплавка общей толщиной до 20...25 мм, а также повторная наплавка деталей без удаления остатков наплавлен- ного слоя

Продолжение табл. 3.27

6	7	8	9	10	11
2,0...2,2 C; 1,0...1,3 Mn; 0,7...1,1 Si; 0,3...0,5 Cr; 0,06...0,1 B; 0,08...0,12 Ti; 0,15...0,18 Al	48...56	Высокая	Низкое	Удовле- твори- тельная	Шлифо- вание. Резание только после отжига
2,0 C; 1,0 Mn; 1,5 Si; 15,0 Cr; 0,3 Ti; 0,7 B	50...58		Удовле- твори- тельное	Высокая	
2,6 C; 2,0 Si; 10,0 Cr; 8,0 Nb; 1,0 Ti					
3,5 C; 10,0 Cr; 8,0 Nb; 2,0 Ti	54...60	Очень высокая	Низкое		

1	2	3	4	5
ПЛ-Нп-450Х20Б7М6В2Ф (ТУ ИЭС 325-82)	5; 11; 13	750...1000	32...36	Рекомендуется на- плавка с колебатель- ными движениями электрода. Размах 100...500 мм
ПЛ-Нп-10Г2СТ (ТУ ИЭС 353-83)	18; 19; 21; 30	600...900	28...32	Без предварительно- го подогрева
ПЛ-Нп-350Х25С3ГЗМН (ТУ ИЭС 387-83)	1; 5; 10	700...1200		Рекомендуется на- плавка с колебатель- ными движениями электрода. Размах 100...400 мм
ПП-Нп-300Х22МР2Т (ТУ 14-4-80)	4; 9; 18	320...380	30...34	Рекомендуется на- плавка в один слой на повышенном вы- лете (50...70 мм) с поперечными коле- баниями электрод- ной проволоки. При необходимости на- плавки второго слоя нельзя допускать охлаждения предва- рительно наплавлен- ного слоя до темпе- ратуры 400 °С
ПП-Нп-80Х20Р3Т (ГОСТ 26101-84)	9; 17	400...420	30...32	
ПЛ-Нп-500Х40Н40СРГТ (ТУ 14-1-2942-80)	5	650...900	30...34	Рекомендуется на- плавка с колебатель- ными движениями электрода. Размах 100...450 мм
ПЛ-Нп-500Х40Н40СРЦ (ТУ 14-1-2942-80)				



Продолжение табл. 3.27

6	7	8	9	10	11
4,5 C; 20,0 Cr; 2,0 W; 6,0 Mo; 7,0 Nb; 0,8 Ti	58...62	Высокая	Низкое	Высокая	Шлифо- вание. Резание только после отжига
0,1 C; 1,8 Mn; 0,8 Si; 0,2 Ti	20...26	Низкая		Низкая	Удовле- твори- тельная
3,5 C; 2,5 Mn; 3,0 Si; 25,0 Cr; 0,7 Mo; 1,0 Ni	52...58	Высокая	Удовле- твори- тельное	Высокая	Шлифо- вание. Резание только после отжига
3,0 C; 22,0 Cr; 0,8 Mo; 1,8 B; 0,6 Ti	56...63	Очень высокая			
0,8 C; 22,0 Cr; 3,0 B; 0,6 Ti	58...67		Низкое		
5,0 C; 1,0 Mn; 2,5 Si; 40,0 Cr; 40,0 Ni; 0,2 B; 1,0 Ti	48...58	Высокая			
5,0 C; 1,0 Mn; 2,5 Si; 40,0 Cr; 40,0 Ni; 0,2 B; 0,5 Zr					

ные изделия в Институте электросварки им. Е.О. Патона разработана порошковая проволока с медной оболочкой. Например, проволоку ПП-БрАЖ9-4 используют при наплавке в защитном газе, ПП-Бр8-21 – при наплавке под флюсом.

Ленточные электроды позволяют повысить производительность процесса наплавки и уменьшить глубину проплавления основного металла. Холоднокатаную ленту можно изготовить только из пластичных деформируемых сплавов с невысоким содержанием углерода, поэтому изготавливают спеченную и порошковую ленты. *Спеченную металлокерамическую ленту* на железной основе производят из смеси металлических порошков, ферросплавов, графита и других компонентов путем холодной прокатки смеси и последующего спекания в защитной среде. *Порошковую ленту* (рис. 3.11) изготавливают из стальной оболочки и молотых порошков. В отличие от порошковой проволоки ее не подвергают волочению.

Особую группу материалов для газопламенного напыления покрытий составляют *гибкие порошковые шнуры* Сфекорд. Они созданы в 70-х годах XX века французской фирмой "Sfec".

Важными преимуществами проволочного и стержневого процессов по сравнению с порошковым являются нагрев материала до жидкого состояния и нанесение на поверхность изделия покрытий из таких распла-

вленных частиц с высокой скоростью. При напылении некоторых материалов (оксидов) скорость полета частиц достигает 200 м/с. Полученные таким образом покрытия по прочности и плотности не уступают плазменным, а стоимость их ниже плазменных в 2...3 раза.

Использование для напыления материалов в виде шнура диаметром 1,5...6,35 мм, намотанного на бобину, обеспечивает при газопламенном напылении покрытий следующие преимущества: высокую чистоту покрытий;

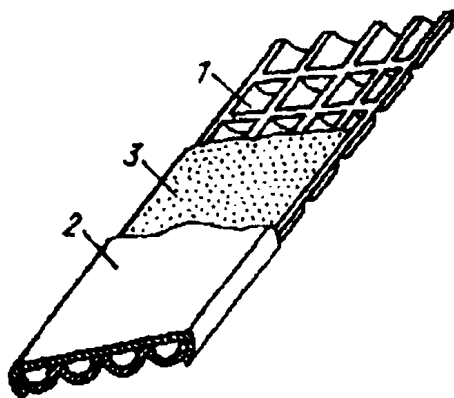


Рис. 3.11. Конструкция порошковой ленты:

1 и 2 – нижняя гофрированная часть стальной оболочки и верхняя соответственно; 3 – шихта из молотых порошков

исключение недостатков использования стержней (дефекты в начале и конце стержня); заданную точность диаметра шнура; высокий коэффициент использования материала; полную автоматизацию процесса напыления с прекращением и возобновлением подачи шнура; устранение износа деталей горелки.

Для напыления покрытий без последующей термообработки используют шнуры сер. Сфекорд-керамика и Сфекорд-экзо (из порошковых сплавов на основе никеля, железа, меди, интерметаллидов и терморегулирующих материалов), для напыления с последующим оплавлением – Рокдюр (из самофлюсующихся сплавов на основе никеля, кобальта и их смесей с карбидом вольфрама). Характеристика этих материалов следующая.

Оксид алюминия белый с твердостью покрытия 1195 HV имеет температуру плавления 2320 К, обрабатывается шлифованием кругами из карбида кремния или алмаза. Покрытие является прекрасным диэлектриком, стойко к коррозии.

Оксид алюминия голубой имеет твердость покрытия немного ниже, чем из белого корунда. Покрытие стойко к коррозии и абразивному воздействию, а также к изнашиванию в условиях трения при высоких температурах.

Шнур из оксида хрома обеспечивает в покрытии две фазы: с твердостью 1000 и 1770 HV. Температура плавления составляет 2708 К. Покрытие шлифуется алмазными кругами, обладает высокой стойкостью к абразивному воздействию, отличается высоким коэффициентом трения.

Гибкий шнур из оксида титана (температура плавления 2180 К) обеспечивает твердость покрытия 803 HV. Покрытие обрабатывается шлифовальными кругами из карбида кремния, для него характерны низкий коэффициент трения и высокая электропроводность.

Гибкий шнур из черного корунда (оксид алюминия с 40 % оксида титана) используется для напыления покрытий с высокой стойкостью к изнашиванию и большинству кислот и с низкой пористостью. Покрытие имеет твердость 1000 HV и температуру плавления 2110 К, хорошо шлифуется кругами из карбида кремния.

Покрытия из гибкого шнура муллит, состоящего из оксидов алюминия и кремния, имеют твердость 770 HV и температуру плавления 2093 К; обрабатываются шлифовальными кругами из карбида кремния и обладают высокими диэлектрическими свойствами, стойкостью к жидким металлам и высоким температурам.

Гибкий шнур, состоящий из механической смеси оксидов сложного химического состава, служит для газопламенного напыления электроизоляционных покрытий, обеспечивающих высокую стойкость к абразивному воздействию. Твердость покрытий 1000 HV, температура плавления материала 2373 К. Они шлифуются кругами из карбида кремния.

Для газопламенного напыления термобарьерных покрытий производятся шнуры из цирконата кальция и оксида циркония. Твердость их составляет соответственно 750 и 900 HV, а температура плавления 2600 и 2923 К. Они обрабатываются кругами из карбида кремния.

Композиционный гибкий шнуровой материал Ниалид-экзо бонд на основе никель-алюминия состоит из компонентов, которые экзотермически реагируют в процессе напыления. Материал обеспечивает получение плотных покрытий с высокой прочностью сцепления к подложке из цветных и черных металлов, за исключением чистой меди. Основное применение материала – напыление подслоя для последующего нанесения других износостойких материалов. Его можно использовать для защиты изделий от окисления и получения на деталях пар трения восстановительных мягких покрытий, легко обрабатываемых лезвийным инструментом. Рекомендуемая толщина покрытия для подслоя 0,05...0,15 мм, дистанция напыления 150...200 мм.

Материал Сфекорд-экзо № 20 изготовлен на основе никель-хромового сплава, наносится на изделия через подслоя из материала Ниалид-экзо бонд. Возможно его применение в качестве подслоя шнурового материала Ниалид. Напыленное покрытие характеризуется высокой устойчивостью к трению металла о металл, окислению и высокой температуре, легко обрабатывается лезвийным инструментом, наносится на все черные металлы, медные и алюминиевые сплавы при низкой температуре (разогрев основного металла не превышает 523 К). Этим обеспечивается отсутствие деформаций и структурных изменений в основном металле. Материал применяется для восстановления поршней гидравлических механизмов, опорных поверхностей сальников и подшипников. Дистанция напыления 120...150 мм, рекомендуемая толщина покрытия до 2,5 мм.

Шнуровой материал Сфекорд-экзо № 30 состоит из никелевого самонагревающегося сплава и никель-алюминиевого композита, предназначен исключительно для напыления покрытий без оплавления. Нагрев основного металла детали после напыления поверхности  $\leq 523$  К. Этот материал обеспечивает получение твердого и плотного покрытия, которое характеризуется высокими антифрикционными свойствами, устойчиво-

стью к окислению и коррозии, низкой абразивной стойкостью. Многократные ударные воздействия на покрытие не допускаются. Обработка слоя может осуществляться лезвийным инструментом, но высокое качество рабочей поверхности достигается только после шлифования.

Данное покрытие наносится через подслои из материала Ниад-экзо бонд на все черные металлы, медные и алюминиевые сплавы. Возможно применение рассматриваемого материала без промежуточных слоев при толщине покрытий до 0,07 мм и в качестве подслоя шнурового материала Ниад.

Шнуровой материал применяется для восстановления шпинделей станков, поршней гидравлических домкратов, опорных поверхностей подшипников, сальников и кулачковых валов, коленчатых валов, крышек жетронных прессов и др. Твердость покрытия до 33 HRC. Дистанция напыления составляет 120...150 мм. При необходимости допускается ее увеличение до 200 мм.

Композиционный гибкий шнуровой материал Сфекорд-экзо № 40 готовят на основе никелевого самофлюсующегося сплава, никель-алюминиевого композита и специального твердого сплава. Он предназначен для напыления покрытий без оплавления. Разогрев основного металла детали также не превышает 523 К. Материал обеспечивает получение твердого и плотного покрытия. Формируемая в процессе напыления неоднородная структура покрытия придает упрочненным изделиям повышенные антифрикционные свойства и износостойкость при трении металла о металл. Абразивная износостойкость удовлетворительная, но ударные воздействия на покрытие не допускаются. При обработке покрытия шлифовальным кругом достигается высокое качество рабочей поверхности. При этом полученный слой обладает эффектом самосмазывания за счет контролируемой микропористости.

Шнуровой материал наносится только через подслои из материала Ниад-экзо бонд на все черные металлы, медные и алюминиевые сплавы. Применять его без подслоя не рекомендуется. Возможно применение в качестве подслоя шнурового материала Ниад. Основное применение материала – напыление коленчатых валов двигателей, шпинделей станков, мест под подшипники, для защитных втулок и муфт валов и др. Твердость покрытия 28...42 HRC. Дистанция напыления 120...150 мм, оптимальная толщина покрытия 0,5...1,0 мм, его максимальная толщина – до 1,5 мм.

Композиционный шнуровой материал Сфекорд-экзо № 50 готовят на основе специального твердого сплава и никель-алюминиевого композита. Он обеспечивает получение защитных покрытий высокой твердости

и абразивной износостойкости в сочетании с отличными антифрикционными свойствами. Последующая механическая обработка покрытия допускается только шлифованием. Рекомендуется применять его для упрочнения коленчатых валов двигателей и холодильных установок, для защиты от абразивного изнашивания крупногабаритных деталей машин и агрегатов, восстановление и упрочнение которых известными способами наплавки и напыления невозможно. Этот материал следует применять только с подслоем из шнурового материала Ниаид-экзо бонд или Ниаид. Твердость покрытия не менее 40 HRC, рекомендуемая толщина 0,3...0,75 мм, дистанция напыления 120...150 мм.

Шнуровой материал на основе алюминиевой бронзы Сфекорд-бронза № 1 наносится на все черные металлы, медные и алюминиевые сплавы через подслои Ниаид-экзо бонд. Напыленное покрытие характеризуется высокими антифрикционными свойствами, обладает низким коэффициентом трения; благодаря контролируемой микропористости работает как спеченный антифрикционный материал. Ему присуще удовлетворительное сопротивление ударам. Материал отлично обрабатывается, применяется для напыления компрессорных поршней, цапф, шкивов и юбок поршней, вилок переключения скоростей и др. Рекомендуемая толщина покрытия до 3,0 мм. Возможно получение и более толстых слоев. Дистанция напыления 120...180 мм.

Материал Сфекорд-бронза № 2 на основе оловянно-цинково-свинцовой бронзы предназначен для напыления вкладышей подшипников скольжения.

Шнуровой материал Рокдюр 47 состоит из никелевого самофлюсующегося порошка. Покрытия из него имеют твердость 35...40 HRC и температуру плавления 1273 К. Они могут быть обработаны резцами из карбидных твердых сплавов обладают высокой стойкостью к коррозии при повышенной температуре (до 927 К) и отличной износостойкостью.

Кроме указанных в табл.3.28 изготавливаются материалы специального назначения из сырья и по техническим требованиям заказчика (для стран СНГ):

- на основе оксидов металлов:  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$  (муллит),  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--MgO}$  (шпинель),  $\text{ZrO}_2\text{--CaO}$ ,  $\text{ZrO}_2\text{--MgO}$ ,  $\text{ZrO}_2\text{--SiO}_2$ ;
- на основе никеля:  $\text{Ni--C}$ ,  $\text{Ni--Cu--NB--C}$ ;
- на основе алюминия:  $\text{Al--NiB}$ ;
- на основе хромоникелевых сталей;
- на основе керметов типа  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{ZrO}_2) + \text{Ni}(\text{Ni--Cr, Ni--Al})$ ;
- на основе металлокерамики типа  $\text{Cr}_3\text{C}_2 + \text{Ni}(\text{Ni--Cr, Ni--Al})$ .

Гибкий шнур из самофлюсующегося никелевого сплава Рокдюр 67, имеющего очень высокую твердость (55...60 HRC) и температуру плавления 1273 К, позволяет при напылении получить покрытия, стойкие к коррозии и абразивному воздействию. Они обрабатываются кругами из карбида кремния и алмазов, применяются в узлах трения при тяжелых нагрузках и в абразивно-коррозионных средах.

Гибкий шнур из самофлюсующегося сплава на кобальтовой основе предназначен для получения покрытий с последующим оплавлением, стойких к коррозии и абразивному воздействию при высоких температурах и динамическому воздействию. Покрытие имеет невысокую твердость (45 HRC) по сравнению с покрытиями из других самофлюсующихся никелевых сплавов и повышенную температуру плавления (1473 К), однако из-за уникальных свойств кобальта во многих случаях превосходит их. Обрабатывается кругами из карбида кремния.

Гибкий шнур из никелевого самофлюсующегося твердого сплава с 50 % карбида вольфрама (Рокдюр 6750) имеет две твердые фазы с твердостью 57 HRC и 2200 HV. Температура его плавления 1273 К. Покрытия обладают самой высокой стойкостью к абразивному воздействию. Обрабатываются только алмазными кругами.

Кроме отмеченных материалов в виде шнура могут быть использованы другие сплавы, например титан – никель или их смеси с керамическими порошками, карбидами и др. Такие смеси известны под названием «керметы». Они позволяют соединить свойства пластичности и механической прочности металлов с твердостью и высокой температурой плавления оксидов. Этот процесс очень трудно осуществить методом порошкового напыления из-за сегрегации порошков. В порошковом шнуре обеспечиваются однородность составляющих и их полное плавление.

Для получения твердых покрытий с низким коэффициентом трения, состоящих из твердой матрицы и твердой смазки, изготавливают гибкие шнуры, содержащие металлы (никель) или оксид ( $\text{TiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--Cr}_2\text{O}_3$ ) с графитом или дисульфидом молибдена. С помощью шнура можно также создать в пламени композицию специальных сплавов или сочетание таких элементов, как бор, кремний, титан, молибден, позволяющих получать твердые покрытия, диспергированные фазами боридов, силицидов и других веществ.

Обобщенная информация о шнуровых материалах для напыления, применяющихся в СНГ и странах дальнего зарубежья, приведена в табл. 3.28.

## 3.28. Шнуровые материалы для напыления

Наименование материала	Химический состав порошкового наполнителя, мас. %	Размер зерен порошкового наполнителя, мкм	Твердость
1	2	3	4
<i>Сер. Сфекорд-керамика</i>			
Ниалид	95,0 Ni; 5,0 Al	40...125	≤ 40 HRC
Оксид хрома	> 50,0 Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 32,0 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 10,0 SiO <sub>2</sub> ; 6,0 TiO <sub>2</sub>	16...63	60 HRC
Алюмин (корунд)	> 99,5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		55 HRC
Голубой корунд	> 96,5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 3,0 TiO <sub>2</sub>		
Черный корунд	87,0 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 13,0 TiO <sub>2</sub>		
Нихробонд-20	80,0 Ni; 20,0 Cr	40...125	≤ 50 HRC
<i>Сер. Сфекорд-рокдюр</i>			
Рокдюр 47	Ni-Cr-B-Si; 9,0 Cr	40...125	35...40 HRC
Рокдюр 57	Ni-Cr-B-Si; 12,0 Cr		45...50 HRC
Рокдюр 67	Ni-Cr-B-Si; 16,0 Cr	40...100	55...62 HRC
Рокдюр 6740 (композиционный материал с карбидом вольфрама)	Ni-Cr-B-Si + 40 % WC (композит)		57...63 HRC
Рокдюр 6750 (композиционный материал с карбидом вольфрама)	Ni-Cr-B-Si + 40 % WC-W <sub>2</sub> C		55...62 HRC
Рокдюр кобальт-45	Co-Cr-Mo-B-Si	16...125	42...48 HRC
Рокдюр кобальт	Co-Cr-W-B-Si		45...50 HRC



Продолжение табл. 3.28

1	2	3	4
Сер. Сфекорд-экзо			
Сфекорд-экзо № 101	Ni, Mo, Al	40...100	100 HRB
Иналид-экзо	Ni, Al	40...125	
Сфекорд-экзо № 10	Cu, Ni, Cr, Al	40...140	≥ 95 HRB
Сфекорд-экзо № 15	Ni, Cr, B, Si, Al	16...125	≥ 15 HRC
Сфекорд-экзо № 150	Ni, Cr, B, Si		
Сфекорд-экзо №20 (Рокдюр 48-A)	Ni, Cr, B, Si, Al	40...100	≥ 20 HRC (63...67 HRA)
Сфекорд-экзо № 250			≥ 25 HRC
Сфекорд-экзо № 30			>30 HRC (65...70 HRA)
Сфекорд-экзо № 300	Ni, Cr, B, Si	16...100	≥ 30 HRC
Сфекорд-экзо № 35	Ni, Cr, Fe, Mo, B, Si, Al	40...100	≥ 35 HRC (65...72 HRA)
Сфекорд-экзо № 40 (Рокдюр 48-AM)	Ni, Cr, Mo, B, Si, Al		28...42 HRC (65...72 HRA)
Сфекорд-экзо № 400		16...100	≥ 40 HRC
Сфекорд-экзо № 50	WC, Ni, Cr, B, Si, Al		
Сфекорд-нихром	Ni, Cr, Mn	40...125	≥ 95 HRB
Сфекорд-нихром 2 (инконель)	Ni, Cr, Fe, Si		≥ 90 HRB
Сфекорд-бронза №1	Cu, Al, Fe	40...140	≥ 75 HRB
Сфекорд-бронза №2	Cu, Pb, Zn, Sn	40...125	
Сфекорд-бронза №3	Cu, Al, Fe, Ni	40...140	≥ 80 HRB

### 3.3. Источники тепла в процессах нанесения покрытий

#### 3.3.1. Распределение источников тепла по удельной тепловой мощности

В процессах наплавки материал покрытия и поверхности детали нагреваются (чаще до плавления) различными источниками тепла, которые подразделяются в зависимости от способа преобразования энергии. Например, в газовой и термитной сварке в тепловую энергию преобразуется химическая энергия, в электродуговой – электрическая, в электронно-лучевой – кинетическая энергия пучка движущихся электронов, в кузнечной – химическая энергия топлива и потенциальная энергия давления, в сварке трением – механическая.

Характеристика наиболее распространенных источников тепла представлена в табл. 3.29.

3.29. Характеристика источников тепла

Источник	Удельная мощность, Вт/см <sup>2</sup>	Область применения
Газовое пламя	$10^2 \dots 3 \cdot 10^3$	Резка, сварка, наплавка, напыление, оплавление
Индукционный нагрев	$10^2 \dots 10^4$	Нагрев материала перед деформированием, закалка, наплавка
Процессы трения	$10^3 \dots 3 \cdot 10^4$	Сварка
Электроконтактный нагрев	$10^3 \dots 5 \cdot 10^4$	Сварка, приварка
Электрическая дуга	$10^3 \dots 10^8$	Сварка, наплавка, напыление
Плазменная струя	$10^6 \dots 10^7$	Резка, сварка, наплавка, напыление
Искровой разряд	$5 \cdot 10^6 \dots 8 \cdot 10^8$	Разрушение материала, наплавка
Электронный луч	$10^3 \dots 8 \cdot 10^8$	Наплавка
Непрерывный лазер	$5 \cdot 10^3 \dots 10^9$	Наплавка, закалка
Импульсно-периодический лазер	$10^7 \dots 10^{14}$	

*Тепловая мощность*, передаваемая нагреваемому телу и отнесенная к единице площади нагреваемого участка, в большой степени определяет техническое совершенство теплового источника.

### 3.3.2. Газовое пламя

*Газовое пламя* нашло широкое применение в сварочно-наплавочных процессах. В пламени при горении горючего газа в кислороде различают три зоны (рис. 3.12).

Ядро имеет резко очерченную бочкообразную форму с закругленным концом. Оболочка ядра ярко светится, так как состоит из раскаленных частиц углерода. Температура ядра около  $900^{\circ}\text{C}$ , длина его зависит от скорости истечения и расхода горючей смеси, а диаметр – от диаметра канала мундштука.

Восстановительная зона пламени темного цвета отличается от остальной части пламени. Она состоит из продуктов неполного сгорания горючего газа: оксида углерода и водорода. Они восстанавливают окисленный металл. Если в процессе сварки расплавленный металл находится в восстановительной зоне, то он получается без пор, газовых и оксидных включений и других дефектов. Восстановительная зона обладает наиболее высокой температурой в точке, отстоящей на 3...6 мм от конца зоны ядра. Наибольшая температура горения (в градусах Цельсия) ацетилено-кислородной смеси 3150, пропан-бутана в кислороде 2043, природного газа 1850...2000, метана 2000, керосина 2450 и бензина 2600.

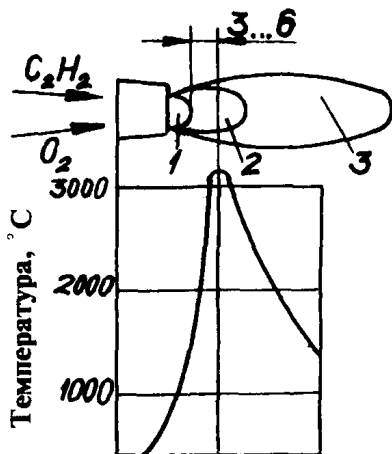


Рис. 3.12. Строение ацетилено-кислородного пламени и распределение в нем температуры:  
1 – ядро пламени;  
2 – восстановительная (сварочная) зона; 3 – оксидная зона

Факел (оксидная зона) расположен за восстановительной зоной. Он состоит из диоксида углерода, паров воды и азота. Азот поступает из воздушной атмосферы, а остальные составляющие факела появляются от взаимодействия оксида углерода и водорода с кислородом воздуха. Температура факела значительно ниже, чем температура восстановительной зоны, и изменяется в пределах 1200...2500 °С.

В зависимости от соотношения  $\alpha$  расхода кислорода и горючего газа различают три вида пламени: нейтральное ( $\alpha = 1,00...1,25$ ), восстановительное ( $\alpha < 1$ ) и окислительное ( $\alpha > 1,25$ ). Для получения нейтрального ацетиленокислородного пламени на единицу объема ацетилена требуется 2,5 объема кислорода. В зону сварки из кислородного баллона подается 1,15 необходимого требуемого объема кислорода, а остальной кислород поступает из воздуха.

Нейтральное пламя применяют для сварки деталей из алюминиевых сплавов, меди, бронзы и стали с содержанием  $< 0,5\%$  С.

Восстановительное пламя содержит свободный углерод, который переходит в расплавленный металл и науглероживает его. Такое пламя применяют при сварке чугуна, высокоуглеродистых сталей с содержанием  $> 0,5\%$  С, а также для наплавки деталей твердыми сплавами.

Окислительное пламя имеет укороченное заостренное ядро с расплывчатыми очертаниями бледного цвета. Температура окислительного пламени выше температуры нейтрального пламени, однако оно может сильно окислять свариваемый металл и способствовать получению крупнозернистого шва. Окислительным пламенем режут металлы, а также нагревают детали при закалке.

В производство внедряется аналог ацетилена – газ МАФ (метилацетилен алленовой фракции). Температура сгорания газа МАФ в кислороде 2930 °С, что позволяет применять его в процессах, где использовался ацетилен. В пропановый баллон емкостью 50 л входит 21 кг газа МАФ, в то время как 5 кг ацетилена помещаются в баллоне массой 82 кг. Сравнительная характеристика продуктов горения представлена в табл. 3.30.

Склонность к обратному удару газа МАФ незначительная. Его можно перемещать как в пропановых баллонах, так и в автоцистернах. Область применения газа МАФ – сварка стальных листов малой толщины, сварка цветных металлов, контурная резка изделий. По сравнению с ацетиленом газ МАФ оказывает намного меньшее влияние на окружающую среду. Он к тому же вдвое дешевле ацетилена. Германия, Канада, США полностью отказались от использования ацетилена и применяют для сварочных работ газ МАФ.

## 3.30. Характеристика газообразных продуктов горения

Показатель	Ацетилен	Пропан	Газ МАФ
Предел взрываемости в кислороде, мас. %	2,3...93	2,4...57	2,5...60
Предел взрываемости на воздухе, мас. %	2,3...81	2,0...9,5	3,4...10,8

Газокислородное пламя используют для сварки стальных деталей из тонколистового проката толщиной  $< 2,5$  мм, деталей из серого чугуна и алюминиевых сплавов, а также для пайки серого и ковкого чугунов.

## 3.3.3. Электрическая дуга

Открыта в 1802 г. проф. В.В. Петровым.

*Электрическая дуга* (рис. 3.13) представляет собой установившийся свободный электрический разряд в ионизированной смеси газов и паров веществ, входящих в состав электрода, электродного покрытия и флюса. Электропроводность межэлектродного промежутка обусловлена движением заряженных частиц – электронов и ионов. Заряженные частицы в дуговом промежутке возникают за счет эмиссии (испускания) электронов с поверхности электродов и ионизации газа. Непременным условием электрического дугового разряда является генерация заряженных частиц в количестве, достаточном для существования дуги.

Сварочная дуга состоит из трех зон: катодной области, столба и анодной области.

Длина катодной области очень мала и сопоставима с длиной свободного пробега иона:  $l_{\text{кат}} = 10^{-4} \dots 10^{-5}$  см. Катод эмитирует электроны как за счет нагрева его поверхности (термоэлектронная эмиссия), так и в результате создания у его поверхности электрического поля высокой напряженности (автоэлектронная эмиссия). Кроме того, электроны и ионы образуются в самой катодной зоне благодаря термической ионизации нейтрального газа. У поверхности катода создается объемный положительный заряд. Катодное падение напряжения  $U_{\text{кат}} = 5 \dots 25$  В на небольшой длине катодной зоны обуславливает значение градиента потенциала в этой зоне  $10^5$  В/см.

Заряженные частицы в столбе дуги появляются из анодной и катодной областей, а также возникают в нем за счет термической ионизации нейтральных частиц. Сварочным током считают ток проводимости, обусловленный упорядоченным движением свободных электронов и ионов.

При этом электронная составляющая тока в сотни раз больше ионной. Длина столба дуги  $l_{ст}$  составляет 0,1...4 см, падение напряжения  $U_{ст}$  достигает 40 В, напряженность поля в нем 10...40 В/см.

Протяженность анодной области сопоставима с длиной свободного пробега электрона:  $l_{ан} = 10^{-3}...10^{-4}$  см, поэтому при анодном падении  $U_{ан} = 2...10$  В градиент напряжения составляет  $10^4$  В/см, т.е. ниже, чем в катодной области. У поверхности анода наблюдается объемный отрицательный заряд.

Поскольку протяженность приэлектродных зон мала по сравнению с длиной столба, то длину дуги считают равной длине столба:

$$l_d = l_{кат} + l_{ан} + l_{ст} \approx l_{ст}. \quad (3.1)$$

Различие физических процессов, протекающих в приэлектродных областях и в столбе дуги, объясняет резкие изменения потенциалов при переходе из зоны в зону.

Температура плазмы в столбе дуги достигает 6000...7000 °С, поэтому процесс сварки начинается сразу, как только возбуждается дуга. Этим обусловлены высокая скорость плавления электрода и основного металла и, как следствие, высокая производительность сварки.

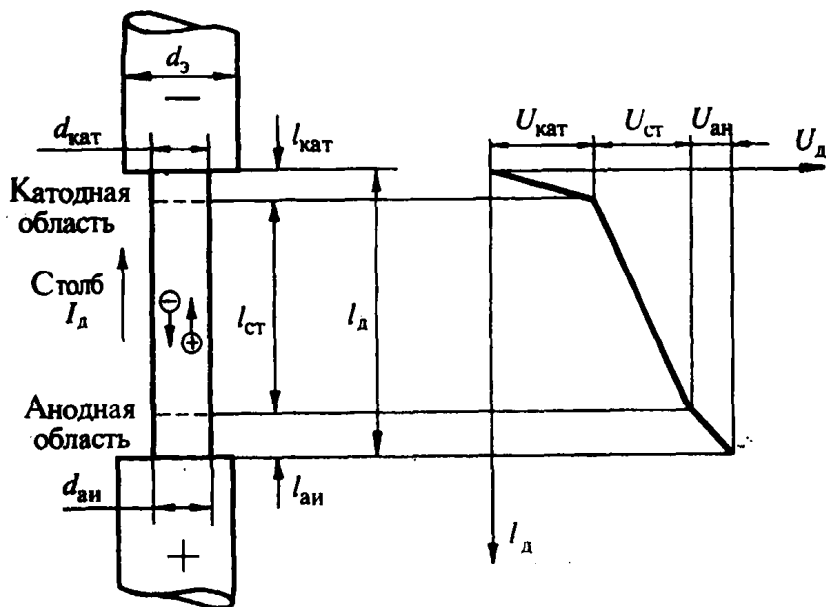


Рис. 3.13. Модель сварочной дуги и распределение потенциала по ее длине:  
 $l_d$  – текущее значение длины дуги

Баланс выделяющейся теплоты распределяется следующим образом: на анод приходится около 43 %, на катод 36 % и на сварочную дугу 21 %. На электроде-аноде выделяется энергии на 20 % больше, чем на электроде-катоде. Поэтому если при сварке необходимо увеличить количество расплавленного металла и глубину проплавления, то сварку ведут на прямой полярности, подключая детали к аноду.

Статическая вольт-амперная характеристика дуги в координатах  $U-I$  (рис. 3.14) имеет криволинейную зависимость, следовательно, активное сопротивление дуги меняется с изменением тока. На характеристике выделяют три участка: падающий *I*, жесткий *II* и возрастающий *III*. Сопротивление дуги на ее падающем участке отрицательное ( $< 0$ ), на жестком равно нулю и на возрастающем – положительное ( $> 0$ ).

Сопротивление дуги при фиксированных ее значениях  $U_d$  и  $I_d$  в точке *A* численно равно тангенсу угла  $\alpha_d$  между касательной к кривой графика в этой точке и осью  $I_d$ .

В маломощных дугах (участок *I*) с ростом тока увеличивается площадь сечения столба дуги, что приводит к снижению плотности тока, а следовательно, и к уменьшению общего напряжения дуги. Такая падающая характеристика наблюдается при сварке неплавящимся электродом и ручной сварке покрытым электродом.

При дальнейшем росте тока пропорционально увеличивается и площадь столба. Плотность тока при этом остается примерно постоянной, поэтому и напряжение дуги не меняется с возрастанием тока. Характеристика на участке *II* жесткая, она наблюдается при сварке покрытым электродом и механизированной сварке под флюсом. Граница между участками *I* и *II* при различных способах и условиях сварки соответствует значению  $\sim 100$  А.



Рис. 3.14. Статическая вольт-амперная характеристика дуги

Возрастающий участок *III* наблюдается при таком токе, когда дуга уже заняла всю торцовую площадь электрода. Поэтому с ростом тока пропорционально увеличиваются его плотность и напряжение. Возрастающая характеристика наблюдается при механизированной сварке под флюсом и особенно при сварке в диоксиде углерода. Граница между участками *II* и *III* соответствует плотности тока  $100 \text{ А/мм}^2$ .

При увеличении длины дуги график зависимости смещается вверх, а при увеличении диаметра электрода граница между жестким и возрастающим участками – вправо.

Устойчивость горения дуги достигается подбором электрических характеристик дуги и ее источника питания (рис. 3.15). Совмещение электрической характеристики дуги и источника питания позволяет найти в точке их пересечения условия ( $U$  и  $I_d$ ) устойчивой работы. При использовании дуги на начальном участке ее характеристики в точке *B*, где дифференциальное сопротивление дуги отрицательно ( $\rho_d < 0$ ), характеристика источника *1* должна быть крутопадающей ( $\rho_n \ll 0$ ) для получения положительного значения коэффициента устойчивости  $k_y = (\rho_d - \rho_n) > 0$ . При использовании дуги на жестком участке ее характеристики ( $\rho_d = 0$ ) в точке *C* характеристика источника может быть и крутой 2, и пологой 3, но обязательно падающей ( $\rho_n < 0$ ). Если дуга имеет возрастающую характеристику в точке *D* ( $\rho_d > 0$ ), то для обеспечения устойчивости источник должен иметь падающую 4 ( $\rho_n < 0$ ), жесткую 5 ( $\rho_n = 0$ ) и даже пологовозрастающую 6 ( $\rho_n > 0$ ) характеристику, если  $\rho_d > \rho_n$ . Наибольшим запасом устойчивости в точке *D* обладает, естественно, система с источником, имеющим характеристику 4, поскольку при этом коэффициент  $k_y$  максимальный.

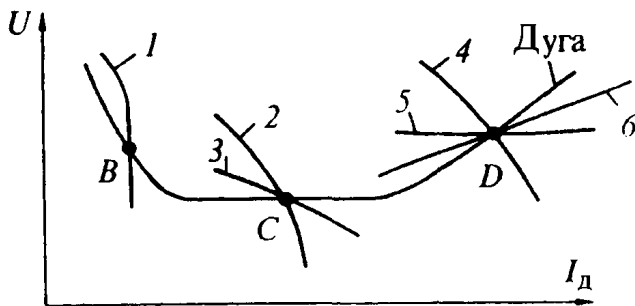


Рис. 3.15. Схема выбора характеристики источника питания в зависимости от характеристики дуги



Инерционность источника питания определяется временем, в течение которого сила тока достигает значения 0,63 от тока насыщения после включения источника.

### 3.3.4. Плазма

**Плазменная струя** представляет собой движущийся газ, в котором значительная часть атомов ионизирована, а концентрация электронов и отрицательных ионов равна концентрации положительных ионов.

Плазменную струю получают перемещением газа через электрическую дугу и сжатием этой струи. Сжатие сечения струи выполняют водоохлаждаемым соплом или магнитным полем. При таком сжатии резко возрастает температура газа и значительно повышается напряжение дуги.

Молекулы плазмообразующего газа при нагреве диссоциируют (распадаются на атомы), а атомы ионизируются (теряют электроны). Такой процесс (табл. 3.31) требует затрат энергии. При охлаждении такого газа наблюдается обратный процесс рекомбинации молекул с выделением энергии, равной энергии их диссоциации и ионизации атомов. Совокупность этих процессов принципиально отличает плазменный нагрев от других видов нагрева. В качестве плазмообразующих газов применяют аргон, азот, аммиак, водород и гелий. Двухатомарные газы (например, азот) обладают большей энтальпией, чем одноатомарные (например, аргон), при одинаковой температуре.

**3.31. Энергия диссоциации молекул и ионизации атомов различных газов**

Элемент	Энергия диссоциации молекулы, эВ	Энергия ионизации атома, эВ*	
		I	II
Аргон	—	15,755	27,620
Водород	4,777	13,595	—
Гелий	—	24,580	54,400
Азот	9,760	14,54	29,605

\* В графе I приведены значения энергии, необходимой для отрыва одного электрона, в графе II – то же для отрыва двух электронов.

Плазменную струю относят к мощным тепловым источникам, которые обеспечивают интенсивность ввода тепла, намного превосходящую скорость теплоотвода. Плотность энергии в плазменной струе в 10...50 раз выше, чем в электрической дуге.

Высокая ионизация плазмы обуславливает температуру струи, равную 12...20 тыс. К. Плазма обладает отличной электропроводностью, высокой скоростью течения, в определенных условиях превышающей скорость звука.

Плазменный источник тепла применяют для сварки, наплавки, резки, пайки и термообработки как металлических, так и неметаллических (стекла, керамики и др.) материалов.

Схема плазменного генератора, служащего для наплавки материалов, приведена на рис. 3.16. Между вольфрамовым катодом и деталью возникает дуга, через которую продувают плазмообразующий газ (например, азот или аргон). Напряжение может быть приложено и к медному охлаждаемому водой аноду. Струя сжимается стенками анода и струями движущегося газа, что вызывает образование плазмы. Тепло плазменной струи затрачивается на нагрев восстанавливаемой поверхности и наносимого материала.

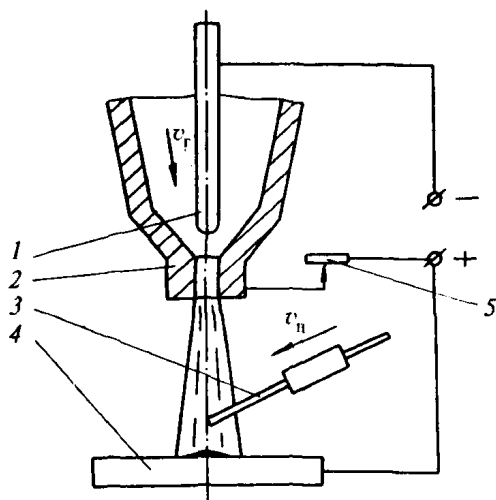


Рис. 3.16. Схема плазменного генератора:

- 1 – электрод-катод; 2 – сопло;  
3 – проволочный или прутковый материал;  
4 – восстанавливаемая деталь; 5 – реостат

Гибкость плазменного нагрева обусловлена использованием большой мощности дуги при небольшом количестве подаваемого материала или без него, например в случае плазменного упрочнения – закалки.

Распределение удельного теплового потока  $q(r)$  по радиусу нагреваемой поверхности определяется по формуле

$$q(r) = q_{\max} \exp(-kr^2), \quad (3.2)$$

где  $q_{\max}$  – наибольший удельный тепловой поток

в центре пятна нагрева, Дж/см<sup>2</sup>·с;  $k$  – коэффициент сосредоточенности удельного потока тепла, см<sup>2</sup>;  $r$  – расстояние от оси источника, см.

### 3.3.5. Индукционный нагрев

*Индукционный нагрев* имеет место при прохождении вихревых токов (токов Фуко) высокой частоты через электропроводный материал заготовки.

Нагрев и охлаждение материала при индукционном нагреве и водяном охлаждении струями спрейера достигают скорости сотен и тысяч Кельвинов в секунду. Зазор между индуктором и обрабатываемой поверхностью равен 0,3...3,0 мм.

Глубина проникновения вихревых токов  $\Delta$  в материал заготовки определяется с помощью формул

$$\left. \begin{aligned} \Delta &\approx \frac{\Delta_K}{\sqrt{2K \cos \varphi}}; \\ \Delta_K &\approx 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}}, \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

где  $\Delta_K$  – глубина проникновения тока в материал, нагретый выше температуры магнитных превращений (точки Кюри), так называемая "горячая" глубина проникновения, м;  $K$  и  $\varphi$  – коэффициенты;  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $f$  – частота тока, Гц.

### 3.3.6. Искровой разряд

*Искровой разряд* (в отличие от дугового) представляет собой неустановившийся электрический разряд из-за недостатка мощности источника энергии для поддержания стационарного дугового или тлеющего разряда.

Он имеет вид прерывистых ярких зигзагообразных разветвляющихся нитей – каналов ионизированного газа, которые пронизывают разрядный промежуток и исчезают, сменяясь новыми нитями.

Искровой разряд сопровождается выделением большого количества тепла и ярким свечением газа. Явления, характеризующие такой разряд, вызываются электронными и ионными лавинами, возникающими в искровых каналах, где давление увеличивается до сотен атмосфер, а температура повышается до 10<sup>5</sup> К. Примером искрового разряда в природе является молния.

### 3.3.7. Электронный луч

*Электронный луч* – это поток электронов, возникающий в результате термоэмиссии с раскаленного катода "электронной пушки". Этот поток разгоняется напряжением 20...200 кВ до скорости 0,05...0,70 от скорости света. Обрабатываемая поверхность бомбардируется направленным концентрированным пучком электронов. Последний может фокусироваться электромагнитной системой, отклоняться и подаваться в зону нагрева, где он тормозится в течение  $10^{-9}$ ... $10^{-11}$  с. При этом температура материала поднимается до 10 000...15 000 К (достаточной до испарения металла). Обработку ведут в герметизированной камере, в которой поддерживается остаточное давление  $10^{-3}$ ... $10^{-2}$  Па.

Особенностью нагрева электронным лучом является то, что прогрев металла идет не с поверхности, а из поверхностного слоя толщиной, равной длине свободного пробега электрона. Зона нагрева в зависимости от степени фокусирования может изменяться в современных сварочных установках от 0,05 до 5 мм. Электронный луч позволяет сваривать материалы с большой глубиной проплавления и минимальной зоной термического влияния.

Источник нагрева применяют для сварки: ответственных деталей с высокой точностью; тугоплавких металлов; разнородных металлов со значительной разницей в толщине и с различными свойствами, а также для получения очень тонких (до 10 мкм) заготовок; наплавки покрытий; прожигания отверстий и испарения металла.

### 3.3.8. Лазерное излучение

Лазер – это оптический квантовый генератор, с помощью которого получают монохроматические электромагнитные волны оптического диапазона вследствие индуцированного излучения.

*Лазерный нагрев* обеспечивает наибольшую плотность энергии, вкладываемой в материал детали. Для непрерывного лазера эта величина имеет значения  $(1...8) \cdot 10^5$  кВт/см<sup>2</sup> а для импульсно-периодического  $10^4$ ... $10^{11}$  кВт/см<sup>2</sup>.

Лазерное излучение (непрерывное, импульсно-периодическое) – это поток квантов энергии в оптическом диапазоне, возникший в результате перехода системы микрочастиц на более низкий энергетический уровень с выделением энергии квантов. Это излучение возникает от взаимодействия электромагнитного поля с частотой, соответствующей положению линий спектра поглощения света атомными системами.

Лазерное излучение позволяет сконцентрировать на поверхности обрабатываемого материала наибольшую плотность энергии из рассматриваемых источников тепла. Эту энергию можно передавать материалу бесконтактно, быстро и строго дозированно. Локальность тепловых процессов в поверхностных слоях при таких условиях облучения обеспечивает высокие скорости ( $10^6 \dots 10^8$  К/с) нагрева и охлаждения.

### 3.3.9. Процессы трения

Выделение тепловой энергии происходит при соприкосновении поверхностей деталей, приложении к образовавшемуся контакту давления и относительном перемещении поверхностей. *Работа сил трения* превращается в тепловую энергию. Количество выделившегося тепла  $q$  (Дж) равно

$$q = F_{\text{тр}} l \quad (\text{для поступательного перемещения}); \quad (3.4)$$

$$q = M_{\text{тр}} \varphi \quad (\text{для вращательного перемещения}), \quad (3.5)$$

где  $F_{\text{тр}}$  и  $M_{\text{тр}}$  – соответственно сила и момент трения, Н и Н·м;  $l$  – путь трения, м;  $\varphi$  – угол трения.

### 3.3.10. Нагрев от прохождения электрического тока

Этот нагрев имеет место при контактной, стыковой и шовной сварке, электрошлаковой наплавке, а также при электроконтактной приварке металлического слоя. Нагрев обеспечивается за счет прохождения электрического тока через токопроводящий материал. Количество выделенного тепла  $q$  при прохождении тока определяется из выражения

$$q = \eta_t U I t, \quad (3.6)$$

где  $\eta_t$  – термический КПД;  $t$  – время прогрева, с.

## 3.4. Сварка в процессах создания ремонтных заготовок

### 3.4.1. Определение и классификация видов сварки

**Сварка** – это процесс образования неразъемного соединения деталей или сборочных единиц путем их местного нагрева и (или) совместного деформирования, в результате чего возникают прочные связи между ато-

мами (молекулами) соединяемых тел. Свариваемость – способность материалов образовывать сварное соединение, свойства которого близки к свойствам основного материала.

Многообразие видов сварки делится на две основные группы: сварку плавлением – электродуговую, индукционную, газовую, плазменную, аргонодуговую, трением и др.; сварку пластическим деформированием – горновую, холодную, газопрессовую, контактную и др.

ГОСТ 19521–81 классифицирует сварку по физическим, техническим и технологическим признакам.

Физические признаки определяют вид используемой энергии для образования соединения деталей, наличие давления на свариваемые детали и вид инструмента.

В зависимости от вида используемой энергии сварочные процессы разделяют на три класса: термические, механические и термомеханические.

Сварка термического класса основана на использовании тепловой энергии и включает такие ее виды: электродуговую, электрошлаковую, газовую, индукционную, плазменную, термитную, электронно-лучевую, лазерную и др. Сварка механического класса (сварка трением, ультразвуковая и др.) содержит те ее виды, которые используют механическую энергию. Сварка термомеханического класса (контактная, диффузионная, газопрессовая, взрывом и др.) основана на сочетании тепловой энергии и потенциальной энергии давления.

К техническим признакам относят способ защиты зоны сварки, непрерывность процесса и степень механизации. Технологические признаки уточняют технические признаки.

### **3.4.2. Характеристика сварки металлов**

Металлы и сплавы в зависимости от наличия полиморфного превращения и величины его объемного эффекта делятся на три группы:

- 1) с большим объемом этого превращения;
- 2) с его малым объемом;
- 3) без полиморфных превращений.

При сварке материалов первых двух групп наиболее существенные изменения свойств и структуры могут происходить вследствие как полиморфных превращений или эвтектоидного распада, так и образования пересыщенных твердых растворов (старение закаленных высокотемпературных фаз, отпуск мартенсита). Однако если в первой группе из-за высокого объемного эффекта полиморфного превращения ведущим в фор-

мировании структуры и свойств, как правило, является мартенситное превращение, то для второй группы – кристаллизация, эвтектидный распад и старение закаленных высокотемпературных фаз.

При сварке материалов третьей группы главную роль играют процессы кристаллизации (особенно эвтектической), рекристаллизации и старения.

Общей для материалов второй и третьей групп является невозможность исправления грубой кристаллической структуры металла шва и рекристаллизационной структуры околшовной зоны путем последующей термообработки из-за малого объемного эффекта полиморфного превращения или вообще по причине отсутствия фазовой перекристаллизации.

К материалам с большим объемным эффектом полиморфного превращения относятся стали перлитного и мартенситного классов, а также сплавы циркония и олова.

Малоуглеродистые строительные низколегированные стали применяются после прокатки. Они хорошо свариваются всеми видами сварки, не подвержены существенной закалке при сварке, поэтому после сварки не проходят термическую обработку.

Среднеуглеродистые стали удовлетворительно свариваются всеми видами сварки, за исключением газовой. Изделия сложной формы с толщиной стенок > 15 мм сваривают с предварительным подогревом до 200 °С. После сварки производят отпуск при 650 °С. Газовую сварку выполняют только при положительной температуре.

Для деталей из марганцовистых сталей с толщиной стенок до 4 мм применяют сварку газовую, ручную дуговую, под флюсом и в среде диоксида углерода. Детали после сварки нормализуют.

Стали теплоустойчивые низколегированные 12МХ, 35МХ, 35ХМФ, 35ХВФ, среднелегированные 20Х2, 5МВФ, 20Х2МФ, жаропрочные с 11...13 % Сг, высокопрочные низколегированные 30Х25ГСА, 25ХГФА и среднелегированные 22Х2, 5НВФ, 17Х3НВФ перед сваркой проходили термическую обработку на высокую прочность (нормализацию или закалку с высоким отпуском). Для таких сталей после сварки предусматривается отпуск для снятия внутренних напряжений и выравнивания механических свойств в различных участках соединений.

Для сталей 12ХН2, 25Н3, 36ХГНА, 18Х2ВФ, 20НГМ, 23Г, 20ХГС, 35ХГСА, 40Х, стали 45, которые перед сваркой подвергались термической обработке (нормализации, закалке с отпуском), после сварки необходим отпуск. Для крупногабаритных деталей структура и механические свойства материала регулируются целиком в процессе сварки.

Стали с высокой устойчивостью аустенита – низколегированные с повышенным содержанием углерода (35ХГСА, 40ХГСА, 40ХГСНМТА, 45ХМА, 45ХНМТА), с 2...3%-ным содержанием хрома (30Х2ГСНВМ, 42Х2ГСНМ, 43Х3СНМФА) и с 12%-ным его содержанием (15Х12НМВФА) перед сваркой проходят отжиг, а после сварки – закалку и низкий отпуск.

Ко второй группе материалов относятся титан и его сплавы. Если сплавы после изготовления деталей прошли прокопку и отжиг, то термической обработке после сварки они не подвергаются. Если сплавы прошли ранее упрочняющую термическую обработку (закалку и старение), то перед сваркой металл закалывают или отжигают, а после сварки подвергают закалке и старению. К этой группе относятся сплавы с  $(\alpha + \beta)$ -структурой.

К группе материалов без полиморфизма относятся: аустенитные сплавы на железохромоникелевой или никельхромистой основе, сохраняющие при комнатной температуре структуру  $\gamma$ -твердого раствора, сплавы тугоплавких металлов, алюминиевые и медные сплавы,  $\beta$ -сплавы титана. Как правило, все материалы сваривают на жестких режимах в среде инертных газов или контролируемой атмосфере источниками тепла с высокой удельной тепловой энергией (аргонодуговая, электронно-лучевая и лазерная сварка).

### 3.4.3. Газовая сварка

Источником тепла при *газовой сварке* является газовое пламя. Наиболее высокая температура пламени получается при сжигании ацетилена в кислороде. Ацетилен получают с помощью различных генераторов (табл. 3.32). Мощность пламени определяется объемным расходом ацетилена, зависящим от номера наконечника горелки. Расход ацетилена  $Q_a$  ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) равен

$$Q_a = SR, \quad (3.7)$$

где  $S$  – толщина детали, мм;  $R$  – коэффициент, характеризующий удельный расход ацетилена на 1 мм толщины детали,  $\text{м}^3/\text{ч}\cdot\text{мм}$  (для стали – 0,10...0,12, чугуна – 0,11...0,14, латуни – 0,12...0,13, алюминия – 0,06...0,10). Расход кислорода на 10...20 % больше, чем расход ацетилена.

Марки горелок, применяемых для газовой сварки, приведены в табл. 3.33. У приведенных горелок диаметр ниппеля на шланг равен 6 мм, их габаритные размеры с наконечником №3 составляют 435×64×75 мм.



### 3.32. Характеристика ацетиленовых генераторов

Параметр	Марка генератора					
	ГВД-0,8	ГВР-1,25	АНВ-1,66	АСМ-1-58	МГ-65	ГВР-3
Расход ацетилена, м <sup>3</sup> /ч	0,8	1,25	1,25	1,25	2	3
Рабочее давление ацетилена, МПа	0,007... 0,030	0,008... 0,015	0,002... 0,003	0,01... 0,03	0,035	0,015... 0,030
Система генератора	Вытеснение	Вода на карбид		Вытеснение	Вода на карбид	
Количество карбида кальция в одной загрузке, кг	2	4	4	2,2	2×2,5	2×4
Грануляция карбида кальция, мм	25/80	25/80	25/80	25/80	15/80	25/80
Масса генератора, кг	195	54	42	204	70	110
Использование в зимних условиях	С теплоизоляционным чехлом	С чехлом ГВР-1,25МЧ	До -25 °С	До -30 °С	Не используют	

Применяют два способа газовой сварки: левый и правый (рис. 3.17). Сварщик держит горелку в правой руке, а присадочный материал – в левой.

При *левом способе* процесс сварки выполняют справа налево. Горелка перемещается за присадочным прутом, а пламя направляется на несваренные кромки, подогревает их и подготавливает к сварке. При *левом способе* сварки металл детали меньше нагревается.

## 3.33. Характеристика горелки «Малютка»

Параметр	Норма для горелок с наконечниками			
	0	1	2	3
Толщина свариваемой малоуглеродистой стали, мм	0,2...0,7	0,5...1,5	1,0...2,5	2,5...4,0
Давление, МПа:				
– ацетилена	0,03...0,12	0,03...0,12	0,03...0,12	0,03...0,12
– кислорода	0,05...0,15	0,05...0,25	0,15...0,40	0,2...0,4
Масса, кг	0,50	0,51	0,52	0,53

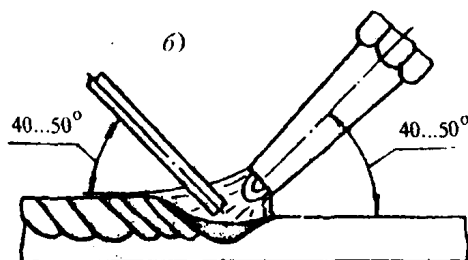
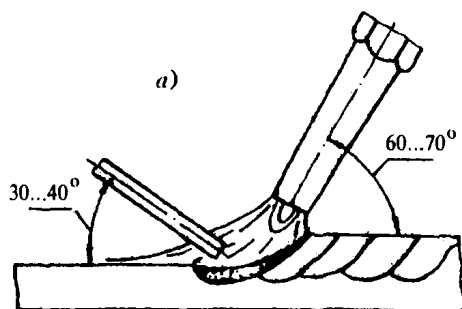


Рис. 3.17. Способы газовой сварки:  
а – левый; б – правый

При *правом способе* процесс ведут слева направо. Горелка перемещается впереди присадочного прутка, а пламя направлено на формирующийся шов. Этим обеспечиваются хорошая защита сварочного шва от воздействия атмосферного воздуха и его замедленное охлаждение.

Положение горелки (угол наклона ее мунштука к поверхности свариваемого металла) зависит от толщины соединяемых кромок изделия и теплопроводности металла. Чем толще металл и чем больше его теплопроводность, тем больше должен быть угол наклона.

Другие параметры режима сварки выбирают в зависимости от вида и толщины свариваемого металла и типа изделия. При этом определяют необходимую мощность пламени, его вид, марку и диаметр присадочной проволоки. При толщине металла до 6...8 мм применяют однослойные швы, до 10 мм – двухслойные, более 10 мм – три и более слоев.

Диаметр присадочной проволоки  $d$  при сварке левым способом металла толщиной до 15 мм определяется по формуле  $d = 0,5S + 1$  мм, при правом способе равен половине толщины свариваемого металла. При сварке металла толщиной более 15 мм применяют проволоку диаметром 6...8 мм.

Толщина слоя при многослойной наплавке зависит от размеров шва, толщины металла и составляет 3...7 мм. Перед наложением последующего слоя металла поверхность предыдущего должна быть хорошо очищена металлической щеткой. Сварка выполняется короткими участками. Стыки валиков в слоях должны совпадать.

При многослойной сварке зона нагрева детали меньше, чем при однослойной. В процессе сварки очередного слоя отжигается нижеследующий слой. Это условие позволяет получить сварной шов высокого качества, что важно при сварке ответственных конструкций. Однако производительность сварки в этом случае низкая, а расход газа большой.

Хорошо свариваются низкоуглеродистые стали. В качестве присадочного материала применяют проволоку Св-08ГА, Св-10Г2, Св-08ГС, Св-08Г2С.

Свариваемость среднеуглеродистых сталей удовлетворительная, однако в сварном шве и зоне термического влияния могут образоваться закалочные структуры и трещины. Сварку выполняют слегка восстановительным пламенем, так как даже при небольшом избытке в пламени кислорода существенно выгорает углерод. Рекомендуется левый способ сварки. При толщине металла  $> 3$  мм необходим предварительный общий нагрев детали до 250...300 °С или местный нагрев до 650...700 °С. Присадочным материалом служит сварочная проволока марок, указанных для низкоуглеродистых сталей, а также проволока Св-12ГС.

При ремонтных работах в нестационарных условиях используют водородно-кислородные электролизные генераторы для сварки, пайки, газотермической резки и термообработки. Генераторы вырабатывают водородно-кислородную смесь постоянного состава с соотношением составляющих 2:1. Смесь насыщают парами углеводородных соединений для регулирования характера горения пламени, что дает увеличение его тепловой мощности и изменение строения.

Малоуглеродистую и низколегированную стали сваривают нейтральным водородно-кислородным пламенем с добавлением паров бензина. Удельный расход смеси составляет 300 л/ч на 1 мм толщины металла.

Газовая сварка нашла наибольшее применение при заварке трещин, наложении заплат, приварке обломов и сварке тонколистового металла при ремонте кузовов, кабин, кожухов, баков, оперения.

#### 3.4.4. Электродуговая сварка

В 1882 г. русский инженер Н.Н. Бенардос впервые применил электрическую дугу для сварки металла неплавящимся угольным электродом, а в 1888 г. русский инженер Н.Г. Славянов изобрел дуговую сварку плавящимся электродом.

В зоне *электродуговой сварки* происходят: плавление металла, перенос электродного или присадочного металла, образование сварочной ванны с зоной термического влияния, кристаллизация сварочной ванны и фазовые изменения в зоне термического влияния. Эти процессы влияют на производительность сварки, потерю металла, устойчивость горения дуги и другие факторы.

Процесс плавления и переноса металла включает:

- возбуждение дуги и интенсивное плавление электрода;
- образование капли жидкого металла;
- отделение капли, короткое замыкание, увеличение силы тока;
- разрыв мостика, образование дуги.

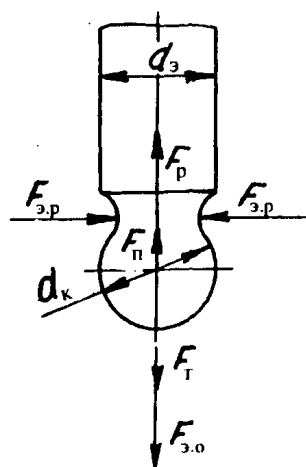


Рис. 3.18. Силы, действующие на каплю расплавленного металла

Механизм переноса электродного металла при электродуговой сварке показан на рис. 3.18. Капля расплавленного металла в момент образования находится под действием сил тяжести, поверхностного натяжения, реактивного давления и электродинамической.

Сила тяжести  $F_T$  направлена вниз, она зависит от диаметра кап-

ли  $d_k$ . Эта сила является определяющей при малых токах и играет важную роль при сварке в нижнем положении.

Сила поверхностного натяжения  $F_{\Pi}$  стремится уменьшить поверхность капли, придает ей форму шара, препятствует ее отделению, способствует увеличению размера капель. Она обеспечивает сохранение шаровой формы капли до ее соприкосновения с поверхностью сварочной ванны.

Сила реактивного давления  $F_p$  паров испаряющегося металла, соприкасающегося с катодным или анодным пятном, стремится отбросить каплю от этой области.

Электродинамическая сила  $F_z$  вызвана искривлением линий тока и пропорциональна квадрату силы тока, ее радиальная составляющая  $F_{z,r}$  старается пережать шейку капли, а осевая составляющая  $F_{z,o}$  – отбросить каплю к детали. Электродинамическая сила играет решающую роль при сварке в верхнем положении.

На движущуюся каплю действуют аэродинамические силы ее взаимодействия с газовыми потоками, эти силы могут как разгонять, так и тормозить каплю. Они зависят от плотности и вязкости газа, скорости перемещения капли относительно газового потока и размеров капли.

Перенос электродного металла с учетом действия указанных сил на образующуюся каплю может быть крупно- и мелкокапельным. Размер капель металла зависит от плотности тока (рис. 3.19). С ее ростом масса отдельных капель уменьшается, а при достижении сварочным током критического значения  $I_{кр} \geq (140...150)d_{эл}$  наблюдается струйный перенос. С увеличением плотности тока возрастают электродинамические силы и давление металлических паров на поверхность ванны

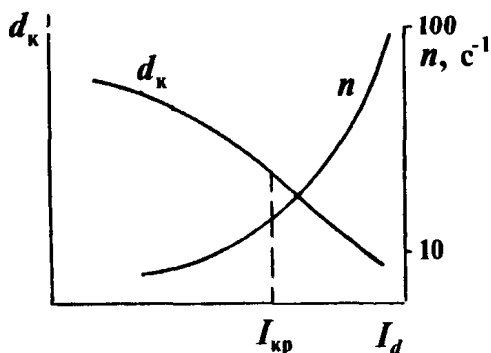


Рис. 3.19. Зависимость размера капель  $d_k$  и частоты их переноса  $n$  от силы тока  $I_d$

(пропорционально  $I^2$ ), что увеличивает глубину проплавления металла и, следовательно, долю основного металла в наплавленном слое.

Электроды с толстым покрытием, как правило, обеспечивают крупнокапельный перенос металла в широком диапазоне режимов сварки. Исключением является сварка электродами с кислым и рутиловым покрытиями. Они гарантируют мелкокапельный перенос за счет низкого коэффициента поверхностного натяжения на границе металла со шлаком по причине значительного содержания в них кислорода.

Расплавленный и кристаллизующийся металл при сварке взаимодействует с материалом восстанавливаемой детали, окружающей газовой средой и материалом флюсов.

Взаимодействие расплавленного металла в столбе дуги и сварочной ванне с кислородом и азотом воздуха ухудшают химический состав металла. Неуправляемое охлаждение приводит к нежелательным объемным и структурным изменениям, что вызывает, в свою очередь, коробление детали, трещины, нарушение термообработки и снижение прочности сварочного шва. В жидких металлах растворяется водород, который приводит к хрупкости материала.

Окисление металла (рис. 3.20, а) снижает механические свойства сварочного шва. Поглощение азота (рис. 3.20, б) способствует образованию нитридов железа, марганца и других элементов, что увеличивает прочность шва, но резко уменьшает ударную вязкость.

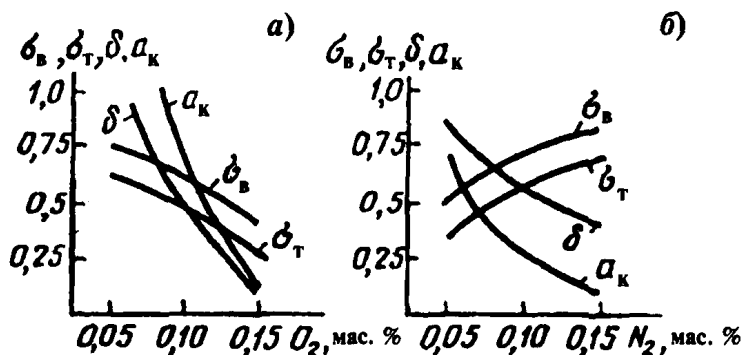


Рис. 3.20. Изменение механических свойств в зависимости от содержания  $O_2$  и  $N_2$  в сварочном шве:

$\sigma_b$  – предел прочности;  $\sigma_t$  – предел текучести;  $\delta$  – относительное удлинение;  
 $\alpha_k$  – ударная вязкость

Электродуговая сварка классифицируется на виды по таким признакам:

- степени механизации – ручная, полуавтоматическая, автоматическая;
- роду тока – постоянный, переменный, пульсирующий;
- состоянию дуги – свободная, сжатая;
- числу дуг – одно- и многодуговая;
- полярности сварочного тока – прямая и обратная;
- виду электрода – плавящийся из основного материала и неплавящийся (угольный, вольфрамовый);
- виду защитной среды – инертная, активная или смешанная.

При возрастании тока дуги наблюдаются увеличение глубины проплавления и образование более высоких и узких валиков.

Ручная дуговая сварка нашла применение при заварке трещин и обломов, приварке накладок, вставок, заплат и других дополнительных ремонтных деталей.

В восстановительном производстве широко применяется также полуавтоматическая сварка, при которой присадочная проволока подается в зону сварки механическим путем – с помощью *сварочных полуавтоматов*, характеристика которых приведена в табл. 3.34. Конструктивно полуавтоматы состоят из источника тока (выпрямителя) и механизма подачи проволоки, выполненных в одном корпусе или раздельно.

Полуавтомат ПДГ-101 предназначен для сварки изделий из тонколистовой стали в среде диоксида углерода, ПДГ-251 – для сварки малоуглеродистых сталей в среде диоксида углерода и нержавеющей сталей в среде аргона. Полуавтомат ПДГ-151 применяют для сварки изделий из малоуглеродистых и низколегированных сталей в среде диоксида углерода (МАГ), а также легированных и нержавеющей сталей в среде аргона (МИГ). Этот полуавтомат может быть использован для ручной дуговой сварки на постоянном токе (ММА-DC). Полуавтомат ПДИ-304 вместе с выпрямителем ВДГИ-302 служит для сварки алюминия, его сплавов и высоколегированных сталей в среде диоксида углерода. Полуавтоматы в комплекте с выпрямителями ПДГ-312-4 с ВДП-303-3, ПДГ-401 с ВДГ-401 и ПДГ-601 с ВДГ-601 предназначены для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей в среде диоксида углерода.

Полуавтоматы с выпрямителями ПДГ-321 с ВДГ-304 и ПДГО-508С с ВДУ-506С рассчитаны на сварку малоуглеродистых, низко- и среднелегированных, коррозионно-стойких сталей сплошной проволокой в среде диоксида углерода или аргоносодержащих смесей и порошковой проволокой в среде защитных газов. Соответственно ПД-314 с ВДУ-306 и ПДГ-322 с ВДГ-304 служат для сварки малоуглеродистых, низко- и среднелегированных сталей в среде диоксида углерода, а также легированных и нержавеющей сталей в среде аргона.

## 3.34. Характеристика сварочных полуавтоматов

Тип	Напряжение сети, В	Пределы регулирования тока, А	Продолжи- тельность включе- ния, %	Диаметр проволоки, мм	Масса, кг
ПДГ-101	1×220	35...110	35	0,6...1,2	35
ПДГ-251	3×380	50...315	60	0,8...1,4	100
ПДГ-151	2×380	МИГ/МАГ 30...150, ММА-DC 40...150	35	0,6...1,2 2...4	90
ПДИ-304 с ВДГИ-302	3×380	40...325	60	1,2...2,0 (алюминий), 1,0...1,4 (сталь)	245
ПДГ-312-4 с ВДГ-303-3				0,8...1,2	200
ПДГ-401 с ВДГ-401		80...500		1,2...1,6	250
ПДГ-601 с ВДГ-601		50...630		1,2...2,0	
ПДГ-321 с ВДГ-304		60...315	40	0,6...1,4	120
ПДГО-508С с ВДУ-506С		60...500	60	1,2...2,8	270
ПД-314 с ВДУ-306		40...315		1,0...1,4	150
ПДГ-322 с ВДГ-304		50...350	80	0,8...1,4	120

Характеристика механизмов, подающих проволоку в зону сварки, приведена в табл. 3.35.



МПО – механизмы открытого типа; МПЗ и МПК – механизмы закрытого и компактного типов. Автономные механизмы включают в себя все элементы управления процессом сварки. Диаметр кассет 300 мм (для МПК-2А – 200 мм). Рабочие размеры подающих роликов оговариваются при заказе.

Сведения о горелках для полуавтоматической сварки германской фирмы «А. Binzel» приведены в табл. 3.36.

На форму и объем сварочной ванны и шва влияют: напряжение дуги, скорость наплавки, наклон и диаметр электрода, число и расположение электродов.

При дуговой сварке применяют токи 1...3000 А при напряжении 8...140 В. В зависимости от вида используемой энергии и характера ее преобразования различают следующие типы *источников питания*

### 3.35. Подающие механизмы (Россия)

Тип	Ток, А (ПВ, %)	Скорость подачи проволоки, м/мин	Диаметр проволоки, мм	Число роликов	Тип разъема	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
МПО-42-2, МПО-42-3	500 (60)	1,25...16	1,2...2,0	2	ВКМ-02, ВКМ-03	330×440×220	13
МПО-44-2		2...12	1,6...2,0	4	ВКМ-02	350×700×260	15
МПЗ-2А-1 автономный		1,2...16	0,8...2,0	2	Евро	230×590×420	16
МПЗ-4А-1 автономный				4		230×650×440	16,5
МПК-2А-1 компактный автономный				2		180×470×330	12,5

## 3.36. Характеристика горелок для полуавтоматической сварки

Тип	Ток, А (ПВ, %)	Диаметр проволоки, мм	Масса, г	Тип оборудования
MB-14AK	160 (60)	0,6...1,2	640	ПДГ-101, ПДГ-151
MB-15AK	180 (60)		960	
MB-24KD	250 (60)	0,8...1,4	1240	ПДГ-251, ПДГ-321
MB-40KD	380 (60)	1,0...2,0	2240	ПДИ-304, ПДГО-508С
RD-36	340 (60)	0,8...1,4	1950	ПДГ-401, ПДГ-312-4, ПДГ-322, ПДГ-314
RB-61/RG	500 (60)	1,2...2,8	3120	ПДГ-601, ПДГО-508С

для сварки:

- трансформатор, понижающий переменное напряжение до необходимого при сварке;
- выпрямитель, преобразующий энергию сетевого переменного тока в энергию постоянного сварочного тока;
- генератор – устройство, преобразующее механическую энергию вращения в электрическую энергию постоянного тока;
- преобразователь, который является комбинацией трехфазного асинхронного двигателя переменного тока и сварочного генератора и, следовательно, преобразует сетевую электрическую энергию в электрическую энергию постоянного тока;
- агрегат, состоящий из двигателя внутреннего сгорания и генератора постоянного тока с получением сварочного тока за счет использования химической энергии сгорания газообразного или жидкого топлива.

Различают источники питания общепромышленного и специального назначения. К первым относятся источники для ручной сварки покрытыми электродами и механизированной сварки в диоксиде углерода и под флюсом, они предназначены для сварки углеродистых и легированных сталей средней толщины. Специализированные источники служат для

сварки тонколистовых изделий и цветных металлов, а также для выполнения процессов, родственных сварке: наплавки, напыления, резки. Эти источники относительно сложны, оснащены элементами автоматики, но обеспечивают высокие эксплуатационные свойства.

Единая система обозначения электротехнического оборудования, используемого для сварки, наплавки и напыления, содержит и элементы классификации. Классификация источников питания включает:

- тип (первая буква в обозначении): трансформатор (Т), выпрямитель (В), генератор (Г), преобразователь (П), агрегат (А), специализированный источник – установка (У);
- вид сварки (вторая буква): дуговая (Д), плазменная (П);
- способ сварки (третья буква): в защитных газах (Г), под флюсом (Ф), универсальный (У), покрытыми электродами (без обозначения). Отсутствие третьей буквы обозначает ручную дуговую сварку электродами;
- назначение источника (четвертая буква): многопостовой (М), однопостовой (без обозначения), для импульсной сварки (И); вид внешней характеристики: жесткая (Ж), падающая (П);
- величину номинального тока (одна или две первые цифры означают округленную величину тока в десятках или сотнях ампер);
- две последующие цифры – регистрационный номер изделия;
- климатическое исполнение (последние одна или две буквы): для стран с холодным климатом (ХЛ), умеренным (У) или тропическим (Т);
- категорию размещения (последняя цифра): для работы на открытом воздухе (1), под навесом (2), в неотапливаемом помещении (3), в отапливаемом помещении (4), в помещении с повышенной влажностью (5).

Пример расшифровки обозначения трансформатора ТДФЖ-1002УЗ:

Т – тип источника (трансформатор);

Д – вид сварки (дуговая);

Ф – способ сварки (под флюсом);

Ж – тип внешней характеристики (жесткая);

10 – номинальный ток в сотнях ампер (на 1000 А);

02 – регистрационный номер разработки;

У – климатическое исполнение (для стран с умеренным климатом);

3 – категория размещения (для работы в неотапливаемом помещении).

Источники питания работают со стендами для установки и технологического перемещения заготовок. По приспособленности источников питания к внешним условиям их подразделяют на пять категорий размещения.

Источники питания, имеющие категорию размещения 1, могут эксплуатироваться на открытом воздухе. Они имеют собственную крышу и капот, защищающие их от дождя и снега.

Источники питания с категорией размещения 2 могут работать под навесом, в прицепах и кузовах автомобилей, выдерживают колебания температуры и влажности воздуха, но не защищены от воздействия осадков.

Большинство источников (трансформаторов, выпрямителей, преобразователей) относятся к категории размещения 3, они способны работать в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без регулирования климатических условий.

Оборудование, требующее установки в закрытых помещениях с регулированием климатических условий, относится к категории размещения 4.

В помещениях с повышенной влажностью работает оборудование категории 5.

Получили применение источники питания постоянного тока:

- выпрямители для дуговой сварки ВД-201УЗ, ВД-306УЗ, ВДГИ-302УЗ, ВСЖ-302, ВД-401УЗ и др.;
- выпрямители для механизированной сварки и наплавки ВС-600, ВСЖ-303, ВДГ-302, ВДГ-601, ВДГ-1001, ВДУ-504 и др.;
- универсальные выпрямители ВДУ-1201УЗ, ВДУ-1601;
- выпрямители для многопостовой сварки ВКСМ-100-1-1, ВДМ-1001, ВДМ-1601, ВМГ-5000, ВДУМ-401;
- генераторы ГД-304У2, ГСМ-500У2, ГСО-300-5У2 и др.;
- преобразователи напряжения ПД-305У2, ПД-502У2, ПСО-300-2У2, ПСГ-500-1УЗ и др.;
- агрегаты для ручной сварки в полевых условиях АДД-303У1, АСБ-300У1.

Применяют источники питания переменного тока:

- трансформаторы с магнитным шунтом (СТШ-250, СТШ-300 и др.);
- сварочные трансформаторы типа ТД с подвижными обмотками (ТД-102У2, ТД-306У2, ТДМ-317У2 и др.). Для ручной сварки и наплавки используют трансформаторы ТД-300, ТД-500, СТШ-500, СТШ-500-80, ТДМ-503УЗ, для механизированной сварки и наплавки – трансформаторы ТДФ-1001, ТДФ-1002, ТДФ-1601.

Специализированные источники питания предназначены для ручной, механизированной и автоматической сварки плавящимися и неплавящимися электродами металлов и сплавов, коррозионно-стойких сталей, меди и ее сплавов, а также тонких и особо тонких изделий.

Для сварки и наплавки выпускаются поличастотные источники питания ТДП-301-Ремдеталь и ТДП-302-Ремдеталь. Для плазменной наплавки, сварки и напыления производятся установки УД-417 ИЭС им. Е.О. Патона, УПС-301, УМП-5, УПУ-3 и УПС-503.

Для ручной сварки и наплавки применяют источники питания с крутопадающей характеристикой, для механизированной наплавки под флюсом – с пологопадающей и для механизированной наплавки в среде  $\text{CO}_2$  – источники с жесткой характеристикой.

Характеристика некоторых видов оборудования для сварки дана в табл. 3.37.

**3.37. Характеристики сварочных трансформаторов для ручной сварки**

Тип	Напряже- ние сети, В	Номи- нальный ток, А	ПВ, %	Мощность, кВт	Масса, кг	Габаритные размеры, мм	
1	2	3	4	5	6	7	
ТСБ-103	220	100	20	8	21	180×320×320	
ТДМ-127		125		2,4	17	300×220×280	
ТС-151		150		9,6	40	290×470×400	
ТСМ-160		160	30	7	18	390×220×300	
ТСМ-167			20	3,3	26		330×210×325
ТДМ-169				8,5			
ТДМ-181				180	11	35	415×205×460
ТСМ-207		190		5,5	21	370×220×300	
ТДМ-252		220/380	250	40	11	32	390×280×320
ТДМ-259				35		55	610×320×455
ТДМ-2510	380	300	60	10	100	520×460×920	
ТДМ-3011	220/380		20	18	54	380×310×610	
ТДМ-3010			35		55	380×310×740	
ТДМ-300	380	320	60		70	370×390×580	
ТДМ-301	220/380	300			58	385×345×475	
ТДМ-303					53	380×300×340	

Продолжение табл. 3.37

1	2	3	4	5	6	7
ТДМ-401	380	400	60	26,6	140	585×555×850
ТДМ-402				28	78	
ТДМ-403				32	140	
ТДМ-501		560	24	94	1430×760×1220	
ТДМ-503		500	56	520		
ТДФЖ-1002		1200	240			
ТДФЖ-2002		2200				

Для ручной дуговой сварки штучными электродами на переменном токе малоуглеродистых и низколегированных сталей выпускаются трансформаторы российского и украинского производства (см. табл. 3.37). Трансформаторы фирмы "Telwin" (Италия) приведены в табл. 3.38.

Для аргонодуговой сварки (ТИГ) на постоянном токе металлов всех видов (кроме алюминия и его сплавов), а также для ручной дуговой сварки (ММА) малоуглеродистых и низколегированных сталей штучными электродами применяют установки УДГ-161 и УДГ-350 (табл. 3.39).

3.38. Трансформаторы фирмы «Telwin»

Модель	Напря- жение сети, В	Номи- нальный ток, А	Диаметр электрода, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
«Utility 1600»	220	40...140	1,6...3,2	180×340×300	12,5
«Nordika 1800»				310×370×250	14,5
«Nordika 2160»		55...160	2,0...4,0	350×650×430	17
«Nordika 3200»	55...190	20,5			
«Nordika 3250»	220/380	55...250	2,0...5,0		360×570×510
«Artika 212»		55...200		27,5	
«Artika 252»			30...250	1,6...5,0	

### 3.39. Характеристики установок для аргонодуговой сварки

Тип	Напря- жение сети, В	Пределы регулирования тока, А	ПВ, %	Диаметр элек- трода, мм	Масса, кг; габаритные размеры, мм
УДГ-161	1×220	5...150	35	ТИГ 0,8...3,0; ММА 2...4	60; 360×360×950
УДГ-350	3×380	12...230	60	ТИГ 0,8...5,0	50; 650×335×450
УДГ-180	1×220	ТИГ 40...170; ММА 38...170	20	ТИГ 0,8...4,0; ММА 2...4	60; 360×360×950
УДГ-251	2×380	5...250	35	ТИГ 0,8...5,0; ММА 2...5	120; 1050×450×750
УДГ-352		5...350	60	ТИГ 0,8...5,0; ММА 2...6	155; 1050×550×900

Установку УДГ-180 используют для аргонодуговой сварки (ТИГ) на переменном токе алюминия и его сплавов, а также для ручной сварки (ММА) на переменном токе малоуглеродистых и низколегированных сталей штучными электродами. Для ручной дуговой сварки (ММА) штучными электродами на постоянном и переменном токе (металлов и сплавов всех видов) применяют универсальные установки УДГ-251 и УДГ-351.

### 3.40. Характеристики сварочных выпрямителей

Тип	Напря- жение сети, В	Пределы регулирования тока, А	ПВ, %	Диаметр элек- трода, мм	Масса, кг; габаритные размеры, мм
1	2	3	4	5	6
ВД-131	1×220; 2×380; 220×380	AC 40...180; DC 35...130	20	2...4	65; 360×360×950
ВД-306М	3×380	DC 40...315	15	2...6	100; 360×360×1250

Продолжение табл. 3.40

1	2	3	4	5	6
ВД-306С	3×380	DC 80...320	60	2...6	140; 760×420×950
ВД-306Д		DC 5...350			140; 550×400×600
ВД-300Б		DC 50...350	80	—	120; 850×450×750
ВДГИ-302		DC 40...325	60		240; 7650×605×800
ВДГ-303-3					200; 750×605×800
ВДГ-304		DC 50...325	80		120; 850×450×750
ВДУ-306		DC 50...315	60	2...6	150; 800×550×850
ВДГ-401		DC 80...500		—	250; 750×605×950
ВДУ-506С		DC 60...500		2...6	
ВДУ-601		DC 50...630	40	2...8	270; 750×605×950
ВДМ-6303		DC 630 (4 поста по 315 А)	100	3...6	270; 750×650×950
ВДМ-1202С		DC 1250 (8 постов по 315 А)			350; 1050×620×800

Выпрямители ВД-131, ВД-306М, ВД-306С и ВД-306Д предназначены для ручной дуговой сварки штучными электродами на постоянном (DC) и переменном (AC) токе углеродистых и легированных сталей (табл. 3.40). Выпрямители ВД-300Б, ВДГИ-302, ВДГ-303-3, ВДГ-304, ВДУ-306, ВДГ-401, ВДУ-506С и ВДУ-601 применяют для комплектации сварочных постов как ручной дуговой сварки штучными электродами,



так и для полуавтоматической и автоматической сварки на постоянном токе в среде защитных газов. Многопостовые сварочные выпрямители ВДМ-6303 и ВДМ-1202С служат для комплектации постов ручной дуговой сварки штучными электродами изделий из углеродистых и низколегированных сталей. При необходимости многопостовые выпрямители комплектуются балластными реостатами РБ-302.

Экономия электроэнергии за счет снижения напряжения холостого хода источников питания достигается применением блоков БСНТ-010. Масса устройства 7 кг, время его срабатывания 0,04 с, время выдержки после прекращения сварки 0,64 с, номинальный сварочный ток 500 А DC и AC, ПВ=35 %.

Сведения о дизельных сварочных агрегатах приведены в табл. 3.41.

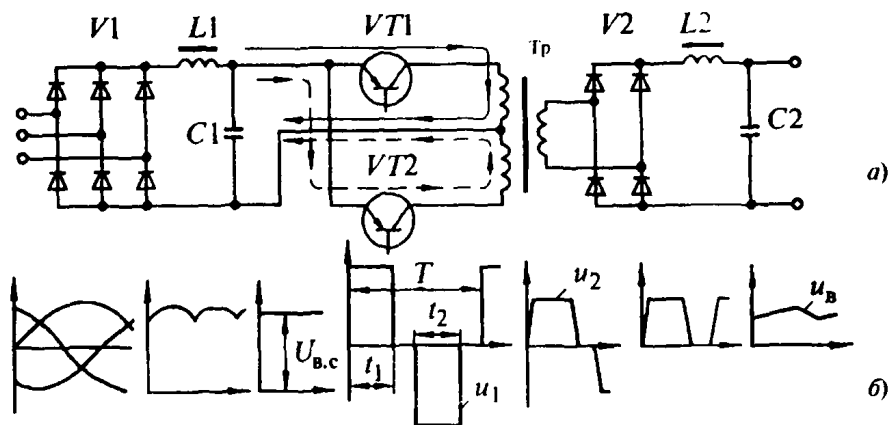
Перспективными источниками питания являются *инверторные выпрямители*. Инвертор – это устройство, преобразующее постоянное напряжение в высокочастотное переменное. Схема выпрямителя с транзисторным инвертором приведена на рис. 3.21.

Сетевой выпрямительный блок V1 преобразует переменное напряжение сети в постоянное, которое сглаживается с помощью низкочастотного фильтра L1 – C1. Затем выпрямленное напряжение  $U_{в.с}$  преобразуется в однофазное переменное  $u_1$  высокой частоты с помощью инвертора на транзисторах VT1 и VT2. Далее напряжение понижается трансформатором Тр до  $u_2$ , выпрямляется блоком вентиля V2, проходит через высокочастотный фильтр L2 – C2 и подается на дугу в виде сглаженного напряжения  $u_{в.}$

Транзисторы VT1 и VT2 управляют обмотками трансформатора Тр и обеспечивают частоту тока на уровне 1...60 кГц. Если инвертор конструктивно объединяют с трансформатором Тр выпрямительным блоком вентиля V2 и высокочастотным фильтром L2 – C2, то такое устройство называют конвертером. Конвертер понижает или повышает постоянное напряжение, имея промежуточное высокочастотное звено.

3.41. Характеристики дизельных сварочных агрегатов

Тип	Ток, А (ПВ, %)	Тип двигателя	Форма постановки	Масса, кг; габаритные размеры, мм
АДД-4001С	400 (60)	Д144-81	На раме; на шасси	820; 1850×950×1300



**Рис. 3.21. Выпрямитель с транзисторным инвертором:**  
 а – схема; б – осциллограмма напряжений

Режим сварки регулируется несколькими способами. Например, при увеличении напряжения сетевого выпрямителя  $U_{в.с}$  увеличиваются и амплитуда высокочастотного напряжения  $U_2$ , и среднее значение  $U_{в}$  выпрямленного напряжения. С этой же целью изменяют ширину импульсов инвертора. Однако более удобным и распространенным способом является изменение частоты импульсов:

$$f \uparrow \Rightarrow T \downarrow \Rightarrow U_{в} \uparrow.$$

Выпрямители «Quality 210 C/DC» и «Quality 260 C/DC» допускают механическую регулировку сварочного тока, а выпрямители типа WTU – тиристорную.

В инверторном выпрямителе используют амплитудное, широтное и частотное регулирование режима. Характеристика универсальных частотных инверторных выпрямителей приведена в табл. 3.42, 3.43 и 3.44.

### 3.4.5. Прогрессивные виды сварки

*Сварка трением* – способ сварки, при котором нагрев деталей происходит за счет их трения, а соединение – за счет приложения давления к соединяемым поверхностям и возникновения металлической связи. Таким образом соединяют части валов, тяг, штоков, валы с поршнями, части режущего инструмента и др.

**3.42. Инверторные (универсальные частотные) выпрямители  
производства фирм стран СНГ**

Модель	Напря- жение сети, В	Номи- нальный ток, А	ПВ, %	Мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ВДУЧ-1371	220	130	100	4	365×139×196	8
ВДУЧ-315	380	315		1	600×380×500	70
«Форсаж-160ПР»	220	160	60	8	410×180×290	10
«Форсаж-250ПР»	380	250		10		
ФЕБ-200М	220	200	40	7,5	215×350×500	23
ФЕБ-350М	380	350		12	300×440×600	45

**3.43. Инверторные выпрямители фирмы «Telwin»**

Модель	Напря- жение сети, В	Номиналь- ный ток, А	ПВ, %	Диаметр электрода, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
«Тесница 140»	220	5...130	25	1,6...3,2	315×135×210	5,0
«Тесница 160»		5...150		1,6...4,0		5,5
«Technology 200»		5...180	35		385×157×285	9,5
«Quality 210 C/DC»	220/380	~ 55...160, = 40...130	25	2,0...4,0	360×570×510	30
«Quality 260 C/DC»		~ 55...230, = 35...170		2,0...5,0		41

## 3.44. Иверторные выпрямители фирмы «Fronius» (Австрия)

Модель	Напря- жение сети, В	Номиналь- ный ток, А	ПВ, %	Диаметр электрода, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
«TransPocket 1400»	220	5...140	60	1.6...3.2	312×110×200	4,2
«TransPocket 2000»	3×380	20...200		1.6...4.0	430×180×280	10,5
«TransPocket 330»		3...330		860×546×710	46,0	
«TransPocket 450»		3...450			54,0	
«TransPocket 450 IP44»					1256×620×750	112,0
«TransPocket 450 AC/DC»					615×400×680	102,0
WTU 307	380	5...300	35	1.6...6.0	680×450×550	97
WTU 457		5...450			995×740×665	221,5
WTU 657		5...365				26,0

*Контактно-стыковая сварка* деталей и их элементов различной конфигурации применяется при повышенных требованиях к качеству сварного соединения. Так сваривают, например, звенья прутковых транспортеров с использованием передвижного поста ППКС-01-74 с установкой МСТ-41.

*Ультразвуковой сваркой* соединяют цветные металлы, стали, крупногабаритные детали. Для этого применяют установки УзСА-3, МТУ-4, УТ-4, И020.019 и др.

*Термитная сварка* основана на использовании химической энергии при восстановлении железа из его оксидов, служит для соединения крупногабаритных и массивных изделий.

*Сварка в вакууме* применяется для соединения мелких ответственных деталей с высокой точностью с помощью установок СВДУ-15-2, СВДУ-7 и др.

### 3.4.6. Особенности сварки деталей из различных материалов

*Сварка деталей из углеродистых сталей* по особенностям процесса разделяется на четыре группы.

Хорошо свариваются малоуглеродистые стали марки Ст3, сталь 10 и 20, низколегированные стали 15Х, 15ХГ, 12ХН2 и др. твердостью до 200 НВ. В этом случае применяют тонкообмазанные электроды Э-42.

Удовлетворительно свариваются среднеуглеродистые стали марок 30, 35 и 40 и низколегированные стали с 0,3...0,4 % С. Твердость этих сталей до 250 НВ. Для сварки применяют электроды типа Э-42 и Э-50.

Ограниченно свариваются стали 45 и 50 и низколегированные стали с содержанием до 0,45 % С. Детали сваривают электродами типа Э-50А и наплавляют электродами ЭН-300 и ЭН-350. Если твердость наплавленного металла должна быть больше 350 НВ, то применяют электроды марок 12АН-ЛИИВТ, Т-540 или ЭН-400.

Плохо свариваются стали с 0,55 % С и малоуглеродистые стали с цементованными рабочими поверхностями. Наплавку следует проводить электродами марок 12АН-ЛИИВТ, Т-590 или ЭН-400. Для предупреждения образования трещин на границе наплавки с цементованным слоем деталь необходимо подогреть до температуры 150...200 °С.

Полуавтоматическая сварка выполняется с механической подачей сварочной проволоки в зону горения дуги. Для этого применяют полуавтоматы А-537, А-547Р, ПДПГ-500 и др. В качестве источников постоянного тока используют сварочные выпрямители.

Тонколистовые панели сваривают в среде углекислого газа током обратной полярности проволокой Св-08ГСА или Св-08Г2С.

Режим сварки назначают в зависимости от вида и толщины свариваемого металла. При сварке листов из углеродистой стали толщиной 1 мм применяют ток силой до 100 А и напряжением 20 В, наилучшее расстояние от сопла сварочной горелки до детали составляет 8...10 мм, а наклон электрода от вертикали не превышает 20°. Чтобы обеспечить спокойное горение дуги и минимальное разбрызгивание жидкого металла, сварку ведут короткой дугой при быстром перемещении горелки.

*Сварка чугуновых деталей.* Сварка чугуна сопровождается отбеливанием материала, что объясняется большим содержанием углерода, содержанием кремния и быстрым охлаждением металла. При этом углерод не успевает выделиться в виде графита и остается в химически связанном состоянии в виде цементита  $Fe_3C$ . Из-за усадки материала возникают значительные внутренние напряжения. Образующиеся при сварке чугуна тугоплавкие оксиды создают на поверхности сварочной ванны твердую

корку, которая препятствует свободному выходу газов из расплавленного металла, что приводит к образованию пор и раковин.

Для получения мягкой перлитно-ферритной структуры необходимо, чтобы процесс графитизации происходил более полно до стадии, при которой остается мало углерода в связанном состоянии. Ускорению графитизации способствует присутствие углерода, кремния, алюминия, титана, никеля и меди. Введение в состав наплавочных материалов кислородсодержащих компонентов способствует максимальному удалению остаточного углерода. Карбидообразующие элементы (вольфрам, хром, ванадий, молибден) связывают углерод в труднорастворимые карбиды.

Чугун сваривают дуговой сваркой неплавящимся или плавящимся электродом (в том числе порошковой проволокой), газовой или аргонодуговой сваркой, заливкой жидким металлом и др.

Применяют два основных способа сварки чугуна: горячий (с подогревом детали) и холодный (без подогрева).

При способе горячей сварки кромки чугунной детали предварительно разделяют, а затем деталь нагревают до температуры 600...650 °С. Сварку ведут ацетилено-кислородным пламенем.

В качестве присадочного материала используют чугунные прутки марки А с повышенным содержанием кремния (до 3...3,5 %) или латунную проволоку. Для первого материала используют флюс ФСЧ-1, для второго – флюс, состоящий из смеси буры и углекислого натрия в равных массовых долях. За сваркой следуют низкотемпературный отжиг, т.е. нагрев детали до 650...700 °С и охлаждение ее вместе с печью.

Способ горячей сварки хотя и обеспечивает высокое качество сварки, но энерго- и трудоемок, сопряжен с тяжелыми условиями труда, поэтому ограниченно применяется при восстановлении корпусных деталей.

Способ холодной сварки чугуна проще. Применяют ручную и полуавтоматическую сварку стальными электродами (без покрытий; с покрытиями, включающими карбидообразующие элементы; с окислительными покрытиями) и электродами из цветных металлов и сплавов.

Прогрессивные способы холодной сварки чугуна следующие.

1. Газовая сварка прутками ПЧЗ, ПЧН1, ПЧН2 и ПЧВ. Допускается применять изношенные чугунные кольца. В качестве флюсов служат техническая бура или смесь: 50 % буры и 50 % двууглекислого натрия.

2. Полуавтоматическая сварка электродной проволокой марки Св-08Г2С диаметром 1,0...1,2 мм в среде диоксида углерода на полуавтомате А-547 от преобразователя ПДГ-301. Сила тока 80...100 А обратной полярности, напряжение 20...22 В, расход газа 1,0...1,5 л/с.

3. Полуавтоматическая аргонодуговая сварка проволокой МНЖКТ-5-1-02-02 диаметром 1...1,2 мм при постоянном токе 80...120 А обратной полярности и напряжении 20...25 В. Скорость подачи проволоки 7...11 м/мин, расход аргона 1,0...1,5 л/с. Используются полуавтоматы А-547У, А-825М и др.

4. Сварка деталей из высокопрочного и серого чугунов и их соединений со сталью с помощью стальных электродов ЦЧ-4, изготовленных из проволоки Св-08 или Св-08А с толстым фтористо-кальциевым покрытием. Покрытие включает титан или ванадий, содержание которых в наплавленном металле доходит до 9,5 %. Сварку ведут электродами диаметром 3...4 мм на постоянном токе 120...150 А обратной полярности при напряжении 20 В. Перед сваркой деталь рекомендуется подогреть до температуры 150...200 °С, а после наложения валиков их сразу же проковать.

5. Электродуговая сварка модифицированного чугуна электродами ЦЧ-3А, представляющими собой проволоку Св-07Н50 со фтористо-кальциевым покрытием, содержащим до 5,5 % Si.

6. Сварка чугуна электродами из цветных металлов. Она более дорогая, но обеспечивает достаточные прочность, пластичность и плотность шва. Здесь широко применяют медные электроды ОЗЧ-1 со фтористо-кальциевым покрытием, содержащим железный порошок. Режим сварки: постоянный ток силой 150...160 А обратной полярности и напряжением 20 В, короткая дуга. После сварки каждый участок проковывают до достижения температуры шва 50...60 °С.

7. Сварка электродами МНЧ-1 (63 % Ni и 37 % Cu) со специальным фтористо-кальциевым покрытием УОНИ-13/55. Процесс выполняют электродами диаметром 3...4 мм на постоянном токе 140...150 А обратной полярности, короткой дугой, участками 20...30 мм, которые сразу же проковываются. Вместо медно-никелевых электродов можно использовать железоникелевые типа ЖНБ.

8. Применение проволоки ПАНЧ-11 и ПАНЧ-12 диаметром 1,4 мм (табл. 3.45) дает хорошие результаты. Режимы сварки: ток 100...140 А, напряжение 14...18 В, скорость сварки 0,15...0,25 см/с.

9. Сварка-пайка при более низкой температуре процесса (до 950 °С) электродами ЛОМНА-49-05-10-04, ЛОК-59-1-03 и Л-63.

10. Отличающийся эффективностью способ отжигающих валиков, когда предыдущие участки сварки отжигаются теплом от последующих участков. Твердость шва при этом снижается на 20...25 %.

## 3.45. Состав сварочных проволок ПАНЧ-11 и ПАНЧ-12, мас. %

Компоненты	ПАНЧ-11	ПАНЧ-12
Никель	80	Остальное
Медь	2...3	2...3
Марганец	1...4	1...4
Редкоземельные элементы	0,1...0,5	0,1...0,5
Железо	Остальное	25...28

*Сварка медных сплавов* характеризуется хорошей свариваемостью, которая несколько ухудшается вследствие легкой окисляемости расплава и образования закисы меди, ведущих к образованию трещин, а также повышенной способностью к образованию газовых включений.

Применяют электродугую сварку током прямой полярности при плотности на электроде 200...400 А/см<sup>2</sup> под флюсом (94...96 % буры и 4...6 % Mg), в защитных газах и плазменную. Электроды могут быть угольные, медные МСр-1, М0 и М1 (диаметром 0,5...0,7 толщины свариваемого металла) и комбинированные АНЦ-1 и АНЦ-2. После сварки шов проковывают. Далее для придания сварочному соединению более высокой вязкости металл нагревают до 550...600 °С и быстро охлаждают в воде. В качестве защитных газов, кроме инертных, используют азот и водород.

*Сварка алюминиевых сплавов* усложнена плохой сплавляемостью металла, потому что на поверхности нагреваемой детали образуется пленка плотного, химически стойкого и тугоплавкого оксида. Температура плавления оксида 2160, алюминия 659 °С. При нагреве до 400...500 °С сплав теряет прочность и деталь может разрушиться даже под действием собственного веса. Коэффициент линейного расширения материала в 2 раза, а теплопроводность в 3 раза больше, чем у стали, что способствует появлению значительных остаточных напряжений в свариваемых деталях. Большая растворимость водорода в расплавленном металле способствует образованию пор.

Пленку удаляют шабрением или растворением во флюсах, или катодным распылением.

Алюминий и его сплавы сваривают одним из следующих способов:

- ручной дуговой сваркой плавящимся или неплавящимся электродом;
- газовой сваркой с применением флюсов или без них;
- аргонодуговой сваркой.



Поверхности перед сваркой очищают от загрязнений. За 2...4 ч до сварки их обезжиривают растворителями.

При дуговой сварке алюминиевых сплавов А6, АДО, АД1, АД2 применяют электроды ОЗА-1 и флюс АФ-4А; сплавов АМц и Ал-9 – электроды А-2; силуминов Ал-2, Ал-4, Ал-5, Ал-9П и Ал-11 – электроды ОЗА-2. Диаметр электродов 4...6 мм. Участок детали под сварку предварительно подогревают в термической печи или пламенем газовой горелки.

Сварку плавящимися электродами ведут короткой дугой прямой полярности. Сила тока выбирается из расчета 40 А на 1 мм диаметра электрода. Скорость наплавки составляет 0,4...0,6 м/мин, а напряжение холостого хода 60...70 В. Перед заваркой трещины по всей ее длине вырубают канавку.

Сварку угольными электродами ведут на постоянном токе прямой полярности. Угольные электроды диаметром 10...18 мм имеют длину 200...700 мм. Детали толщиной до 2 мм сваривают без присадочного материала и разделки кромок, а свыше 2 мм – с зазором 0,5...0,7 толщины стенки или с разделкой кромок. Детали перед сваркой нагревают до температуры 250...300 °С. Оксидную пленку удаляют с помощью флюса АФ-4А. Во время сварки электрод перемещают только вдоль шва без поперечных колебаний, он располагается перпендикулярно к свариваемой поверхности. Дуга должна быть как можно короче.

Сварку алюминиевых сплавов постоянным током обратной полярности применяют редко из-за сильного нагрева электрода.

Газовую сварку без флюса ведут горелкой с восстановительным пламенем. Разогревают место сварки и присадочный материал до расплавления, затем прутком из нержавеющей стали удаляют оксиды и перемешивают основной и присадочный материалы.

Газовая сварка ацетиленокислородным пламенем выполняется с помощью флюсов АФ-4А, АН-4А и других, содержащих хлористые и фтористые соли лития, натрия, калия и бария. Флюс насыпают у кромки разделки и в процессе сварки подвигают его прутком в сварочную ванну.

В качестве флюсов для сварки деталей из алюминиевого сплава подбирают вещества из группы галогенов. Они химически взаимодействуют с оксидом алюминия. Галогены, используемые в качестве сварочного флюса, должны иметь невысокую (600...700 °С) температуру плавления. Этим требованиям удовлетворяют соли щелочных и щелочноземельных металлов (NaF, NaCl, KCl,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ,  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{CaF}_2$  и др.). Флюсы нельзя применить в различных пространственных положениях сварки.

Из-за высокой коррозионной активности флюсов они должны быть после сварки тщательно удалены с детали.

Широкое распространение при восстановлении деталей из алюминиевого сплава получила аргонодуговая сварка на переменном токе. В этом процессе кромки детали и присадочный материал расплавляются теплом электрической дуги, образующейся между вольфрамовым неплавящимся электродом и деталью. При этом из сопла наконечника непрерывно подается аргон, который окружает дугу, создает сосредоточенный нагрев и предохраняет расплавленный металл шва от вредного влияния кислорода и азота воздуха.

Катодное распыление оксидной пленки происходит при сварке переменным током со специальной характеристикой. В полупериоде прямой полярности, когда катодом является нагретый свыше 4000 К вольфрамовый электрод, мощная термоэлектронная эмиссия обеспечивает значительный ток дуги и интенсивное плавление основного металла. Напряжение зажигания почти равно напряжению дуги и при короткой дуге в аргоне может составлять всего 10 В. В полупериоде обратной полярности для зажигания дуги за счет автоэлектронной эмиссии требуется очень большое напряжение –  $\sim 200$  В, так как термоэлектронная эмиссия со сравнительно холодного алюминиевого катода ничтожно мала. Однако в полупериоде обратной полярности идет очень полезный процесс – интенсивное катодное распыление пленки оксида алюминия – благодаря бомбардировке поверхности детали положительными ионами.

В качестве присадочного материала применяют прутки того же состава, что и основной металл, а также проволоку Св-АК5, Св-АК10.

Диаметр электрода и силу тока выбирают в зависимости от толщины свариваемых стенок. Материал подается в дугу под углом  $90^\circ$  к оси вольфрамового электрода. Размеры сварочной ванны должны быть минимальными. Сварку стенок толщиной до 10 мм ведут левым способом. Дуга должна быть как можно короче.

Режим аргонодуговой сварки при толщине стенки 4...6 мм следующий. Диаметр присадочного прутка 3...4 мм, сила тока 150...270 А, напряжение 18...20 В, расход аргона 7...10 л/мин. При добавлении к аргону 10...12 % (по объему) диоксида углерода и 2...3 % кислорода повышается устойчивость горения дуги и улучшается формирование металла.

Аргонодуговая сварка обеспечивает повышение производительности процесса в 3...4 раза по сравнению с ацетиленокислородной сваркой. При этом не применяются электродные покрытия и флюсы, химический состав металла изменяется только за счет некоторого испарения элементов, сварной шов получается плотным, без оксидных пленок, возможна

## 3.46. Характеристика горелок для аргонодуговой сварки

Тип	Ток, А (ПВ = 60 %)	Диаметр, электрода, мм	Масса, г	Тип оборудования
SR-26	≈240; ≈200	0,8...4,0	1350	УДГ-161, УДП-1780, УДГ-251
SRT-12	≈160; ≈125	0,8...2,0	750	УДГ-350

**сварка** стенок толщиной 0,5 мм, а интенсивность излучения дуги снижена в 4...8 раз. Качество шва получается высоким, а коробление детали почти отсутствует. Однако этот вид сварки требует использования дефицитного газа, сопровождается вредными условиями труда, а сварщики должны обладать высокой квалификацией.

Для аргонодуговой сварки применяют водоохлаждаемые горелки ГРАД-200 и ГРАД-400, которые подключаются к источникам питания переменного тока УДГ-301 или УДГ-501.

Сведения о горелках для аргонодуговой сварки германской фирмы «A. Binzel» приведены в табл. 3.46.

**Сварка свинца** также сопровождается образованием тугоплавких оксидов с температурой плавления 888 °С (температура плавления свинца 327 °С). Сварку ведут нейтральным ацетиленокислородным пламенем или с применением газов – заменителей ацетилена. Присадочным материалом служит свинцовая проволока или полоса. В качестве флюса применяют стеарин, которым натирают присадочный материал, или состав из равных частей стеарина с канифолью.

## 3.5. Наплавка покрытий

## 3.5.1. Определение и общая характеристика способа

**Наплавка покрытий** – это процесс нанесения покрытия из расплавленного материала на разогретую до температуры плавления поверхность восстанавливаемой детали.

Покрытия, полученные наплавкой, характеризуются отсутствием пор, высокими значениями модуля упругости и прочности на разрыв. Прочность соединения этих покрытий с основой соизмерима с прочностью материала детали.

Если в машиностроительном производстве наплавку применяют для повышения износостойкости трущихся поверхностей, то в ремонтном производстве – в основном для проведения последующих работ по восстановлению расположения, формы и размеров изношенных элементов. Восстановительная наплавка при этом обеспечивает также получение новых свойств поверхностей: коррозионной, эрозионной, кавитационной. износо-, жаростойкости и др.

Доля трудоемкости сварки и наплавки составляет  $\sim 70\%$  всех способов создания ремонтных заготовок при восстановлении деталей. Наплавка изношенных поверхностей занимает ведущее место вследствие своей универсальности.

Способы наплавки делят на группы в зависимости от видов применяемых источников тепла, характера легирования и способа защиты формируемого покрытия от влияния кислорода и азота воздуха. Наибольшее распространение в ремонте при нанесении покрытий получили способы электродуговой наплавки: под флюсом, в среде защитных газов и вибродуговая (табл. 3.47).

Задача, решаемая при наплавке покрытий, – получить покрытие без пор, необходимой толщины, прочно соединенное с поверхностью детали, нужного химического состава с заданной структурой.

**3.47. Основные показатели способов наплавки**

Способ	Толщина слоя, мм	Производительность, кг/ч	Прочность соединения, МПа
Электродуговая самозащитной проволокой	0,5...3,5	1,0...3,0	450
Электродуговая под слоем флюса	1,0...5,0	0,3...3,0	550
Электродуговая в среде диоксида углерода	0,5...3,5	1,5...4,5	
Электродуговая в среде аргона	0,5...2,5	0,3...3,6	450
Вибродуговая	0,5...1,5	0,3...1,5	400
Газопламенная	0,5...3,5	0,15...2,0	480
Плазменная (порошковая)	0,5...5,0	1...12	490

### 3.5.2. Подготовка материалов и заготовок к наплавке

Перед наплавкой очищают и прокаливают наплавочные материалы, обрабатывают поверхности деталей и при необходимости предварительно нагревают их.

Для получения высококачественного покрытия поверхности электродов и детали перед наплавкой очищают, чтобы полностью удалить загрязнения (влагу, масло, пыль, ржавчину). Поверхности очищают растворами ТМС и органическими растворителями (ацетон). Для удаления ржавчины и мелких трещин применяют дисковые и ленточные инструменты из абразивных материалов или проводят дробеструйную обработку.

С помощью предварительной обработки удаляют трещины, следы изнашивания, упрочненные слои и др.

Наплавочные материалы прокаливают (табл. 3.48) для удаления влаги, которая может быть источником водорода, диффундирующего в наплавленный слой и зону термического влияния, где вследствие водородной хрупкости возникают холодные трещины. Характеристика установок для сушки и прокали электродных материалов приведена в табл. 3.49.

Предварительный нагрев изделия непосредственно перед наплавкой предотвращает растрескивание наплавленного слоя. Нагрев ведут в печах, газовыми горелками или ТВЧ.

3.48. Температура прокаливания наплавочных материалов

Материал	Температура, К
Электроды с покрытиями:	
– высокорутиловым	353...393
– карбонатно-рутиловым	473...523
– основного типа	573...623
– графитсодержащим	423...473
Порошковая проволока, содержащая:	
– керамический флюс	523...573
– плавленный флюс	523...673

**3.49. Установки для сушки и прокалики электродных материалов**

Марка	Напря- жение, В	Мощность, кВт	Темпера- тура нагрева, °С	Масса электродов, кг	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
СНОЛ-3,5.5,3	220	4	70...350	70	520×550×630	50
СНО-1		1		12	720×200×230	12
СШО-3,2.3,2		4	90...350	90	830×900×600	90
СШО-3,2.3,2	380					

При недостаточной температуре подогрева могут возникнуть трещины, а чрезмерный нагрев снижает скорость охлаждения и увеличивает глубину проплавления основного металла, что не обеспечивает требуемой твердости наплавленного металла. Правильный выбор температуры предварительного нагрева особенно важен при наплавке твердых материалов.

**3.5.3. Классификация и применение электродуговой наплавки**

Электродуговая наплавка имеет много видов. При их классификации учитывают следующие классификационные признаки:

- уровень механизации (ручная, полуавтоматическая, автоматическая);
- вид применяемого тока (постоянный, переменный, импульсный, специальной характеристики);
- вид электрода (плавящийся, неплавящийся);
- полярность электрода при постоянном токе (прямая, обратная);
- вид дуги (прямая, косвенная);
- режим (стационарный, нестационарный);
- способ защиты зоны наплавки от воздушной атмосферы (в среде защитных газов, водяных паров, жидкости, под слоем флюса, комбинированный);
- способ легирования наплавляемого металла (покрытием электрода, флюсом, электродным материалом, комбинированный).

Электродуговая наплавка получила наибольшее распространение в ремонте машин среди способов нанесения покрытий. Этот способ по

сравнению с другими способами создания ремонтных заготовок дает возможность получать слои с высокой производительностью практически любой толщины, различного химического состава и с высокими физико-механическими свойствами. Наплавочные покрытия наносят на цилиндрические поверхности диаметром  $\geq 12$  мм.

### ***3.5.4. Технологические особенности и расчеты электродуговой наплавки***

Технологические особенности электродуговой наплавки используют в целях ослабления нежелательных сопутствующих явлений, таких как окисление металла, поглощение азота, выгорание легирующих примесей и нагрев материала детали выше температуры фазовых превращений. Эти явления приводят к снижению прочности сварочного шва, нарушению термообработки материала, объемным, структурным и фазовым изменениям и короблению детали. Перемешивание материалов основы и покрытия ухудшает его свойства.

При электродуговой наплавке применяют главным образом плавящиеся электроды. Неплавящиеся угольные электроды с введением присадочного материала в дугу используют при сварке тонколистовой стали и свинца и при наплавке твердыми сплавами почворежущих деталей. Сварка неплавящимся вольфрамовым электродом применяется при аргонодуговой наплавке.

Дуга может гореть между электродом и изделием или между электродами. Полярность может быть прямая («+» на детали) или обратная.

При наплавке между покрытием и основой образуется металлическая связь, поэтому особое значение имеет свариваемость материалов, которая определяется как свойство создавать прочное сварное соединение без трещин, пор и других дефектов.

Проблемой наплавки являются трещины двух видов: горячие и холодные (замедленного разрушения).

Материал детали, прилегающей к наплавленному слою, характеризуется максимальной твердостью и склонностью к образованию трещин замедленного разрушения. Для предотвращения трещинообразования обычно применяют следующие меры:

- предварительный и сопутствующий подогрев во время наплавки для поддержания заданной температуры основного металла;
- наплавку после удаления с поверхности детали слоя, содержащего дефекты или отличающейся повышенной твердостью;

- подогрев изделия после наплавки и замедленное охлаждение наплавленного металла;
- последующую термическую обработку;
- наплавку эластичного подслоя на поверхность основного металла, обладающего удовлетворительной свариваемостью;
- уменьшение числа слоев при многослойной износостойкой наплавке;
- выбор для износостойкой наплавки способов, при использовании которых возникают меньшие термические напряжения в изделиях;
- выбор наплавочного материала для первого слоя коррозионно-стойкой наплавки с учетом влияния основного металла на состав наплавленного слоя.

При наплавке углеродистых и низколегированных сталей вероятность образования трещин увеличивается с повышением углеродного эквивалента  $C_3$ , который служит показателем свариваемости:

$$C_3 = C + 1/16Mn + 1/24Si + 1/40Ni + 1/5Cr + 1/4Mo + 1/14V. \quad (3.8)$$

Между углеродным эквивалентом и максимальной твердостью  $HV_{\max}^{0.1}$  зоны термического влияния существует линейная зависимость:

$$HV_{\max}^{0.1} = (660C_3 + 40) \pm 40. \quad (3.9)$$

Если максимальная твердость в зоне термического влияния выше 325 HV, то рекомендуется предварительный подогрев до 530 К, соответственно, при твердости 250...325 HV – подогрев  $\sim 430$  К, а при твердости 200...250 HV подогрев осуществляется только в случае необходимости.

Горячие трещины возникают во время кристаллизации наплавленного металла. В это время на границе зерен образуется легкоплавкий расплав (эвтектика), разрушающийся под влиянием усадочной деформации. Для оценки склонности к горячим трещинам рассчитывают показатель Уилкинсона – H.C.S. по уравнению

$$H.C.S. = \frac{C(S+P+Si/25+Ni/100)}{2Mn+Cr+Mo+V} 10^3. \quad (3.10)$$

При  $H.C.S. > 1,7$  горячие трещины не возникают.

Технологические расчеты электродуговой наплавки выполняются в такой последовательности.



Назначают диаметр электрода в зависимости от толщины стенки детали или толщины покрытий. При восстановительных работах чаще назначают диаметр электрода  $d_2 = 1,6...2,5$  мм.

Принимают плотность тока  $j$ : при ручной духовой наплавке  $10...30$  А/мм<sup>2</sup>, при автоматической наплавке под слоем флюса  $100...200$  А/мм<sup>2</sup>, а при наплавке в среде защитного газа  $> 200$  А/мм<sup>2</sup>.

Сила сварочного тока (в амперах)

$$I = \frac{\pi d_2^2}{4} j. \quad (3.11)$$

Напряжение дуги  $U$  (в вольтах) зависит от силы сварочного тока. При наплавке под слоем флюса, например, напряжение дуги равно

$$U = 21 + 0,04I. \quad (3.12)$$

Масса наплавленного металла  $m_{\text{ч}}$  за 1 ч (в г/ч) равна

$$m_{\text{ч}} = \alpha_{\text{н}} I, \quad (3.13)$$

где  $\alpha_{\text{н}}$  – коэффициент наплавки, определяющий массу наплавленного металла при силе тока 1 А за 1 ч, г/(А·ч).

Коэффициент наплавки на постоянном токе [в г/(А·ч)] при ручной наплавке тонкообмазанными электродами равен 7,8...8,5, толстообмазанными электродами 10...14, под слоем флюса 14...16, электрошлаковой наплавке 20...25, ленточными электродами под слоем флюса 15...20, при вибродуговой наплавке 8...10, в среде диоксида углерода 12...14. В среднем на 1 кг наплавленного металла при ручной дуговой наплавке на переменном токе затрачивается 3,5...4,5 кВт·ч электроэнергии, а на постоянном токе 7...8 кВт·ч.

Масса подаваемой в зону наплавки проволоки за 1 ч (в г/ч) равна массе наплавленного за это время металла:

$$m_{\text{ч}} = \frac{\pi d_2^2}{4} \gamma v_{\text{пр}}, \quad (3.14)$$

где  $\gamma$  – плотность металла проволоки, г/см<sup>3</sup>;  $v_{\text{пр}}$  – скорость подачи проволоки наплавки, см/мин.

Приравняв правые части зависимостей (3.13) и (3.14), определяют скорость подачи электродной проволоки  $v_{\text{пр}}$  (м/ч):

$$v_{\text{пр}} = \frac{4\alpha_n I}{\Pi d_3^2 \gamma}. \quad (3.15)$$

Площадь сечения наплавки  $F_n$  (см<sup>2</sup>) равна

$$F_n = \frac{\alpha_n I_n}{\gamma v_n}, \quad (3.16)$$

где  $v_n$  – скорость наплавки, см/ч.

Отсюда находят скорость наплавки

$$v_n = \frac{\alpha_n I_n}{F_n \gamma} = \frac{10\alpha_n I_n}{B h k_1 \gamma}, \quad (3.17)$$

где  $B$  и  $h$  – ширина и высота валика, см;  $k_1$  – коэффициент площади валика (0,5...0,7).

Частота вращения детали  $n$  (мин<sup>-1</sup>) при наплавке

$$n = \frac{600v_n}{\Pi d_d} = 6000 \frac{\alpha_n I_n}{\Pi d_d B h k_1 \gamma}, \quad (3.18)$$

где  $d_d$  – диаметр детали, мм.

Основное время наплавки  $t_0$  (мин) равно

$$t_0 = \frac{l}{S_n n}, \quad (3.19)$$

где  $l$  – длина наплавляемой шейки, мм;  $S_n$  – шаг наплавки, мм/об.

Расход материала  $Q_{\text{пр}}$  на восстанавливаемую деталь

$$Q_{\text{пр}} = \frac{\Pi d_3^2}{4} v_{\text{пр}} \gamma t_0. \quad (3.20)$$

Глубина проплавления основного металла и производительность процесса зависят от сварочного тока, угла наклона электрода и скорости наплавки. Глубину проплавления  $h_{\text{пр}}$  определяют из выражения

$$h_{\text{пр}} = (0,0061...0,0085) \sqrt{\eta I U / v_n}, \quad (3.21)$$

где  $\eta$  – коэффициент использования тепла при наплавке, равный отношению количества тепла, затраченного на расплавление металла (зависит от

рода тока и полярности), к количеству тепла, выделившегося из электрической дуги.

С ростом тока (при постоянных скорости наплавки и напряжении) возрастают объем жидкой ванны и площадь проплавления металла, что приводит к увеличению высоты наплавленного валика. Однако при дальнейшем повышении тока ухудшается формирование наплавленного шва.

Шаг наплавки определяется шириной наплавленного валика  $B$ . Обычно его устанавливают с таким расчетом, чтобы перекрытие составляло  $1/3 \dots 1/2$  ширины валика. Ширина валика примерно в  $2 \dots 3$  раза больше его высоты.

Вылет электрода влияет на распределение тепла, расходуемого на нагрев электродной проволоки и материала детали. Эта величина вместе с другими параметрами отвечает за образование высококачественного покрытия. При использовании наплавочной проволоки диаметром  $1,2 \dots 1,5$  мм вылет составляет  $10 \dots 20$  мм, при диаметре  $1,6 \dots 2,0$  мм он равен  $20 \dots 25$  мм, а для стальной ленты  $30 \dots 35$  мм.

Режимы наплавки покрытий уточняют после расчета величины погонной энергии сварочной дуги  $W$ . Эта величина равна количеству тепла, введенного в единицу длины шва:

$$W = 0,24IU\eta_n/v_n, \quad (3.22)$$

где  $\eta_n$  – коэффициент использования тепла, для наплавки под слоем флюса составляющий  $0,8 \dots 0,9$ .

Для получения покрытий хорошего качества значение  $W$  должно быть в пределах  $630 \dots 1590$  кДж/м. Чем больше диаметр электродной проволоки и габаритные размеры деталей, тем больше должна быть  $W$ .

### 3.5.5. Ручная электродуговая наплавка

*Ручная электродуговая наплавка* выполняется в основном электродами с толстым покрытием и в тех случаях, когда применение механизированных способов невозможно или нецелесообразно.

Для получения минимальной глубины проплавления основного металла электрод наклоняют в сторону, обратную направлению наплавки. Наплавку выполняют электродами диаметром  $2 \dots 6$  мм на постоянном токе  $80 \dots 300$  А обратной полярности с производительностью  $0,8 \dots 3,0$  кг/ч. Требуется высокая квалификация сварщиков, потому что наплавку необходимо вести на минимально возможных токе и напряже-

нии с целью уменьшения доли основного металла в наплавленном слое, при этом необходимо обеспечить сплавление основного и наплавленного металлов.

Температуру предварительного подогрева деталей при дуговой наплавке покрытыми электродами выбирают из табл. 3.50.

Процесс применяют для нанесения износостойких материалов на поверхности корпусных деталей, кронштейнов, рычагов и других деталей в единичном производстве.

**3.50. Температура предварительного подогрева деталей при дуговой наплавке покрытыми электродами в зависимости от вида наплавочного материала**

Наплавочный материал	Температура предварительного подогрева, К
Материалы для износостойкой наплавки:	
– стеллит	573...773
– перлитная сталь	423
– мартенситная сталь	423
– марганцовистая аустенитная сталь	Не подогревают
– высокохромистые на основе железа	423
– карбид вольфрама	573
Коррозионно-стойкая сталь:	
– аустенитная	Не подогревают
– ферритная	373...673
Никель и его сплавы:	
– никель	Не подогревают
– инконель	393
– монель-металл	373
Медь и ее сплавы:	
– медь	553...873
– бронза	Не подогревают
– медно-никелевый сплав	423

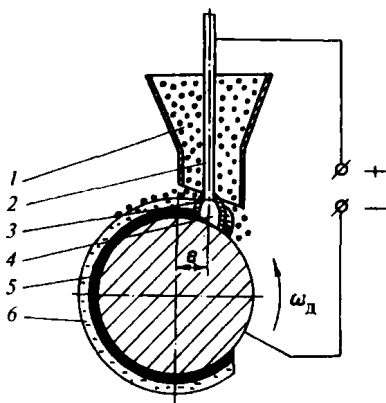
### 3.5.6. Электродуговая наплавка под слоем флюса

Этот вид наплавки, по сути, является развитием ручной наплавки электродами с толстыми качественными покрытиями. Наплавка под слоем флюса разработана коллективом под руководством акад. Е.О. Патона в 1938–39 гг.

Сущность *электродуговой наплавки под слоем флюса* заключается в том, что сварочная дуга горит между голым электродом и изделием под слоем толщиной 10...40 мм сухого гранулированного флюса с размерами зерен 0,5...3,5 мм.

В зону наплавки подают электродную сплошную или порошковую проволоку (ленту) и флюс (рис. 3.22). К детали и электроду прикладывают электрическое напряжение. При электродуговой наплавке под слоем флюса применяют постоянный ток обратной полярности. При наплавке цилиндрических поверхностей электрод смещают с зенита в сторону, противоположную вращению. Величина смещения составляет  $\sim 10\%$  диаметра наплавляемой детали. Электрод должен составлять угол с нормалью к поверхности  $6...8^\circ$ . Флюс в зону наплавки подают из бункера. Расход флюса и, соответственно, толщину его слоя на поверхности детали регулируют открытием шибера. После зажигания дуги одновременно плавятся электродная проволока, поверхность детали и флюс. Сварочная дуга с каплями металла оказывается в объеме газов и паров, ограниченном жидким пузырем из расплавленного флюса. Этот пузырь обволакивает зону наплавки и изолирует ее от кислорода и азота воздуха.

Жидкий металл в сварочной ванне постоянно движется и перемешивается. Металл сварочного шва, полученного под флюсом, состоит из расплавлен-



**Рис. 3.22. Схема наплавки под слоем флюса:**  
 1 – бункер с флюсом; 2 – электрод; 3 – оболочка расплавленного флюса; 4 – газопаровой пузырь;  
 5 – наплавленный слой; 6 – шлаковая корка;  
 $e$  – величина смещения электрода с зенита;  
 $\omega_d$  – угловая частота вращения детали

ного присадочного (1/3) и переплавленного основного металла (2/3). Массы расплавленных флюса и присадочного металла примерно одинаковы.

Флюс при электродуговой наплавке является вспомогательным материалом, он вместе с выбором материала проволоки и режимов наплавки играет важную роль в обеспечении необходимых свойств получаемого покрытия. Флюсы применяют как в виде сухих зерен, так и в виде пасты из зерен со связующим. Элементы флюса выполняют свои функции после расплавления, сгорания или разложения. Расплавленный флюс должен быть жидкотекучим. Температура плавления присадочного материала должна превышать на 100...150 °С температуру плавления флюса. Однако флюс не должен кипеть при рабочей температуре наплавки.

Флюс при наплавке покрытий осуществляет следующие функции:

- устойчивое горение дуги;
- защиту расплавленного металла от воздействия кислорода и азота воздуха;
- очистку расплавленного металла от включений и его раскисление;
- легирование необходимыми элементами материала покрытия;
- образование в дальнейшем теплоизоляционного слоя из флюса и его корки, что замедляет процесс затвердевания металла.

Для выполнения этих функций в составе флюса имеются такие вещества:

- стабилизирующие процесс горения дуги (сода, поташ, диоксид титана, мел, мрамор и др.);
- газообразующие из органических соединений (крахмал, мука пшеничная или древесная, декстрин) для создания среды, защищающей расплавленный металл от вредного влияния атмосферы;
- шлакообразующие и раскисляющие (титановый концентрат, марганцевая руда, полевой и плавиковый шпаты, кварц, гранит, мрамор, каолин и др.), которые очищают расплавленный металл;
- легирующие (ферромарганец, ферросилиций, ферротитан, алюминий и др.);
- связующие добавки (жидкое стекло, декстрин и др.).

Следует отдельно отметить, что в результате выполнения флюсом своих функций создаются благоприятные условия для:

- выхода газов из шва;
- более полного протекания диффузионных процессов;
- формирования равновесных структур и достижения высокого термического КПД наплавки;
- получения однородного наплавленного металла с гладкой поверхностью и плавным переходом от валика к валику;

- применения токов большей плотности, чем при ручной наплавке покрытыми электродами;
- исключения разбрызгивания и уменьшения угара металла;
- снижения потерь тепла сварочной дуги на излучение и нагрев потоков окружающего воздуха;
- улучшения условий труда.

Расплавленные флюсы взаимодействуют с оксидными пленками как химические реагенты или физические растворители. В первом случае они образуют с оксидами легкие химические соединения с низкой температурой плавления, которые всплывают на поверхность сварочной ванны. Химически действующие флюсы бывают кислыми (борная кислота  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , бура  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , кварцевый песок  $\text{SiO}_2$ ) и основными. Если оксиды в ванне расплавленного металла кислые ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и др.), то применяют основные флюсы, а для взаимодействия с основными оксидами ( $\text{FeO}$ ,  $\text{CuO}$  и др.) используют кислые флюсы. Во втором случае флюсы растворяют оксиды металлов и образуют шлаки, также всплывающие на поверхность расплавленного металла.

При наплавке часть легирующих компонентов выгорает, их пополнение идет из материала электродной проволоки и (или) материала флюса.

Флюсы по составу и способу приготовления делятся на: плавленые, керамические (неплавленные) и смеси.

*Плавленные флюсы* получают сплавлением исходных материалов (марганцевой руды, кварцевого песка, известняка, плавикового шпата, магнезита, диоксида титана и др.) в электрических или пламенных печах с последующей грануляцией. Расплавленную массу выливают в воду и таким образом получают стекло- или пемзовидный гранулированный флюс в виде частиц круглой формы. Плавленные флюсы содержат стабилизирующие, газо- и шлакообразующие компоненты и раскислители (оксиды кремния и марганца).

Плавленные флюсы подразделяются на виды в зависимости от массовой доли оксидов кремния и марганца. Марганцовистые флюсы содержат  $> 12\%$   $\text{MnO}$ . Низкокремнистые флюсы включают  $< 30\%$ , а высококремнистые  $> 30\%$   $\text{SiO}_2$ .

Широко применяют в ремонте высококремнистые марганцовистые флюсы марок АН-348А и ОСЦ-45, которые имеют в своем составе 38...44 % оксида марганца, обеспечивают устойчивое горение дуги, хорошее формирование сварочных валиков и небольшое количество пор в наплавленном металле. Низкокремнистые безмарганцовистые флюсы марок АН-20 и АН-30 уменьшают возможность появления горячих трещин и пор в наплавленном слое.

Химический состав плавяных флюсов по ГОСТ 9087–81 приведен в табл. 3.51.

Плавяные флюсы хорошо защищают сварочную ванну, обеспечивают малую склонность к образованию трещин в покрытии, удовлетворительную отделяемость шлаковой корки, но не содержат легирующих веществ. Флюсы АН-348А, ОСЦ-45, АН-8 применяют для наплавки деталей из углеродистых сталей, а флюсы АН-22, АН-26 – для наплавки деталей из легированных сталей.

3.51. Содержание компонентов в плавяных флюсах, мас. %

Марка флюса	SiO <sub>2</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O <sub>4</sub> и Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	S	P	FeO
АН-1	36... 38	15... 17	13... 15	11... 13	2...3	–	–	16... 18	–	–	–
АН-3	48... 50	15... 18	–	15... 18	8... 10			2...3			
АН-8	33... 36	21... 26	11... 15	4...7	5... 7,5		1,5... 3,5	13... 19	0,15	0,15	
АН-10	20... 23	29... 34	19... 21	3...5	до 1,2		1,2	18... 24		0,20	
АН-20	22	до 0,5	30	5	11	2,7	–	29	0,08	0,05	1
АН-22	18... 21	7...9	19... 23	12... 15	11,5... 15	1...2	1	20... 24	0,05		–
АН-26	29... 33	2,5... 4,7		4...8	15... 18		1,5		0,10	0,10	
АН-30	3	> 0,5	41,5	18	14,5	–	–	21	0,08	0,05	1
АН-348А	41... 44	34... 38	> 4,5	> 6,5	5,75			4... 5,5	0,15	0,12	–
ОСЦ-45	38... 44	38... 47	4,5	6,5	2,5		2	6...9		0,15	
ФЦ-9	39	40	11	3,5	1		0,5	2,6	–	–	2
ФЦЛ-2	36	–	6	32	16		–	8			



*Керамические флюсы* представляют собой механическую смесь легирующих, модифицирующих и шлакообразующих составляющих, соединенных жидким стеклом (17...18 мас. % сухих компонентов). Флюсы получают смешиванием порошков исходных материалов с добавкой связующего вещества. Затем массу дробят на гранулы размером 2...3 мм и сушат. Время сушки материала флюса 20 мин при температуре 200 °С.

Керамические флюсы содержат ферросплавы (феррохром, ферромарганец, ферросилиций, ферротитан), которые придают флюсам легирующие свойства. При этом отдельные легирующие вещества выполняют и функцию раскислителей. Эти флюсы содержат до 50 % неокисленных элементов, что позволяет активно воздействовать на металлургические процессы и получать металл покрытия с необходимыми механическими свойствами. Однако легирующие элементы распределены в объеме материала флюса неравномерно, что объясняет химическую и структурную неоднородность покрытий и, как следствие, их «пятнистую» твердость.

Наиболее распространены для наплавки деталей керамические флюсы АНК-18, АНК-19, АНК-30 и ЖСН-1. Например, состав керамического флюса АНК-18 (мас. %) следующий: 6...7  $\text{CaCO}_3$ , 26...28  $\text{CaF}_2$ , 26...30  $\text{MgO}$ , 17...18  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 7...11  $\text{SiO}_2$ , 2,0...2,5  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  или  $\text{K}_2\text{O}$ , 5,2...6,5  $\text{Cr}$ , 2...2,5  $\text{Mn}$ , 0,12...0,20  $\text{C}$ , 0,2...0,3  $\text{Ti}$ , 1,9...2,0  $\text{Al}$ , 0,2...0,3  $\text{Si}$ , 3...4  $\text{Fe}$ , до 0,15  $\text{S}$  и  $\text{P}$ .

Флюсы-смеси получают смешением плавящихся и керамических флюсов или плавящихся с ферросплавами и графитом. Например, к плавящемуся флюсу АН-348А добавляют легирующие элементы в виде серебристого графита из электродов сталеплавильных печей, ферромарганца (70...80 %  $\text{Mn}$  и 1,5...2,0 %  $\text{C}$ ), ферросилиция (включает 70...80 %  $\text{Si}$ ), феррохрома (содержит 70...80 %  $\text{Cr}$ ) и алюминиевого порошка. Такие флюсы обеспечивают получение закалочной структуры материала без последующей термообработки.

Марку электродного материала, как и флюса, выбирают с учетом требуемых физико-механических свойств наплавленного покрытия. Применяют следующие электродные материалы: проволоку сплошного сечения (углеродистую, легированную, высоколегированную) и порошковую проволоку (легированную, высоколегированную). Для повышения производительности процесса служат также ленточные электроды из стальной, спеченной, металлокерамической или порошковой ленты.

Для получения наплавленного металла требуемых химического состава и свойств применяют легирование через электродную проволоку и (или) флюс.

При легировании через проволоку наплавку ведут высокоуглеродистой или легированной проволокой под плавленным флюсом. При этом обеспечиваются высокая точность легирования и стабильность химического состава наплавленного металла по глубине покрытия.

Легирование наплавленного металла через флюс выполняют наплавкой малоуглеродистой проволокой под слоем керамического флюса. Высокая твердость покрытий исключает их последующую термическую обработку. Однако этот способ легирования не нашел широкого применения из-за большой неравномерности наплавленного металла по химическому составу и необходимости строго выдерживать режим наплавки.

Комбинированный способ легирования одновременно через проволоку и флюс получил наибольшее распространение.

В качестве источников питания применяют выпрямители ВС-300, ВДУ-504, ВС-600, ВДГ-301 и преобразователи ПСГ-500 с плогопадающей или жесткой внешней характеристикой. В роли вращателей деталей используют специальные установки (УД-133, УД-140, УД-143, УД-144, УД-209, УД-233, УД-299, УД-302, УД-651, ОКС-11200, ОКС-11236, ОКС-11238, ОКС-14408, ОКС-27432, 011-1-00 РД) либо списанные токарные или фрезерные станки. Для подачи проволоки применяют головки А-580М, ОКС-1252М, А-765, А-1197.

Основные технологические параметры наплавки: состав электродного материала и флюса, напряжение дуги  $U$ , сила  $I$  и полярность тока, скорость наплавки  $v_n$  и подачи  $v_n$  электродного материала, шаг наплавки  $S$ , смещение электрода с зенита  $e$ , диаметр  $d_z$  и вылет электрода. Примерные режимы наплавки под слоем флюса цилиндрических деталей приведены в табл. 3.52.

Наплавка под слоем флюса имеет следующие разновидности.

*Наплавка лежащим электродом* (прутковым или пластинчатым) из низкоуглеродистой или легированной стали применяется для восстановления плоскостей. Часть флюса насыпают на восстанавливаемую поверхность (толщиной 3...5 мм), а часть – на электрод (толщина слоя флюса достигает 10...15 мм). Применяют флюсы-смеси. В одном месте электрод замыкают с деталью для возбуждения дуги, которая при горении блуждает в поперечном направлении. Плотность тока составляет 6...9 А/мм<sup>2</sup> напряжение 35...45 В. Для выполнения процесса имеется установка ОКС-11240 ГосНИТИ.

Повышение производительности и более высокое содержание легирующих элементов в покрытии обеспечиваются *многоэлектродной наплавкой* под флюсом на детали со значительным износом на большой площади (рис. 3.23). Блуждающая дуга горит между деталью и ближайшим к ней электродом.

## 3.52. Режимы наплавки под слоем флюса цилиндрических деталей

$D$ , мм	$I$ , А		$U$ , В	$v_{н1}$ м/мин	$v_{н2}$ м/мин	$e$ , мм	$S$ , мм	$h$ , мм
	$d_1 =$ = 1,2... 1,6 мм	$d_2 =$ = 2,0... 2,5 мм						
50...60	120... 140	140... 160	26...28	16...20	77	3	3,0	1,5... 2,5
65...75	150... 170	180... 220		16...28	87	4	3,5... 4,0	
80... 100	180... 200	230... 280	28...30	16...30	104	6	4,0	2,0... 3,0
150... 200	230... 250	300... 350	30...32	16...32	140	12	5,0	
250... 300	270... 300	350... 380		16...35	200	18	6,0	

Условные обозначения:  $D$  – диаметр детали;  $h$  – высота слоя наплавки.

*Наплавка по слою порошка* (толщиной 6...9 мм) под флюсом повышает производительность процесса и обеспечивает получение толстых покрытий нужного состава.

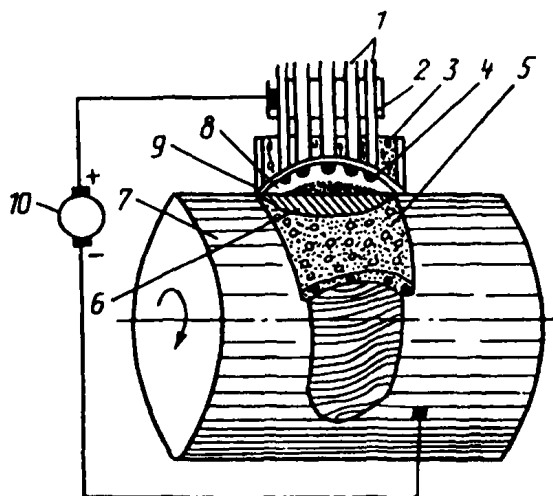
Область применения механизированной наплавки под слоем флюса распространяется на восстановление деталей (диаметром более 50 мм) из углеродистых и низколегированных сталей, требующих нанесения слоя толщиной > 2 мм с высокими требованиями к его физико-механическим свойствам. Наплавляют шейки валов, поверхности катков и роликов, направляющие станин и другие элементы.

Механизированная наплавка под слоем флюса обладает такими преимуществами:

- повышением производительности труда в 6...8 раз по сравнению с ручной электродуговой наплавкой с одновременным снижением расхода электроэнергии в 2 раза за счет более высокого термического КПД;

- высоким качеством наплавленного металла благодаря насыщению необходимыми легирующими элементами и рациональной организации тепловых процессов;

- возможностью получения покрытий толщиной > 2 мм;



**Рис. 3.23. Многоэлектродная наплавка под слоем флюса:**

- 1 – электроды; 2 – токоподводящий контакт;  
3 – флюс; 4 – электрическая дуга; 5 – шлаковая корка; 6 – наплавленный металл;  
7 – восстанавливаемая деталь; 8 – газопаровой пузырь; 9 – оболочка расплавленного флюса;  
10 – источник питания

- меньшим расходом присадочного материала в результате исключения потерь на разбрызгивание, отсутствием «огарков» и уменьшением угара металла;

- лучшими условиями труда наплавщиков за счет механизации процесса и отсутствия открытой дуги.

Недостатками процесса являются:

- большое вложение тепла в материал детали, что увеличивает зону термического влияния и изменяет результаты предыдущей термической обработки. После наплавки

обычно требуется последующая термическая обработка, хотя применение керамического флюса ее исключает;

- трудности удержания ванны расплавленного металла на поверхности цилиндрической детали и необходимость удаления шлаковой корки. По первой причине детали диаметром  $< 50$  мм под слоем флюса не наплавляют;

- уменьшение усталостной прочности деталей до 20...40 % за счет остаточных напряжений, пористости и структурной неоднородности;

- появление при загрузке флюса в бункер и его просеивании после использования силикатной пыли, вредной для организма человека.

В качестве оборудования для электродуговой наплавки ИЭС им. Е.О. Патона разработал наплавочные станки У-651 и У-653.

Станок У-651 предназначен для наплавки наружных поверхностей деталей (в том числе шлицев), а также сварки деталей, имеющих кольцевые и продольные швы простой формы. Он позволяет вести наплавку открытой дугой сплошной самозащитной проволокой диаметром 1...2 мм,

порошковой проволокой диаметром 2...3 мм и в среде защитных газов проволокой диаметром 1...2 мм. Применяется наплавочный автомат А-1408У4. Станок позволяет наплавлять детали диаметром 20...500 мм, длиной 1300 мм и массой до 200 кг.

Станок У-653 служит для наплавки наружных и внутренних цилиндрических и конических поверхностей, шлицев и плоских поверхностей. Этот станок дает возможность вести наплавку открытой дугой сплошной самозащитной проволокой диаметром 2...5 мм, порошковой проволокой диаметром 2...3 мм, в среде защитных газов проволокой диаметром 2...5 мм и под слоем флюса проволокой диаметром 2...5 мм. Применяется наплавочный автомат А-1406. Станок позволяет наплавлять детали диаметром 20...800 мм, длиной 1300 мм и плоские детали длиной 1200 мм, шириной 400 мм. Масса наплавляемых деталей до 200 кг. Станок укомплектован флюсосборником.

Станки имеют унифицированные станины, тумбы и стойки. На станинах установлены механизмы вращения детали с коробками скоростей и подачи. По направляющим станины перемещаются наплавочный автомат и пинцель. Для отвода газов из зоны наплавки применяют вытяжную вентиляцию.

ГОСНИТИ разработал станок ОКС-11232 для наплавки деталей типа валов (в том числе коленчатых). Станок создан на базе унифицированных основных частей, укомплектован сварочным выпрямителем ВДГ-301.

Установки нового поколения для нанесения покрытий разработал ВНИИТУВИД «Ремдеталь»:

УД-609.02 Ремдеталь с источником питания ПДГ-516, предназначенную для наплавки порошковыми проволоками;

УД-609.03 Ремдеталь с источником питания ПДГ-516 для наплавки под флюсом;

УД-609.05 Ремдеталь для дуговой наплавки с газопламенной защитой;

УД-609.07 Ремдеталь с источником питания ВДУ-506 для тонкослойной наплавки;

УД-609.08 Ремдеталь с пневматическим механизмом подачи шнура ТОП-ЖЕТ-2 для наплавки шнуровыми материалами.

Особенность названного оборудования состоит в том, что оно способно наносить наплавочные или газотермические покрытия на детали практически любой конфигурации.

Каждая технологическая машина состоит из модулей: технологического, перемещающего детали и управляющего. Технологический модуль для дуговой наплавки включает в себя: механизм подачи электродной

проволоки, механизм подачи флюса или газа, горелку и кассеты для электродной проволоки. Модуль перемещения детали обеспечивает вспомогательные и основные перемещения горелки, в том числе в начале операции и ее конце при выходе модуля в исходное положение. Модуль перемещения состоит из механизмов прямолинейного и вращательного перемещений, которые оснащены приводами постоянного тока. Погрешность технологических перемещений составляет  $\pm 1$  мм. Структура модуля перемещения детали позволяет использовать серийные системы ЧПУ.

В зависимости от требований к уровню автоматизации управляющий модуль имеет три модификации для ручного, циклового и контурного управления. Модификация циклового управления для модуля с четырьмя степенями свободы построена на базе серийного микропроцессорного командоаппарата и системы следящих приводов исполнительных механизмов. Модификация контурного управления построена на базе серийной СЧПУ и обеспечивает перемещение инструмента по сложной траектории. В этом случае для управления технологическим модулем требуется значительный объем памяти, рассчитанный на хранение рабочей программы.

### 3.5.7. Электрошлаковая наплавка

*Электрошлаковая наплавка* (ЭШН) разработана в 1974 г. в ИЭС им. Е.О. Патона. Она характеризуется тем, что на нагретой поверхности детали образуется ванна расплавленного флюса, в которую введен электрод, а к детали и электроду приложено напряжение (рис. 3.24). Ток, проходящий от электрода через жидкий шлак к детали, выделяет тепло, достаточное для плавления шлака и электродного металла.

Зона наплавки на поверхности восстанавливаемой детали ограничена поверхностями водоохлаждаемого кристаллизатора и технологической пластины. Размеры этой зоны определяют сечение наплавленного покрытия. Возможная толщина слоя наплавки  $\geq 12...14$  мм. Кристаллизатор изготавливают из меди, графита или керамики.

Различают следующие виды ЭШН:

- электродными проволоками, лентами или порошковым присадочным материалом;
- одно- или многоэлектродную;
- с плавящимся или неплавящимся электродом.

ЭШН применяют для получения биметаллических изделий и восстановления изношенных поверхностей крупных деталей с износом  $> 10$  мм. Таким образом восстанавливают опорные катки гусеничных ма-

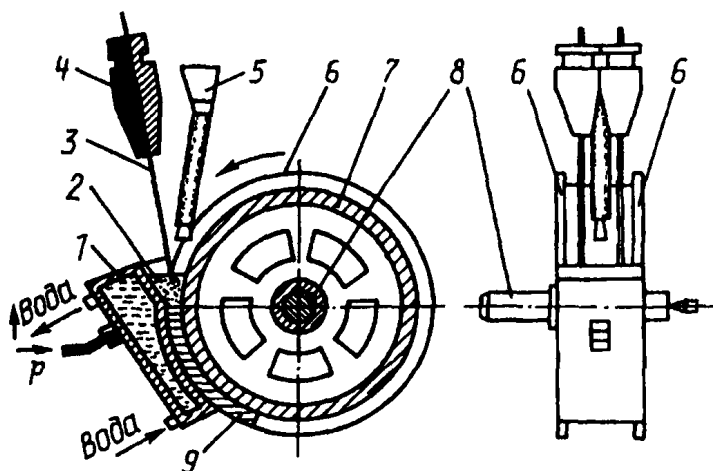


Рис. 3.24. Схема электрошлаковой наплавки:

1 — кристаллизатор; 2 — шлаковая ванна; 3 — электрод; 4 — мундштук; 5 — дозатор легирующих добавок; 6 — крупногабаритные диски; 7 — восстанавливаемая деталь; 8 — оправка; 9 — покрытие

шин, звенья гусениц, работающие в абразивной среде, инструмент, шестерни коробок передач и другие детали. ЭШН целесообразно применять при больших партиях деталей и значительных объемах наплавочных работ.

Процесс наплавки начинают на технологической пластине, которую затем удаляют. В ванну помещают флюс и электрод. Зажигают дугу между электродом и технологической пластиной, в результате чего расплавляется флюс, образуя жидкую ванну. После образования шлаковой ванны дуга гаснет, ток проходит через жидкий шлак и начинается бездуговой процесс. Включают подачу электродной проволоки, открывают дозатор с флюсом и сообщают движение детали. Под воздействием высокой температуры шлак оплавляет поверхность детали и электрода. Температура шлаковой ванны выше, чем температура плавления присадочного электродного материала. Присадочный металл после расплавления оседает и формирует с помощью охлаждаемого кристаллизатора нужную форму покрытия.

ЭШН дает наибольшую производительность (до 150 кг/ч) из всех способов наплавки. Количество электродного металла, расплавленного одним и тем же количеством энергии в 2...4 раза больше, чем при ручной сварке, и в 1,5 раза выше, чем при наплавке под флюсом. Наблюдаются небольшой расход флюса, незначительный угар легирующих элементов и высокая стойкость к образованию трещин. Хорошо удаляются вредные

вещества. Из-за отсутствия дугового разряда практически исключено разбрызгивание шлака и присадочного материала.

Параметры ЭШН: глубина шлаковой ванны, «сухой» вылет, количество и размеры электродов, сварочный ток, напряжение на электродах и скорость их подачи.

**Пример.** Оптимальный режим ЭШН при восстановлении опорных катков тракторов: напряжение тока 36...40 В, сила тока 800...900 А, скорость подачи проволоки 3...3,5 м/мин, глубина шлаковой ванны 80 мм, «сухой» вылет электродов 150 мм, количество электродов 2, диаметр проволоки 3 мм. Электродная проволока типа Св-08, флюс АН-348А или АН-8. Скорость подачи легирующих добавок (сормайта) 50...85 г/мин. Износостойкость катков по сравнению с новыми катками выше в 1,5...1,9 раза.

Наплавку ведут специальными сварочными аппаратами или применяют источники питания постоянного или переменного тока с жесткой внешней характеристикой. Для ЭШН разработана установка ОКС-7755 ГОСНИТИ.

В Белорусском национальном техническом университете (Минск) разработана ресурсосберегающая технология электрошлакового переплава легированных сталей типов 5ХНМ, 4Х5МФС, ДИ-22, 3Х2ВЗФ и др. с добавкой композиционных брикетов, содержащих науглероживающие и легирующие компоненты в виде отходов смежных производств. После электрошлакового переплава металл заливают в кристаллизатор на установке электрошлаковой обработки. При этом получают заготовки цилиндрической и призматической форм с минимальными припусками под механическую обработку из-за отсутствия усадочной раковины.

Уменьшение стоимости изделий из отливок составляет 30...40 % благодаря утилизации металлосодержащих отходов, высокому качеству литого металла и эксплуатационной стойкости оснастки.

Возможен быстрый переход на выпуск новых видов продукции. По механическим свойствам литые стали, изготовленные электрошлаковой обработкой, не уступают лучшим зарубежным аналогам. Однако внедрение способа требует больших капитальных вложений.

Недостатки процесса: невозможность получения покрытий толщиной < 10 мм; высокое содержание основного металла в покрытии.

### ***3.5.8. Наплавка в среде защитного газа***

Такого рода наплавка устраняет некоторые недостатки наплавки под слоем флюса. Разработана в ЦНИИТмаше коллективом под руководством проф. К.В. Любовского в 1952 г.



Сущность *наплавки в среде защитных газов* состоит в том, что в зону электрической дуги подают под давлением защитный газ, в результате чего столб дуги, а также сварочная ванна изолируются от кислорода и азота воздуха.

Для создания защитной атмосферы используют: инертные газы (аргон, гелий и их смеси), активные газы (диоксид углерода, азот, водород, водяной пар и их смеси) и смеси инертных и активных газов. Разновидностью процесса является газопламенная защита от сгорания горючих газов или жидкого углеводородного топлива. Наилучшую защиту металла при наплавке обеспечивают инертные газы, однако их применение ограничивается высокой стоимостью. Чаще применяют водяной пар, пищевую углекислоту и сварочный диоксид углерода.

Наибольшее применение в ремонте машин получила наплавка в среде диоксида углерода плавящимся электродом. Используют электродные проволоки диаметром 0,8...2,0 мм и токи относительно большой плотности. Периферийная часть электрической дуги интенсивно охлаждается газом, поступающим из соплового наконечника, поэтому падение напряжения на единицу длины столба дуги будет в несколько раз выше, чем при дуговой сварке без подачи газа. Кроме того, сварка в диоксиде углерода ведется короткой дугой. В таких условиях дуговой разряд имеет возрастающую характеристику, а источник питания должен обладать слегка возрастающей или жесткой характеристикой для интенсификации процесса саморегулирования дуги. Для наплавки деталей применяют ток обратной полярности.

Если автоматическую сварку в среде защитных газов используют для наплавки деталей, то полуавтоматическую – для сварки листовых панелей. Область применения механизированной наплавки в среде диоксида углерода распространяется на восстановление стальных и чугунных деталей диаметром > 12 мм широкой номенклатуры, работающих в различных условиях. Восстановлению подлежат как гладкие, так и шлицевые валы.

Автоматическая наплавка в среде диоксида углерода обеспечивает формирование плотного шва с небольшой зоной термического влияния, что позволяет осуществлять наплавку нежестких деталей малого диаметра. По сравнению с автоматической наплавкой под слоем флюса процесс обладает такими преимуществами:

- меньшим нагревом детали;
- возможностью наплавки деталей меньшего диаметра;
- более высокой производительностью (в 1,2...1,5 раза по массе и 30...40 % по площади покрытий);

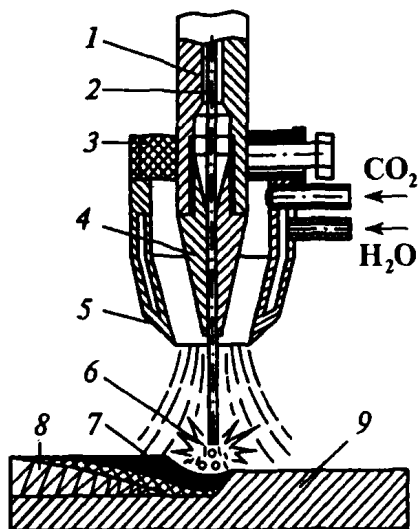


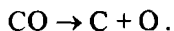
Рис. 3.25. Схема наплавки в среде диоксида углерода:

1 - мундштук; 2 - электродная проволока; 3 - горелка; 4 - наконечник; 5 - сопло горелки; 6 - электрическая дуга; 7 - сварочная ванна; 8 - покрытие; 9 - восстанавливаемая деталь

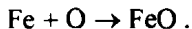
Важной особенностью наплавки в среде диоксида углерода является образование атомарного кислорода при диссоциации  $\text{CO}_2$  в условиях высокой температуры:



Оксид углерода частично диссоциирует:



Атомарный кислород высокоактивен и способен окислять все элементы, входящие в состав материала проволоки и детали, в том числе железо:



Выделение газообразного оксида приводит к образованию пор. Это объясняет необходимость применения при сварке раскислителей, в качестве которых используют кремний, марганец, хлор, титан.

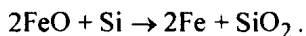
- исключением необходимости отделения шлаковой корки и зачистки швов;
- возможностью сварки и наплавки в любых пространственных положениях;
- в 1,2...1,5 раза лучшей экономичностью.

Схема рассматриваемого процесса приведена на рис. 3.25. Электродная проволока диаметром 0,8...2,0 мм подается в дугу с постоянной скоростью с помощью подающего механизма. Напряжение приложено к электродной проволоке и детали. Защитный газ под избыточным давлением подается из сопла, расположенного concentрично электроду. Давление газа 0,05...0,20 МПа, его расход 0,60...0,96 м<sup>3</sup>/ч. Режимы наплавки приведены в табл. 3.53.

## 3.53. Режимы наплавки в среде диоксида углерода

Толщина сваривае- мого ме- талла, мм	Диаметр электрод- ной про- волоки, мм	Напря- жение дуги, В	Свароч- ный ток, А	Скорость, м/ч		Вылет элек- трода, мм
				сварки	подачи электродной проволоки	
0,6...1,0	0,5...0,7	17...19	30...100	25...30	100...110	5...8
1,0...1,5	0,7...0,8	17...19	70...110	30...40	110...120	6...8
1,5...2,5	0,8	18...21	100...150	25...35	120...150	6...12
1,0...2,0	1,0	18...22	100...180	30...40	110...150	7...13
2,0...3,0	1,0	19...22	125...180	37...40	130...160	7...13
3,0...4,0	1,0	18...22	150...270	25...30	150...200	7...13
2,0...3,0	1,2	20...23	140...250	30...35	220...250	8...15
3,0...4,0	1,2	22...28	170...300	30...40	200...270	8...15
5,0	1,6	26...30	180...240	35...45	215...300	15...20

Приведенные элементы связывают кислород, мешая образованию оксида железа:



Присутствие в металле шва  $> 0,2\%$  Si и  $> 0,4\%$  Mn препятствует образованию пор. Указанные элементы должны содержаться в легированной наплавочной проволоке. Применяют наплавочные проволоки Св-08Г2С, Св-10Г2С, Св-12ГС, Св-18ХГСА, Нп-30ХГСА и др. диамет-

ром 0,5...2,0 мм и порошковые проволоки ПП-Р18Т, ПП-Р9Т, ПП-Х2В8Т и др.

Ответственные детали с твердостью рабочих поверхностей 45..55 HRC наплавляют проволокой Нп-30ХГСФ диаметром 1,2...1,8 мм с последующей термической обработкой поверхностей – закалкой ТВЧ.

Режимы наплавки следующие: напряжение 18...22 В; ток 120...180 А; скорость наплавки 25...50 м/ч; шаг наплавки 2,5...8,5 мм/об; вылет электродной проволоки 15...20 мм; скорость подачи проволоки 90...180 м/ч; расход диоксида углерода 10...15 л/мин. Полуавтоматическую наплавку выполняют с наклоном горелки вперед под углом 5...15°. Сварку стыковых и угловых вертикальных швов на тонком металле рекомендуется проводить сверху вниз. При сварке деталей толщиной > 3 мм разделяют кромки под углом 70...90° ручной шлифовальной машинкой ГОСТ 12633–79.

Наиболее высокую стойкость против образования трещин при наплавке чугунных коленчатых валов обеспечивают хромоникелевые, марганцовистые наплавочные материалы на основе железа, состав которых наиболее близок к составу проволоки Св-08Х20Н9Г7Т. Наплавка ее в среде диоксида углерода полностью исключает инородные включения, появление трещин и пор в широкой области режимов наплавки.

Для наплавки в среде защитного газа применяют:

- наплавочный станок с газозлектрической горелкой или установку 01-06-081 Ремдеталь;

- источники питания с жесткой характеристикой УД-209, УД-294, ВС-200, ВС-400, ВДГ-301, ПСГ-350, АЗД-75/30 (для аргонодуговой наплавки ВСУ-300, УДГ-301, УДГ-501, УПС-301);

- полуавтоматы типов А-348, А-409, А-537, А-547У, А-547Р, А-580М, А-929, А-1230М, ПДГ-301, ПДГ-501, ПДПГ-515, Гефест и др.;

- наплавочные головки АБС, ОКС-1252М;

- баллоны емкостью 40 л;

- подогреватели газа;

- осушители;

- редукторы-расходомеры ДРЗ-1-5-7, или ротаметры РС-3, РС-3А, РК-65, или кислородный редуктор РК-53Б.

Оборудование нового поколения для наплавки деталей в среде диоксида углерода разработал ВНИИТУВИД «Ремдеталь». Установка УД-609.04 Ремдеталь со сварочным полуавтоматом ПДР-616 служит для наплавки плоских деталей, а установка УД-609.06 Ремдеталь с источни-

ком питания ВДГ-303 и сварочным полуавтоматом ПДГ-312 – для скоростной наплавки цилиндрических деталей.

Диоксид углерода находится в баллоне в жидком состоянии под давлением 5...7 МПа. Масса материала в баллоне составляет 25 кг, при его испарении получают 12,5 м<sup>3</sup> газа. Испарение материала сопровождается потреблением тепла. Если поддерживать температуру баллона 22...25 °С, то можно получить непрерывный расход газа 20...25 л/мин. При большем расходе или низкой температуре сварочный пост питают от нескольких баллонов.

Электрические подогреватели газа обеспечивают температуру выходящего газа 40...80 °С, что устраняет возможную закупорку льдом отверстий редуктора. Подогреватель устанавливают перед редуктором.

Осушители газа высокого или низкого давления поглощают из него влагу. В качестве влагопоглотителя используют силикагель КСКГ крупностью 2,8...7 мм или алюмогель. Осушитель низкого давления имеет значительные размеры, его устанавливают после редуктора, он не требует частой замены влагопоглотителя. Такой осушитель является одновременно ресивером, и он повышает равномерность подачи газа. Силикагель, насыщенный влагой, восстанавливают его прокаливанием при температуре 250...300 °С.

*Аргодуговая наплавка* – это разновидность наплавки в среде защитных газов, применяется для нанесения покрытий на детали из алюминиевых сплавов и коррозионно-стойких сталей. Особенность наплавки заключается в том, что применяемый переменный ток специальной характеристики обеспечивает катодное распыление оксидов на поверхности наплавляемой детали.

К недостаткам наплавки в среде защитных газов относятся:

- повышенное разбрызгивание металла (5...10 %) и потери защитного газа;
- ограниченное легирование наплавленного металла;
- снижение износостойкости и усталостной прочности на 10...20 %;
- открытое световое излучение дуги и необходимость защиты от него сварщика.

### **3.5.9. Наплавка открытой дугой самозащитными материалами**

Применение флюса или защитных газов при дуговой наплавке связано с определенными технологическими трудностями. Использование порошковой проволоки или ленты с необходимым составом сердечника позволяет отказаться от флюса и защитных газов.

В состав сердечников электродных материалов кроме порошков легирующих компонентов вводят газо- и шлакообразующие вещества, которые защищают жидкий металл от воздействия атмосферы и повышают стабильность процесса наплавки.

Сплошные (компактные) проволоки могут содержать легирующие и редкоземельные материалы. Например, проволока 15ГСТЮЦА содержит (мас. %): 0,12...0,18 С; 0,45...0,85 Si; 0,6...1,0 Mn; < 0,3 Cr; < 0,4 Ni; 0,05...0,20 Ti; < 0,025 S; < 0,025 P; 0,20...0,50 Al; 0,05...0,15 Zr;  $\geq 0,04$  Се.

Для наплавки самозащитными проволоками и лентами характерны повышенное световое излучение дуги, газовыделение и разбрызгивание, что приводит к снижению использования тепла при наплавке и массы наплавляемого материала.

### 3.5.10. Вибродуговая наплавка

Процесс разработан в Челябинском институте механизации и электрификации сельского хозяйства (ЧИМЭСХ) инж. Г.П. Клековкиным в 1950–1952 гг.

*Вибродуговая наплавка* (рис. 3.26) отличается тремя особенностями:

- в цепь нагрузки источника питания включена индуктивность  $L$ ;
- напряжение источника питания недостаточно для поддержания непрерывного дугового разряда;
- электродная проволока совершает колебания относительно детали с частотой 50...100 Гц и амплитудой 1...3 мм с периодическим касанием наплавляемой поверхности.

Цикл наплавки (рис. 3.27) состоит из дугового разряда, короткого замыкания и холостого хода.

Введение индуктивности в цепь дуги обеспечивает накопление электрической энергии в индуктивности во время разомкнутого состояния цепи, сдвиг фаз тока и напряжения, поэтому переход тока через нуль происходит при наличии напряжения источника питания и возникновении электродвижущей силы самоиндукции, которая совпадает по направлению с напряжением источника питания. Это обеспечивает повторное возникновение дугового разряда после разрыва сварочной цепи и устойчивое горение дуги.

Электрод и деталь оплавляются во время дугового разряда, при этом на конце электрода образуется капля металла. Мелкокапельный перенос металла на деталь происходит преимущественно во время короткого замыкания. Так как длительность существования дуги составляет ~ 20 % времени цикла, то провар основного металла неглубокий, с небольшой зоной термического влияния.

Вибродуговую наплавку ведут под флюсом, в различных газовых средах или в водных растворах. Последний случай наиболее распространен, при этом в зону наплавки подают охлаждающую жидкость (3...5%-ный раствор кальцинированной соды или 10...20%-ный раствор глицерина в воде). Жидкость выполняет закалку наплавленного слоя, если применяется закаливающийся электродный материал, защищает расплавленный материал от проникновения кислорода и азота воздуха и охлаждает наплавляемую деталь. Расход жидкости 0,5...1,0 л/мин. Подача ее производится в точку на расстоянии 15...30 мм от места горения дуги.

Однако охлаждение наплавляемой поверхности с высокой скоростью и термическое влияние валиков, наплавленных позже, дают неодинаковую твердость участков поверхности.

Вибродуговая наплавка применяется при восстановлении стальных деталей, работающих в различных условиях при невысоких требованиях к сопротивлению усталости (оси, толкатели).

Вибродуговая наплавка позволяет получать покрытия высокой твердости и износостойкости без последующей термообработки путем применения электродной проволоки нужного состава. Деталь нагревается до температуры  $\leq 100^\circ\text{C}$  и не деформируется. Наплавленный металл имеет равномерную толщину и сравнительно ровную и гладкую поверхность. Производительность процесса в 4...5 раз выше, чем при ручной дуговой наплавке. Низкое напряжение процесса обеспечивает безопасность работ.

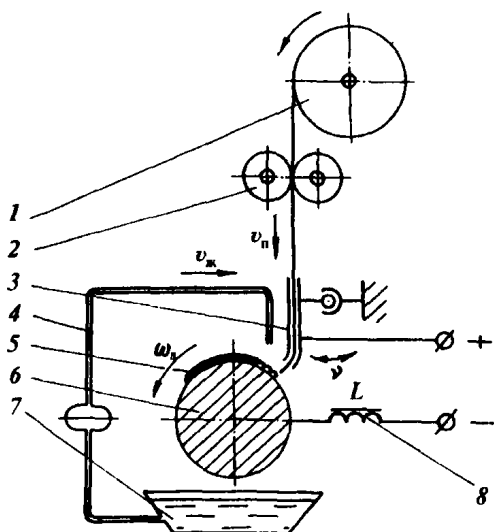


Рис. 3.26. Схема вибродуговой наплавки: 1 – кассета для проволоки; 2 – подающие ролики; 3 – качающийся мундштук; 4 – система подачи раствора; 5 – наплавленный слой; 6 – восстанавливаемая деталь; 7 – емкость; 8 – индуктивное сопротивление;  $v_n$  и  $v_ж$  – скорость подачи соответственно проволоки и раствора;  $\omega_d$  – угловая частота вращения детали;  $\nu$  – частота качаний мундштука;  $L$  – индуктивность

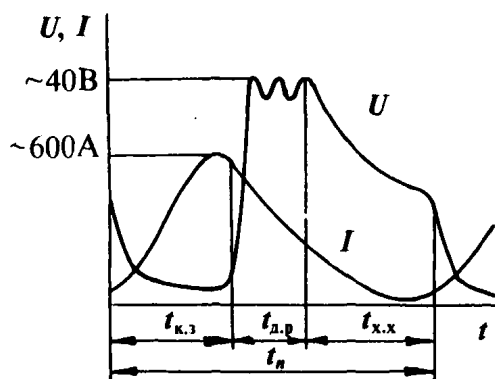


Рис. 3.27. Осциллограмма тока  $I$  и напряжения  $U$  при вибродуговой наплавке:

$t_{к.з}$  – время короткого замыкания;  $t_{д.р}$  – время дугового разряда;  $t_{х.х}$  – время холостого хода;  $t$  – текущее время;  $t_n$  – период

Марку электродной проволоки выбирают в зависимости от требуемых механических свойств наплавленного металла. При наплавке стальных и чугунных деталей для получения слоя твердости 51...56 HRC применяют проволоку Нп-65, Нп-80. Для получения твердости 37...41 HRC наплавку ведут проволокой Нп-30ХГСА, а твердости 180...240 HB – проволокой Св-08. Для наплавки слоя толщиной до 1 мм берут проволоку диаметром 1,0...1,6 мм, толщиной до 2 мм –

1,6...2,0 мм (табл. 3.54). При наплавке заготовок из серого чугуна ведут двухслойную наплавку проволокой Св-08, при этом расход жидкости составляет 0,02 л/мин.

Примерные режимы наплавки: ток обратной полярности силой 70...75 А, напряжением 12...30 В, диаметр проволоки 1,6 мм, шаг наплавки 2,3...2,7 мм/об (мм/дв. ход), угол подвода проволоки к детали 15...30°, скорость подачи проволоки  $\leq 1,65$  м/мин, скорость наплавки 0,50...0,65 м/мин. При токах  $< 100$  А в сварочную цепь последовательно с источником питания включают дополнительную индуктивность 0,4...0,7 мГн.

3.54. Диаметр электрода и напряжение источника питания в зависимости от толщины наплавленного металла

Параметр	Толщина наплавленного металла, мм		
	0,3...0,9	1,0...1,6	1,7...2,5
Диаметр электрода, мм	1,6	2,0	2,5
Напряжение источника питания, В	12...15	15...20	20...25



Свойства покрытий при вибродуговой наплавке могут быть улучшены применением: защитных сред (диоксида углерода, флюсов, водяного пара, пены), порошковых проволок, последующей термической обработкой изделий, обкаткой роликами или ультразвуковым упрочнением.

При разработке технологических процессов вибродуговой наплавки учитывают ряд особенностей. Первый и последний валики наплавляют на цилиндрические поверхности при отключенной подаче. При консольном закреплении детали наплавку ведут от свободного конца к патрону. Галтели детали наплавляют в последнюю очередь. Резьбовые поверхности наплавляют без подачи охлаждающей жидкости. При шаге резьбы  $> 1,5$  мм шаг наплавки устанавливается равным шагу резьбы. Для наплавки эксцентриков используют копирные устройства, а вылет электродов назначают на  $2...3$  мм больше величины эксцентриситета. Шлицы глубиной  $< 1,5...2,0$  мм наплавляют при вращении детали, а более крупные шлицы – с подачей головки вдоль оси детали. В последнем случае после наплавки каждого валика деталь поворачивают примерно на  $180^\circ$  относительно ее оси и наплавляют паз на противоположной стороне детали. Прием исключает деформации детали.

Для вибродуговой наплавки применяют источники питания с жесткой внешней характеристикой: генераторы АДН-500/250, выпрямители ВС-300, ВС-600, преобразователи ПД-305, ПСГ-500, а также дроссели типа А-780 или А-855 конструкции ИЭС им. Е.О. Патона, дроссели РСТЭ-24 или РСТЭ-34 от сварочных трансформаторов СТЭ-24, СТЭ-34 или дроссельную обмотку трансформатора СТН-500. При использовании указанных дросселей для получения нужного значения индуктивности следует сделать отводы от верхнего ряда обмотки через один-два витка для последующей их коммутации.

Разработаны специализированные установки УД-144, УД-209, УД-283, УД-284, ОКС-27414, ОКС-27508, наплавочные станки УД-143, ОКС-11336 ГОСНИТИ, в том числе универсальный станок У-653. Специальные наплавочные головки ОКС-6569М и ОКС-1252 обеспечивают подачу наплавочной проволоки и ее вибрацию. Эти головки могут работать также в режиме наплавки в среде защитного газа и под слоем флюса при нанесении покрытий на наружные и внутренние поверхности. Скорость подачи электродной проволоки составляет  $0,52...4,5$  м/мин. Габаритные размеры устройств  $730 \times 300 \times 700$  мм, масса 60 кг.

Недостатки процесса следующие:

– снижение усталостной прочности до 60 % из-за образования закалочных структур в материале, вызывающих растягивающие напряжения

и неоднородность твердости (в местах перекрытия точек сварки в результате отпуска твердость снижается);

— наличие пор в покрытии по причине быстрого перехода металла из жидкого состояния в твердое.

### **3.5.11. Импульсно-дуговая наплавка**

*Импульсно-дуговая наплавка* представляет собой разновидность электродуговой наплавки. В этом случае на основной сварочный ток непрерывно горящей дуги с помощью специального генератора налагают кратковременные импульсы тока, которые ускоряют перенос капель металла и уменьшают их размер. Наплавку ведут на прямой и обратной полярностях.

Наплавляют наружные цилиндрические поверхности с износом до 0,5 мм и с ограничениями по температуре нагрева детали. Применяют этот метод при восстановлении гладких валов и осей на установках УММ-6, ОКС-27415 и др.

### **3.5.12. Плазменная наплавка**

*Плазменная наплавка* – это процесс нанесения покрытий плазменной струей, когда деталь включена в цепь тока нагрузки. В этом случае с помощью плазменной струи нагреваются поверхность восстанавливаемой детали и наносимый материал. Материал перемещается плазменной струей. Температура ее может превышать 20 000 К.

При плазменной наплавке в отличие от аргонодуговой наплавки электрическая дуга сжимается стенками водоохлаждаемого сопла. Газ, продуваемый сквозь эту дугу, приобретает свойства плазмы – становится ионизированным и электропроводящим. Слой газа, соприкасающийся со стенками сопла, интенсивно охлаждается, утрачивает электропроводность и выполняет функции электрической и тепловой изоляции, что приводит к уменьшению диаметра плазменной струи, который составляет 0,7 диаметра сопла.

В качестве плазмообразующего газа чаще применяется аргон (табл. 3.55). Наплавка с заменой аргона воздухом (до 90 %) значительно снижает стоимость восстановления деталей. Для плазменной наплавки в воздушной среде разработаны порошковые сплавы на железной основе, в состав которых входят сильные раскислители и нитридообразующие элементы.

## 3.55. Состав плазмообразующих газов

Наименование газа	Содержание основного вещества, мас. %
<b>Азот газообразный технический повышенной чистоты в баллонах:</b>	
– первый сорт	99,99
– второй сорт	99,95
<b>Аргон газообразный:</b>	
– высший сорт	99,992
– первый сорт	99,987
<b>Гелий газообразный:</b>	
– особой чистоты	99,995
– высокой чистоты	99,985
– технический	99,8
<b>Смесь аргон-азотная (аргон технический)</b>	86...88 % Ar, 12...14 % N <sub>2</sub>

Плотность энергии, передаваемой нагреваемой поверхности плазменной струей на один-два порядка больше, чем от открытой несжатой дуги, и приближается к плотности энергии, передаваемой от электронно-лучевых и лазерных источников тепла. При такой плотности энергии скорость ввода тепла в деталь больше скорости теплопередачи в ее массу, поэтому поверхность детали быстро расплавляется. Процесс протекает с малым проплавлением и большим термическим КПД.

Плазменную струю получают с помощью плазмотронов, которые по различным классификационным признакам образуют следующие группы:

- по способу взаимодействия дугового разряда с изделием (прямого действия, косвенного, комбинированного);
- по способу сжатия дугового разряда (стенками канала сопла, газовым потоком и комбинированный);
- по числу дуг (одно- и многодуговые);
- по составу плазмообразующих газов (работающие на инертных газах, нейтральных и кислородсодержащих);
- по способу подачи плазмообразующего газа (с тангенциальной и аксиальной подачей);
- по виду сварочного тока (переменного и постоянного прямой и обратной полярности);

- по способу дополнительного сжатия дуги (с системой каналов, выходящих на торец сопловой части; с системой каналов, выходящих внутрь канала сопла и комбинированной системой каналов);
- по способу подачи наносимого материала (радиальной боковой подачей, осевой подачей через вольфрамовый электрод);
- по величине тока (для микроплазменной наплавки – ток 0,1...15 А, для плазменной наплавки – ток 10...100 А и для наплавки с глубоким проплавлением – ток > 100 А).

Наибольшее применение нашли плазмотроны: прямого действия, с комбинированным способом сжатия дугового разряда, однодуговые с тангенциальной подачей инертного газа, работающие на постоянном токе прямой полярности и с радиальной подачей материала. У плазмотрона различают основную дугу – между анодом и деталью и вспомогательную – между анодом и соплом. Токи обеих дуг регулируются балластными реостатами, включенными в соответствующие цепи.

Самые теплонапряженные детали плазмотрона – это электрод и сопло. Материал электрода определяется составом плазмообразующей среды. В плазмотронах, работающих с применением инертных и нейтральных газов (аргон, азот, гелий, смеси: аргон и азот, аргон и водород, азот и водород), используют электроды из вольфрама. В плазмотронах, работающих в кислородсодержащих средах, применяют катоды из гафния и циркония. Водоохлаждаемое сопло выполнено из меди. Сопло, рассчитанное на ток силой 260...310 А, имеет диаметр отверстия для выхода плазмы 3...4 мм. Диаметр насадки для подачи защитного газа 10...13 мм.

Преимущества плазменной наплавки по сравнению с другими способами нанесения покрытий сводятся к следующему. Гладкая и ровная поверхность покрытий позволяет оставлять припуск на обработку 0,4...0,9 мм. Малая глубина проплавления (0,3...3,5 мм) и небольшая зона термического влияния (3...6 мм) обуславливают долю основного металла в покрытии  $\leq 5\%$ . Малое вложение тепла в обрабатываемую деталь обеспечивает небольшие деформации и термические воздействия на структуру основы. При восстановлении обеспечивается высокая износостойкость наплавленных поверхностей. Наблюдается снижение усталостной прочности деталей на 10...15 %, что намного меньше, чем при использовании некоторых других видов наплавки.

Плазменная наплавка нашла применение при восстановлении ответственных деталей, к которым, например, относятся: коленчатые, кулачковые и распределительные валы, валы турбокомпрессоров, оси, крестовины карданных шарниров, направляющие оборудования, щеки и седла задвижек, шнеки экструдеров и др. Область применения способа – нане-

сение тонкослойных покрытий на нагруженные детали с малым износом. Плазменная наплавка тонкослойных покрытий составляет конкуренцию процессам нанесения гальванических покрытий.

При плазменной наплавке получают покрытия толщиной 0,2...6,5 мм и шириной 1,2...45 мм. Если наносится легкоплавкий материал, то возможно нанесение покрытия с проплавлением очень тонких поверхностных слоев без оплавления поверхности.

Термический КПД наплавки в 2...3 раза выше, чем при электродуговом процессе. Производительность процесса 0,4...5,5 кг/ч. Производительность плазменно-порошковой наплавки аустенитных нержавеющей сталей не уступает производительности электродуговой наплавки.

Различают наплавку по винтовой линии с непрерывной подачей плазмотрона и широкослойную наплавку с его гармоническими колебаниями относительно оси вращающейся детали. Для нанесения покрытий толщиной > 4 мм применяют многослойную наплавку.

Материалы для плазменной наплавки весьма разнообразны, включая железоуглеродистые высоколегированные сплавы, колмонои, стеллиты, инструментальные и быстрорежущие стали. Применяют прутки, проволоку, порошки и комбинации материалов.

При наплавке седел клапанов (в том числе и при изготовлении двигателей) Россия, Великобритания, Германия, США и Япония применяют хромокобальтовые сплавы – стеллиты, которые обладают более высокой жаростойкостью при температуре 600...650 °С, чем самофлюсующиеся хромоникелевые сплавы, легированные бором и кремнием.

Произошел переход с индукционной наплавки и наплавки намораживанием этого материала на плазменную наплавку. Это связано с тем, что железо является вредной примесью в наплавочных сплавах Co–Cr–W–C. Разбавление наплавленного металла железом приводит к снижению жаропрочности и коррозионной стойкости покрытий. При этом твердость сплавов при комнатной температуре остается практически постоянной, но при высоких температурах она резко снижается. Скорость коррозии в растворах соляной и азотной кислот у стеллитов с добавкой железа увеличивается примерно в 10 раз.

Следует отметить, что для наплавки фасок клапанов используют также свободную аргоновую дугу, ацетиленокислородное пламя или индукционную наплавку кольцами из сплава ВЗК (аналог Stellite 6, выпускаемого фирмой «Deloro Stellite», США). Коэффициент термического расширения последнего сплава близок к соответствующему показателю клапанной стали 55Х20Г9АН4, а горячая твердость имеет высокое значение. Попытки намораживания литых колец из сплава ВЗК на клапаны

двигателя ВАЗ-2112 положительных результатов не дали в связи с сильным перегревом металла. Достаточно большое различие в температурах плавления хромоникелевых сплавов (980...1080 °С) и хромокобальтовых сплавов (1250...1400 °С) является причиной повышенного нагрева и главным препятствием применению индукционной наплавки кобальтовых сплавов на малогабаритные детали, подверженные тепловым и механическим нагрузкам. Плазменная наплавка позволяет уменьшить в этом случае расход наплавочного материала в 1,5...2,0 раза.

Прочные и вязкие покрытия получают из сталей, легированных ванадием. Ванадий обладает высоким сродством к углероду; его карбиды сохраняют стехиометрическое строение и высокую твердость в процессе наплавки. Нерасплавленные частицы карбида ванадия стимулируют образование из расплава мелкозернистой структуры. Высокая твердость карбидов ванадия (2900...2940 HV<sup>0,2</sup>) обеспечивает высокую износостойкость покрытия.

Хорошие результаты при восстановлении деталей плазменной наплавкой дает применение порошковых материалов. В этом случае:

- возможно изменение в широких пределах толщины покрытия (0,1...7 мм), скорости (0,5...25 м/мин) и производительности наплавки (0,6...15 кг/ч), ширины шва (1...45 мм) и состава наплавляемого металла за счет изменения применяемых материалов и режимов процесса;
- обеспечивается простота управления вводом тепла в материал детали и глубиной его проплавления независимо от подачи материала;
- облегчается выбор присадочного материала для получения покрытий (в том числе композиционных) различных составов и структур с заданными свойствами путем смешения разных порошков;
- достигается минимальный припуск на механическую обработку покрытий;
- возможна автоматизация процесса;
- обеспечивается наиболее продолжительная непрерывная работа оборудования для плазменно-порошковой наплавки по сравнению с аргодуговой и газопламенной наплавкой.

Широко применяют порошки самофлюсующихся сплавов на основе никеля (ПР-Н73Х16СЗРЗ или ПР-Н70Х17С4Р4) с температурой плавления 1000...1100 °С. В этом случае создаются локальные участки с металлургической связью покрытия с основой, а перемешивание наплавленного металла с основным минимальное. Чтобы увеличить термический КПД наплавки и снизить тепловложения в деталь, наплавку ведут с малым шагом подачи при большой скорости наплавки. В качестве материала для наплавки трущихся поверхностей рекомендован порошковый ма-

териал X5, имеющий состав по ТУ 348–90: 0,7 % С, 4,8...5,5 % Cr, 1,0...1,3 % V, 3,5...4,2 Mo, 0,9...1,2 % Mn, 0,6...0,8 % Si, 0,2...0,5 % Nb, 0,2...0,3 % В. Твердость покрытия 60...62 HRC. Порошковый материал ПР-Х4ГСР (ПР-Х4Г2Р4С2ФЮД) обеспечивает твердость покрытия 58...60 HRC.

Оптимальный размер частиц порошка 60...100 мкм. Лучше подавать присадочный порошок вдоль оси плазменной струи через отверстие анода, в этом случае и полностью расплавляются частицы размером 200...250 мкм, и создаются наилучшие условия для расплавления и формирования покрытия.

Высокое значение термического КПД (до 0,44) плазменной наплавки и уменьшение вложения тепла в материал детали достигаются при выполнении двух требований. Во-первых, частицы должны расплавляться в плазменной дуге и попадать на поверхность детали в жидком состоянии. Если частицы попадают на поверхность в твердом состоянии, то требуется время для их расплавления непосредственно в сварочной ванне, что приводит к увеличению ее размеров и, соответственно, глубины проплавления. Во-вторых, частицы должны перемещаться близко к оси плазменной струи. Движение частиц по периферии струи и вне ее приводит не только к потерям порошка, но и к дефектам покрытия. Этим объясняется наибольшая тепловая эффективность плазмотронов с аксиальным вводом порошка.

Температура наплавляемой поверхности детали изменяется под действием тепла предварительного подогрева, тепла от предыдущих валиков и тепла от валика, наносимого в рассматриваемый момент времени. Спустя некоторое время отвод тепла уравнивается с его подводом, что приводит к достижению материалом детали *теплового насыщения*. Повышение термического КПД плазменной наплавки и исключение перегрева детали обеспечиваются предварительным нагревом детали и ограничением мощности плазмотрона примерно на 40 % непосредственно в процессе наплавки. Это относится и к плазменно-порошковой наплавке, тепловая мощность которой может регулироваться независимо от расхода подаваемого порошка.

ВНИИТУВИД «Ремдеталь» разработал руководящие технические материалы по расчету режимов плазменной наплавки, которые включают рекомендации по наплавке с локальным подогревом и в режиме предельного теплового насыщения. Прежде, например, детали турбокомпрессоров, с диаметром шеек 15...20 мм наплавляли сплавами системы Ni–Cr–B–Si с температурой плавления 1000...1100 °С по механизму пайки без расплавления основы. Наплавка в режиме предельного теплового

насыщения с предварительным подогревом до 750 °С уменьшает вложение тепла в материал детали при наплавке стали на 30 %.

Для снижения термического влияния процесса наплавки на материал основы необходимы источники высококонцентрированного нагрева, позволяющие дозировать степень нагрева детали, что выполняется при плазменной наплавке.

Для плазменной наплавки перспективно применение смесей порошков. Используют, например, порошковые смеси железа, быстрорежущего сплава и нержавеющей стали: ПЖВ-1 (60...75 %), ПР-М6Ф3 (15...30 %) и ПР-Х18Н9 (10 %). Химический состав составляющих порошков следующий (мас. %): ПЖВ-1 (Fe – основа, 0,02 С, 0,08 Si, 0,10 Mn, 0,015 S, 0,015 P, 0,15 O); ПР-М6Ф3 (Fe – основа, 1,15 С, 4,2 Cr, 6,2 Mo, 2,5 V); ПР-Х18Н9 (Fe – основа, 0,2 С, 18 Cr, 9,5 Ni, максимум 0,8 Si).

Добавка в приведенную смесь 10 % нержавеющей стали ПР-Х18Н9, даже при малом содержании углерода согласно диаграмме Шеффлера обеспечивает мартенситную структуру сплава.

Режимы плазменно-порошковой наплавки типовых деталей при их восстановлении приведены в табл. 3.56. Оптимальные размеры и форма валиков наплавки получаются при значении погонной энергии 1600...1700 кДж/м.

Комбинированный способ плазменной наплавки за счет подачи в сварочную ванну порошка и токоведущей проволоки обеспечивает толщину наплавленного слоя до 4 мм за один ход и широкую возможность регулирования состава наплавленного металла и термического цикла наплавки, исключая отбеливание и трещины. Особенно важно применять способ для полностью изношенных чугунных коленчатых валов.

Источники питания постоянного тока для плазменной наплавки имеют напряжение холостого хода  $\geq 120$  В, силу тока до 600 А и крутопадающую внешнюю характеристику.

Для плазменной наплавки применяют установки УД-417 (разработка ИЭС им. Е.О. Патона), УПН-303 (завод «Электрик»), УН-602 и др. Можно применять установки плазменной сварки УПС-301, УПС-403, УПС-804, а также установки для плазменного напыления УМП-5, УМП-6, УПУ-3, УПУ-5 после изменения электрической схемы и замены плазмотрона. Для плазменно-порошковой наплавки валов диаметром до 50 мм ВНИИТУВИД «Ремдеталь» и ИЭС им. Е.О. Патона совместно разработали установку УД-609.09 с источником питания ВДУ-506. Производственный интерес представляет комплект КПН-01.23-215 Ремдеталь из поста 01.23-21 и установки плазменно-порошковой наплавки 01.05.185 с вращателем деталей.



## 3.56. Режимы плазменно-порошковой наплавки

Деталь	Материал	<i>I</i>	<i>U</i>	<i>g</i>	$\delta$
Распределительный вал 53-1006020	ПР-П70Х17С4Р4	140...150	35...38	10	0,22
Шток гидроцилиндра 18-28-497	ПР-ХН80СР2	180	30	30	0,64
Ролик прокатного стана	ПГ-СР3	160...180	35...37	33	До 2
Распределительный вал 238-Г006020 (вершина кулачков)	ПГ-ФБХ6-2	140...150	30...35	8...12	
Коленчатый вал из чугуна ВЧ-50	Fe – основа, 1,6 % Mn, 0,4 % В, 2,4 % Ni, 1,2 % Cu, 0,6 % Mo	220...250	35	40...50	До 3
Лезвие ножевого барабана	ПР-10Р6М5	300		90	До 4
Заготовка концевых фрез		170		35	3,5
Опытные образцы	Стеллит 6 с карбидами ванадия	100	26	60	До 2

Условные обозначения: *I* – сила тока, А; *U* – напряжение, В; *g* – расход порошка, г/мин;  $\delta$  – толщина покрытия, мм.

## Технические характеристики установки 01.05.185 Ремдеталь

Производительность по расходу порошка, кг/ч.....0,72...2,4  
Толщина наплавляемого покрытия, мм.....0,15...1,5  
Высота центров, мм.....200  
Расстояние между центрами, мм.....600

*Технологические расчеты плазменно-порошковой наплавки* выполняются в такой последовательности.

Определяют диаметр детали до наплавки  $D_0$ , мм, после наплавки  $D_n$ , мм, и длину наплавленной шейки  $l$ , мм.

Толщина наплавленного слоя, мм,

$$z = \frac{D_n - D_0}{2}. \quad (3.23)$$

Число наплавленных слоев  $n_c$  при  $z \leq 2,5$  мм принимают равным единице, при  $2,5 < z \leq 5$  мм  $n_c = 2$  и при  $5 < z \leq 7,5$   $n_c = 3$ .

Назначают расход наносимого порошка в зависимости от диаметра восстанавливаемой детали из отрезка значений  $Q_n = 0,3 \dots 3,0$  кг/ч. Меньшее значение расхода порошка соответствует наплавке детали диаметром 10 мм. Большее значение можно применять для деталей начиная с диаметра 50 мм.

Устанавливают силу плазмообразующего тока (в амперах) из зависимости

$$I = (80 \dots 100) Q_n. \quad (3.24)$$

Выбирают марку плазменной горелки по силе тока.

Для определения скорости наплавки необходимо провести некоторые промежуточные расчеты.

Масса  $m_b$  (кг) одного валика

$$m_b = \frac{\pi (D_n^2 - D_0^2)}{4 \cdot 10^6} S_n \rho, \quad (3.25)$$

где  $S_n$  – подача плазменной горелки, мм/об;  $\rho$  – плотность порошка, кг/м<sup>3</sup>.

Число валиков металла  $n_b$ , наносимых в одну минуту (мин<sup>-1</sup>), равно:

$$n_b = \frac{1000 v_n}{\pi D_0}, \quad (3.26)$$

где  $v_n$  – скорость наплавки, м/мин.

Масса металла, наплавленного в минуту (кг/мин), равна

$$\frac{Q_n}{60 k_n} = m_b n_b = \frac{(D_n^2 - D_0^2) S_n \rho v_n}{4 \cdot 10^6 D_0}, \quad (3.27)$$

где  $k_n$  – коэффициент использования порошка, доли единицы.

Скорость наплавки (м/мин)

$$v_n = \frac{10^6 Q_n D_0}{15k_n (D_n^2 - D_0^2) S_{np}}. \quad (3.28)$$

Основное время наплавки (мин)

$$t_0 = \frac{l}{S_{np} n}, \quad (3.29)$$

где  $n$  – частота вращения детали,  $\text{мин}^{-1}$ .

Расход порошка  $m_d$  (кг/изделие) на восстанавливаемую деталь

$$m_d = \frac{Q_n t_0}{60k_n}. \quad (3.30)$$

Приведенная методика технологических расчетов принципиально применима и для других процессов нанесения порошковых материалов.

### 3.5.13. Электромагнитная наплавка

Сущность *электромагнитной наплавки* заключается в нанесении покрытия из порошка на поверхность заготовки в магнитном поле при пропускании постоянного тока большой силы через зоны контакта частиц порошка между собой и с заготовкой.

Магнитное поле создают в зазоре между заготовкой и полюсным наконечником. Оно выстраивает мостики частиц ферромагнитного порошка между указанными элементами. На магнитное поле, в свою очередь, накладывают электрическое поле путем приложения напряжения к заготовке и полюсному наконечнику. Восстановительное покрытие получается за счет нагрева частиц порошка в зазоре, их оплавления и закрепления на восстанавливаемой поверхности.

Процесс разработан и совершенствуется в Беларуси. В настоящее время плодотворные исследования ведет научная школа БАТУ (Минск) под руководством проф. Л.М. Кожуро.

Хорошую обрабатываемость и износостойкость имеют покрытия из высокохромистого чугуна С-300 эвтектического состава и из быстрорежущих сталей Р6М5К5 и Р6М5Ф3. Плотность мощности достигает значений  $5 \cdot 10^4 \dots 5 \cdot 10^5 \text{ Вт/см}^2$ .

Процесс характеризуется некоторой нестабильностью из-за хаотического формирования многоэлектродной системы и дискретного расплавления цепочек-электродов из зерен порошка в рабочем зазоре. Устранить этот недостаток можно подачей в рабочий зазор присадочного материала в виде непрерывно поступающего слоя пасты и последующим ее расплавлением изолированным неплавящимся электродом. Основой паст служат легированные порошки на железной основе (Fe-V, Fe-Ti, Fe-Cr, С-300, ПЖРВ2) зернистостью 150...300 мкм, которые перемешиваются со связующим (жидким стеклом) непосредственно перед наплавкой в объемном соотношении 2:1. Это позволяет повысить производительность за счет увеличения плотности тока до 3 А/мм<sup>2</sup>. Можно получить покрытие толщиной ~ 2 мм. Стабильность наплавки еще больше повышается, если ферромагнитный порошок подают в рабочую зону в потоке рабочей жидкости.

Устройства для реализации электромагнитной наплавки могут быть выполнены по одно- или двухполюсной схеме. Двухполюсная схема при прочих равных условиях дает более высокую стабильность и производительность наплавки, но однополюсная более универсальна. Наплавка в пульсирующем магнитном поле за счет вибрации полюсного наконечника исключает короткое замыкание в цепи разрядного тока, что позволяет использовать неимпульсные источники тока и стабилизировать процесс. Можно восстанавливать как цилиндрические, так и плоские поверхности.

Способ позволяет совмещать во времени процессы нанесения покрытия и поверхностного пластического деформирования. Совмещение обеспечивает получение сжимающих остаточных напряжений в наплавленном слое (усталостная прочность увеличивается в 1,2...1,4 раза), повышение его износостойкости в 1,8...2,7 раза, снижение коэффициента трения о контртело на 10...20 % как при работе со смазкой, так и без нее.

Электромагнитную наплавку можно совмещать со шлифованием абразивными частицами наносимого материала.

Область применения процесса – восстановление и упрочнение деталей с износом до 0,6 мм в мелко- и среднесерийном производствах с одновременным их поверхностным пластическим деформированием.

### **3.5.14. Лазерная наплавка**

*Лазерная наплавка* использует в качестве источника тепла концентрированный луч лазера.

С помощью лазеров выполняют: наплавку, оплавление напыленных поверхностей, поверхностное легирование, поверхностную закалку и

аморфизацию материала. Лазерный вид нагрева позволяет также устранять повреждения в виде трещин в высоконагруженных деталях с нерегулярным режимом нагружения, соединять детали в труднодоступных местах и керамические изделия. После лазерной обработки деталей с трещинами по режиму, обеспечивающему их частичное оплавление, с последующей нормализацией детали работа разрушения детали на 30 % выше по сравнению с образцами, имеющими начальные трещины.

Исключительная локальность воздействия луча за счет высокой плотности энергии определяет область применения лазерной наплавки. Она применяется при восстановлении ответственных деталей (гладких валов и деталей со сложным профилем) с местным износом. Способ наиболее эффективен при восстановлении поверхностей площадью 5...50 мм и величиной износа 0,1...1,0 мм, при этом расход порошков невелик, глубина термического влияния обычно не превышает 0,5...0,6 мм, а деформации детали отсутствуют. С помощью лазерной наплавки восстанавливают, например, кулачки распределительных валов, поверхности ротора турбокомпрессора, оси фильтров тонкой очистки масла, фаски клапанов.

В качестве оборудования чаще применяют установки ЛГН-702, УЛГН-502 и ЛОК-3М.

При лазерной наплавке реализуют следующие преимущества этого вида нагрева:

- большую скорость выполнения операции;
- широкие технологические возможности;
- высокое качество поверхности после обработки;
- возможность местной обработки;
- легкость автоматизации;
- обработку внутренних поверхностей больших и малых диаметров

с помощью несложных оптических устройств.

Порошковая лазерная наплавка заключается в получении покрытий путем принудительной подачи порошка газовым потоком непосредственно в зону лазерного излучения. Частицы порошка начинают нагреваться в лазерном луче и расплавляются в поверхностном слое. Этот вид наплавки определяется следующими параметрами (интервалы оптимальных значений приведены в скобках):

- мощностью лазерного излучения (1...3 кВт);
- скоростью перемещения восстанавливаемой поверхности под облучением (16,7...33,3 мм/с);
- диаметром пятна нагрева, определяемым условиями фокусировки излучения (10...15 мм);

- массовым расходом порошка, подаваемого в зону обработки (2,1...3,2 кг/ч);
- углом ввода порошка (30...35°).

Увеличение мощности лазера приводит к увеличению количества расплавляемого порошка, вследствие чего возрастает ширина и высота наплавленных валиков.

Повышение скорости обработки приводит к существенному уменьшению геометрических размеров наплавленных валиков. Это связано с тем, что с увеличением скорости обработки при постоянной мощности уменьшается удельная погонная энергия, а также массовый расход порошка.

Влияние степени фокусировки на геометрические параметры наплавляемых валиков неоднозначно. С уменьшением степени фокусировки при постоянной мощности снижается плотность мощности излучения, что приводит к уменьшению количества расплавленного порошка и высоты расплавленного валика. Ширина же валика первоначально возрастает за счет увеличения размеров пятна излучения, а затем уменьшается.

Важным параметром является направление подачи порошка относительно движения детали при лазерной наплавке. Подача порошка в направлении движущейся детали обеспечивает хорошее формирование наплавленных валиков. Процесс формирования при такой схеме стабилен: колебания высоты и ширины валика незначительны (10...15 %). При подаче порошка навстречу движущейся поверхности детали газопорошковая струя оттесняет жидкий металл от закристаллизовавшейся части, вследствие чего он несколько растекается по поверхности, увеличивая площадь ванны плавления. При этом растет количество частиц порошка, попадающих в расплав, и немного увеличиваются размеры валиков по сравнению со случаем подачи порошка вслед движущейся детали. Однако геометрические размеры отличаются нестабильностью, разброс высоты и ширины валика достигают 50...60 %.

Увеличение расстояния от переноса материала приводит к увеличению площади сечения струи порошка с одновременным снижением плотности потока частиц в месте обработки, вследствие чего ширина наплавленных валиков несколько увеличивается, в то время как их высота уменьшается.

Качество покрытий зависит также от толщины наплавляемого слоя и перекрытия валиков. Зависимость высоты наплавки от угла ввода порошка носит экстремальный характер.

Один из видов лазерной наплавки – это оплавление шликерных покрытий. Наплавка шликерных обмазок целесообразна при восстановле-

нии плоских поверхностей или локально изношенных участков деталей в труднодоступных местах. Наносимый материал готовят в виде коллоидной смеси порошка в растворе целлюлозы. В этом случае наплавочный материал используется полностью. Для получения качественных покрытий хорошего качества лазером киловаттной мощности толщина обмазки не должна превышать 1 мм, а для лазера мощностью 2,5 кВт быть  $\leq 2$  мм. Коэффициент перекрытия при этом должен составлять не менее половины диаметра рабочего пятна.

Твердость покрытий из самофлюсующихся порошков составляет 35...60 HRC для подложки из стали и 45...60 HRC для подложки из чугуна. Толщина нанесенного слоя достигает 40...50 мкм. Прочность соединения покрытия с материалом подложки  $\geq 250$  МПа.

Лазерное оплавление напыленных покрытий – один из способов улучшения их свойств. Структура оплавленных лазером слоев характеризуется чрезвычайной дисперсностью, отсутствием оксидных включений и пор. Содержание легирующих элементов в оплавленных участках мало отличается от исходного. При лазерном оплавлении покрытий на оптимальном режиме, полученных напылением, можно добиться такого состояния поверхности, при котором последующая механическая обработка представляет собой отделку (например, шлифование). Поверхностное легирование – это введение в оплавленный слой практически любых легирующих элементов и даже карбидов. Продолжительность процесса измеряется секундами, в то время как при химико-термической обработке (ХТО) – часами. Регулируя мощность лазерного луча, продолжительность нагрева, скорость вращения изделия и шаг перемещения луча, можно достичь различной ширины оплавления: 0,05...5 мм.

Порошок на поверхность детали наносят как пасту, замешанную на жидком стекле, в виде наплавленного слоя или фольги нужного состава. Имеется способ легирования вдуванием порошка в оплавляемый слой. Углерод вводят в виде графита, а легирующие элементы – в элементном виде или как ферросплавы. Аналогично вводят релит, сплавы типа ВК и др. Твердость и глубина легированного слоя зависят от мощности луча и числа импульсов.

ХТО с лазерным нагревом ведут в камерах с аммиаком при азотировании. Плотность потока энергии изменяется от  $10^4$  до  $10^5$  Вт/см<sup>2</sup>. Микротвердость азотированного слоя 12 ГПа. При лазерном поверхностном легировании можно получать высокое пересыщение твердых растворов, более высокую твердость (1200 HV) и износостойкость.

Особенность поверхностной закалки заключается в нагреве и охлаждении поверхности со скоростями, достигающими  $10^5$  К/с, при этом

нагрев проводится по режиму, не дающему оплавления поверхности. Вследствие высокой скорости охлаждения металл не перегревается, имеет место полная гомогенизация структуры. При охлаждении образуется бесструктурный мартенсит, что способствует повышению твердости и износостойкости ( $> 1000 \text{ HV}$ ).

Остеклование поверхности (аморфизация) получается при нагреве детали с оплавлением. Твердость поверхности достигает  $2000 \text{ HV}$ , долговечность при этом повышается. Слои укладываются плотными рядами или с перекрытием. В обоих случаях на границе слоя будет мягкая зона или на участке теплового влияния, или в зоне перекрытия. На износостойкость эти мягкие участки не влияют, скорее даже имеют положительное значение, так как после небольшого износа они станут местом для задержания смазки и для отвода продуктов изнашивания. Особенно заметно уменьшение твердости между слоями и под слоем при лазерном упрочнении предварительно термически обработанной стали.

Структура и фазовый состав лазерных покрытий отличаются от других. В структуре не обнаруживаются первичные карбиды, а наблюдаются ячеистые зерна твердых растворов и эвтектики, причем размеры структурных составляющих очень малы. Твердый раствор значительно пересыщен легирующими компонентами, а в состав эвтектики входят метастабильные фазы, представляющие собой карбиды или бориды.

### 3.5.15. Электронно-лучевая наплавка

Сущность *электронно-лучевой наплавки* заключается в нагреве материала и поверхности детали потоком электронов. Способ обеспечивают высококонцентрированные вложения энергии в нагреваемую поверхность.

Малый объем обрабатываемого металла и кратковременность теплового воздействия гарантируют незначительные термические деформации соединяемых деталей. Толщина покрытий составляет от нескольких десятых миллиметра до  $1,0...1,5 \text{ мм}$  на сторону.

Электронно-лучевая наплавка обладает широкими технологическими возможностями.

В последние три десятилетия внимание исследователей привлечено к изучению аморфного состояния поверхностных слоев металлических сплавов, в том числе образуемых при восстановлении деталей. Эти слои, получаемые охлаждением из жидкого состояния конденсацией, вакуумным или ионно-плазменным напылением, а также облучением покрытий электронами или ионами, характеризуются отсутствием дальнего порядка



во взаимном расположении атомов и называются *металлическими стеклами*.

Металлическим стеклам присуще уникальное сочетание необычных электрических, магнитных, механических и химических свойств. Так, часть из них имеет удовлетворительную пластичность наряду с высокими твердостью и прочностью при растяжении, приближающуюся к теоретической. Например, твердость сплава  $\text{Fe}_{80}\text{B}_{20}$  составляет 1100 HV, а предел его прочности  $\sigma_b = 3130$  МПа, для сплава  $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{10}\text{B}_{12} - 890$  HV и 3330 МПа и для сплава  $\text{Fe}_{80}\text{H}_{13}\text{C}_7 - 760$  HV и 3040 МПа соответственно. В то же время эти сплавы обладают хорошей пластичностью.

При этом металлические стекла имеют характеристики упругости (модули Юнга  $E$  и сдвига  $G$ ), на 25...30 % более низкие по сравнению со свойствами сплавов в кристаллическом состоянии. Коэффициент теплового расширения части таких материалов близок к нулю. При переходе в аморфное состояние сплавов на основе переходных металлов (железа, кобальта, никеля) значительно снижаются намагниченность и температура Кюри. При комнатной температуре коэрцитивная сила и индукция насыщения магнитомягких металлических стекол несколько ниже, а удельное электрическое сопротивление на два–четыре порядка выше по сравнению с материалами в кристаллическом состоянии, т.е. уровень электромагнитных потерь в аморфных сплавах значительно ниже.

Признано, что изготовление сердечников распределительных трансформаторов из аморфных сплавов только в США дает экономию 2/3 электроэнергии. В то же время существуют сплавы, которые в аморфном состоянии имеют довольно высокую критическую температуру перехода в сверхпроводящее состояние  $T_k$  и стабильность при комнатной температуре. Так, сплав  $\text{Mo}_{80}\text{P}_{10}\text{B}_{10}$  имеет температуру  $T_k = 9$  К. Для аморфных сплавов системы Ti–Nb–Si–B достигнута плотность проходящего тока  $7 \cdot 10^4$  А/см<sup>2</sup>.

Еще одним достоинством металлических стекол является их уникальная коррозионная стойкость, в частности устойчивость к питтингу в растворах кислот. Она объясняется образованием на поверхности материала очень однородной пассивной пленки. Ряд классов металлических стекол может быть использован в качестве катализаторов в химических технологиях, стойких против радиационных воздействий и катодного распыления материалов.

Применение новых промышленных ускорителей электронов с энергией 1,5 МэВ и более и мощностью 50 кВт позволяет осуществлять наплавку углеродистых, легированных и жаропрочных сталей, серого чугуна и меди. Применяют наплавочные материалы в виде порошков никеля

и железа: ПР-Н80Х13С2Р, ПР-Н67Х18С5Р4, ПР-Н73Х16С3Р3, ПР-Н70Х17С4Р4, ПР-10Р6М5, ПГ-10Н-04, ФБХ-6-2. Толщина насыпного слоя изменяется от 1 до 5 мм, ширина слоя 8...40 мм, мощность электронного пучка 1,5...15 кВт, скорость наплавки 8...110 мм/с.

Покрытия, полученные электронно-дуговой наплавкой, содержат небольшое количество кислорода и азота:  $(4...19) \cdot 10^{-3}$  и  $(1...7) \cdot 10^{-3} \%$  соответственно. Столь низкое содержание газов в металле, наплавленном без защиты, объясняется возникающим в зоне облучения порошка потоком из активированных газов, паров металла и ультрадисперсных частиц. Этот поток препятствует контакту расплавленного металла с воздухом. Наличие такой защиты обеспечивает отсутствие пор в покрытии. Лишь при использовании порошка ПР-Н67Х18С5Р4 в наплавленном слое встречаются единичные поры.

Электронно-лучевая наплавка обеспечивает высокую производительность и широкие технологические возможности. Например, по сравнению с индукционной наплавкой производительность наплавки пучком электронов выше в 10...15 раз. Данный способ практически применим для наплавки любых материалов, позволяет точно дозировать энергию, вводимую в металл, изменяя тем самым глубину проплавления основного металла, структуру основного и наплавленного металла.

Для электронно-лучевой наплавки чаще применяют установки ЭЛУ-4 и А.306.05.

### 3.5.16. Индукционная наплавка

Технология *индукционной наплавки* основана на использовании токов высокой частоты для подогрева металла детали и присадочного материала.

Индукционный нагрев по удельной мощности тепловложения превосходит газовый и электродуговой, обеспечивает реальную скорость роста температуры до 200 °С/с и высокую производительность процесса. Мощность ТВЧ превосходит мощность газового пламени в 15...20 раз. Однако при наплавке ТВЧ отсутствует защитная среда, что требует очистки деталей и введения дополнительных флюсов.

Технологический процесс индукционной наплавки следующий. Восстанавливаемую поверхность детали предварительно обрабатывают для получения необходимых геометрической формы и размеров. На эту поверхность наносят шихту. Толщина слоя шихты определяет нужную толщину наплавленного слоя.

Деталь с нанесенной шихтой вводят в индуктор ТВЧ установки. Конструкция индуктора и расположение детали зависят от конфигурации наплавляемой поверхности. При прохождении ТВЧ через контур индуктора в поверхностных слоях детали возникают токи Фуко и наружный слой основного металла нагревается. Шихта, расположенная между индуктором и нагреваемой поверхностью детали, вследствие большого электрического сопротивления и мелких размеров частиц слабо реагирует на воздействие переменного электромагнитного поля. Она нагревается главным образом за счет теплопередачи от основного металла. Температура плавления шихты на 100...150 К ниже температуры плавления основного металла, а скорость нагрева поверхности детали – выше скорости теплоотвода в глубину детали.

Флюс шихты плавится, взаимодействует с оксидами и разрушает их на поверхности основного металла и порошкообразного металлического сплава. Флюс также предотвращает последующее образование оксидов и сдерживает теплоотдачу в окружающую среду. Дальнейшее повышение температуры шихты вызывает плавление ее металлической части. При этом жидкий сплав вытесняет отработавший флюс с наплавленной поверхности. Высокая температура нагрева материала и различный химический состав флюса, металлического сплава и основного металла способствуют развитию диффузии, которая обеспечивает прочное соединение наплавленного слоя с поверхностью детали.

После всплытия шлаков индукционный нагрев детали прекращают. Деталь охлаждают на воздухе или в песке.

Преимущества процесса:

- высокая производительность;
- отличное качество наплавленного слоя по химическому составу, плотности, структурной однородности и шероховатости поверхности;
- незначительное проплавление основного металла при высокой прочности соединения;
- возможность получения тонких слоев при обеспечении жесткого допуска на толщину покрытия.

Шихта состоит из магнитного порошкообразного твердого сплава и немагнитного флюса со связующим веществом. Если применяют самосплаивающийся порошок, то флюс не требуется.

В качестве материалов для наплавки применяют: высоколегированные чугуны УЗОХ28Н4С4 (сормайт № 1), У45Х35ГЗР2С (ФБХ-6-2), У35Х2Н5 (нихард), Ж4НДХ-15-7-2 (нирезист); сплавы на основе кобальта, вольфрама и никеля – стеллиты В2К и В3К; композиционные материалы (псевдосплавы) на основе карбидов вольфрама (релиты) и хрома (табл. 3.57).

## 3.57. Псевдосплавы для индукционной наплавки

Сплав	Размер частиц, мм	Твердость, HRC	Содержание элементов, %	
			C	Cr
ПС-14-80	0,40...1,25	61...64	5,2...7,1	49
ПС-14-60	0,50...1,20	58...63	4,0...5,7	35,7
ПС-15-30	0,80...1,25	46...50	2,3...3,8	28

*Продолжение табл. 3.57*

Сплав	Содержание элементов, %				
	Ni	Mn	Si	B	Cu
ПС-14-80	0,3...1,0	0,3	2,0	0,4...0,18	0,22...0,63
ПС-14-60	0,7...1,8	0,7	2,0...3,0	0,10...0,32	0,52...1,13
ПС-15-30	1,3...1,25	1,3	2,5...4,0	0,20...0,53	0,95... 1,88

Порошкообразные твердые сплавы обеспечивают высокие эксплуатационные характеристики наплавленных деталей. Материалы имеют минимальную магнитную проницаемость (являются парамагнитными) и обладают необходимым гранулометрическим составом. При толщине слоя шихты 1,5...4,5 мм размер частиц меняется от 0,2...0,4 до 0,8...1,2 мм. Температура плавления присадочного материала должна быть на 150...350 К ниже температуры плавления основного металла.

При увеличении в наплавленном металле содержания хрома и углерода возрастают твердость и износостойкость в абразивной среде, но снижаются пластичность и стойкость к ударным нагрузкам. При уменьшении содержания хрома и углерода при одновременном увеличении содержания никеля, как правило, несколько ухудшается твердость, но одновременно повышаются пластичность и стойкость к ударным нагрузкам.

При наплавке сормайтот и псевдосплавами применяют флюсы, содержащие 43...62 % борной кислоты, 30...42 % кристаллической буры и 5...15 % силикокальция. В зависимости от толщины наплавленного слоя в шихте должно содержаться 10...16 % флюса.

Индукционная наплавка дает высокую износостойкость наплавленного слоя (в 2...5 раз и более, чем поверхностей без покрытия), не требует сложной оснастки и обеспечивает высокую культуру производства.

Высокая мощность ТВЧ позволяет наплавлять крупногабаритные детали с большими площадями износов. К таким деталям относятся: лемеха, лезвия, диски тяжелых борон, лапы культиваторов, траки гусениц и др.

Приведем примеры использования индукционной наплавки при восстановлении.

1. Индукционная центробежная наплавка зеркала гильзы цилиндра. Ось восстанавливаемой гильзы располагают горизонтально, в деталь засыпают смесь самофлюсующегося порошка с железом или твердого сплава с флюсом, деталь приводят во вращение, в нее вводят индуктор и включают высокочастотное напряжение. За счет теплопередачи от нагретой гильзы шихта расплавляется, а центробежные силы формируют из расплавленного металла износостойкий слой.

2. Восстановление (изготовление) биметаллических вкладышей. Собирают пару вкладышей и между их стыками устанавливают антипригарную прокладку. Изделие устанавливают на валу, во внутреннюю его полость засыпают порошкообразную бронзовую шихту (БрОС1-22, БрОС12-17 или БрОЦС5-55) и приводят во вращение с частотой  $2000 \text{ мин}^{-1}$ . Во внутреннюю полость вкладышей вводят высокочастотный индуктор и включают нагрев изделия. При достижении температуры оплавления шихты, которая фиксируется бесконтактным автоматическим пирометром, нагрев изделия отключают и продолжают вращать последнее, охлаждая до температуры  $300...500^\circ\text{C}$ . После остановки вала детали снимают и охлаждают до комнатной температуры.

Основная часть технологического процесса наплавки протекает в индукторе, частями которого являются: индуктирующий провод, токоподводящие шины, контактные колодки для соединения индуктора с понижающим трансформатором и устройство для подачи воды. В зависимости от формы индуктирующего провода индукторы применяют для нагрева цилиндрических, плоских поверхностей или поверхностей сложной формы.

Индуктирующий провод изготавливают обычно из медных трубок или полосок. Во время работы индуктор охлаждается проточной водой. Форма и размеры индуктора зависят от условий нагрева, величины и конфигурации нагреваемой поверхности, а также от мощности и частоты источника питания.

На работу индуктора влияют ширина индуктирующего провода, а также величина зазора между внутренней рабочей поверхностью и поверхностью нагрева.

В зависимости от соотношения требуемой мощности нагрева детали и мощности источника выбирают один из способов наплавки:

– одновременный, при котором наплавляемая поверхность полностью вводится в индуктор;

- последовательный, когда поочередно наплавляют несколько участков детали;
- непрерывно-последовательный – наплавляемая поверхность перемещается в поле индуктора.

Ширина индуктирующего провода при одновременном способе нагрева определяется требуемой шириной зоны нагрева. В этом случае индуктированный ток сосредоточен в зоне, почти равной ширине индуктирующего провода. Обычно ширина зоны нагрева меньше ширины индуктирующего провода на 10...20 %.

Недостатки процесса:

- высокая энергоемкость;
- сложность использования для восстановления деталей с неравномерным износом.

### 3.5.17. Наплавка намораживанием

Сущность *наплавки намораживанием* заключается в последовательном затвердевании сплава на очищенной от оксидной пленки поверхности заготовки, погруженной в расплав.

Заготовку после кратковременной выдержки извлекают из расплава с образовавшимся на ее поверхности слоем наплавленного металла.

Совершенствование процесса ведет научная школа БАТУ (Минск) под руководством проф. Г.Ф. Бетеня.

Процесс нашел наибольшее применение при восстановлении почво-режущих элементов (плужных лемехов, стрелчатых лап, плугов бульдозеров, зубьев ковшов) сельскохозяйственной и строительной техники. Эти элементы испытывают одно из самых интенсивных видов механического изнашивания – абразивное. Для их изготовления в основном применяют стали 45, 65Г, 70Г. Как правило, рабочую часть закалывают. Однако это не дает существенного эффекта, так как закалка деталей из конструкционных сталей не исключает прямого разрушения их рабочей части микроцарапанием и микрорезанием кварцевыми частицами. Это объясняется тем, что микротвердость карбида железа (7...10 ГПа) меньше микротвердости кварца (11 ГПа), а хрупкость цементита очевидна.

Эффективным средством повышения долговечности деталей, работающих в абразивной среде, является применение их с биметаллической рабочей частью. В этом случае основной металл обеспечивает прочность, а наплавленный твердый сплав – абразивную износостойкость.

Применяемые ранее способы наплавки покрытий (индукционный, электродуговой и газопламенный) позволяют получить покрытия практи-

чески любой толщины, различного химического состава, с высокими твердостью и износостойкостью. Однако при этом наблюдаются отрицательные явления: крупнозернистость, дендритное строение, шлаковые включения, трещины и раковины, газовые пузыри, химическая и структурная неоднородность.

Основные операции наплавки намораживанием из расплава – подготовка присадочного материала и восстанавливаемой поверхности, погружение заготовки в расплав, выдержка, извлечение из расплава и охлаждение.

Присадочный материал (сплав Сормайт №1, смеси КБХ и ФБХ-6-2, псевдосплавы ПС-14-60, ПС-14-80 и др.) нагревают в индукционных печах до температуры, превосходящей на 30...50 °С температуру его плавления. Применяют тигли из графита или огнеупорного материала на основе нитридов бора и кремния. Выгоранию легирующих элементов препятствует слой расплавленного флюса АН-348А на поверхности присадочного материала.

Невосстанавливаемые поверхности заготовки, соприкасающиеся с расплавом, защищают нанесением на них тонкого слоя меловой обмазки. На восстанавливаемые поверхности последовательно наносят слои водного раствора жидкого стекла и порошкообразного флюса, состоящего на 4 % (по массе) из буры и 60 % борного ангидрида. Заготовку помещают в высокочастотный индуктор для активации наплавляемой поверхности при температуре 850...900 °С. Процесс активации протекает в течение 10...12 с, при этом флюс плавится, очищает поверхность от оксидов и защищает ее от последующего окисления.

Нагретую заготовку погружают в расплав. Детали типа ковшовых зубьев выдерживают в расплаве в течение 0,8...1,2 с. За это время на поверхности заготовки затвердевает слой сплава толщиной 2,5...3,0 мм. Затем деталь охлаждают на воздухе.

На качество и толщину наплавленного металла влияют температура заготовки и расплава и продолжительность их контактирования. Износостойкость наплавленных намораживанием деталей в 1,8...3,5 раза выше, чем новых изделий. По производительности способ конкурирует со всеми видами наплавки, исключая электрошлаковую.

Наплавка намораживанием обеспечивает повышение износостойкости восстанавливаемых элементов за счет придания их материалу необходимой текстуры. Износостойкость текстурированных поликристаллических материалов анизотропна. Наибольшая износостойкость наблюдается при трении перпендикулярно к главным осям карбидной фазы. Последнее обеспечивается направленным отводом тепла при кристаллизации материала.

Наличие в наплавочных материалах хрома и углерода способствует образованию карбидов хрома, микротвердость которых в 1,3...1,5 раза выше микротвердости кварца. Такие структурные составляющие в наплавленном покрытии и их текстурная направленность снижают интенсивность абразивного изнашивания.

Предложена разновидность способа нанесения покрытия погружением разогретой детали в порошковую шихту. Температура нагрева детали в этом случае превышает температуру плавления металлической шихты. Частицы шихты в процессе контакта с деталью расплавляются, а образовавшийся расплав под действием молекулярных сил удерживается на поверхности детали и кристаллизуется на ней, образуя покрытие. Применение процесса уменьшает время пребывания наносимого материала в расплавленном состоянии, что позволяет сохранить его наследственные свойства. Толщину покрытия регулируют температурой нагрева детали.

### 3.5.18. Газовая наплавка

Этот вид наплавки получил распространение при нанесении покрытий из цветных металлов в виде проволоки и твердых сплавов в виде порошка. Несмотря на невысокую мощность газового пламени, оно дает мягкий и локальный нагрев, позволяет наносить покрытия на малогабаритные детали с небольшим износом в труднодоступных местах.

Ручная *газопорошковая наплавка* имеет небольшую производительность. Она включает фазы нагрева восстанавливаемой поверхности, нанесения покрытия и его оплавления. Этот вид наплавки применяют при восстановлении профильных поверхностей типа кулачков распределительного вала, бойков коромысел, концов оттяжных рычагов сцепления и других деталей, которые входят в кинематические пары с линейным или точечным контактом. Такие поверхности подвержены интенсивному изнашиванию и должны обладать высокой твердостью. При их наплавке необходимо поддерживать постоянную линейную скорость перемещения сопла горелки относительно восстанавливаемой поверхности, что трудно обеспечить с помощью механизмов.

При нагреве горелками применяют ацетилен или пропан с кислородом. Из-за дефицита ацетилена чаще используют пропан-бутан. Газокислородное пламя должно быть нейтральным или восстановительным. Температуру предварительного нагрева выбирают с учетом состава и свойств основного металла и наплавочного материала.



Применяют горелки ГАЛ-2-68, ГН-2, ГАЛ-4-72, ГАЛ-6-73 конструкции «Автогенмаш» (Москва), которые устроены по схеме двухступенчатой инъекции.

Для работы на пропане горелка ГН-2 прошла модернизацию (установлено устройство для подогрева газокислородной смеси) и получила марку ГН-2П.

Прочную металлургическую связь между покрытием и основой легко получают при газопорошковой наплавке самофлюсующимися сплавами. При этом высокая стоимость наносимых материалов компенсируется относительной простотой процесса, универсальностью, возможностью восстанавливать дорогие детали. Применяют порошковые самофлюсующиеся материалы системы Ni-Cr-B-Si, температура плавления которых ниже температуры плавления основы. Благодаря этому создаются благоприятные условия для диффузионных процессов в контакте материалов покрытия и основы. Другое преимущество заключается в том, что материалы имеют не точку, а интервал плавления 950...1150 °С, что расширяет технологические возможности наплавки.

Технология газопорошковой наплавки включает такие операции:

- равномерный нагрев восстанавливаемой поверхности нейтральным пламенем горелки до температуры 300...400 °С с расстояния 10...30 мм путем перемещения пламени по всей поверхности;
- однократное нанесение покрытия при полной подаче порошка, при этом наносимый порошок образует тонкий слой на поверхности;
- нагрев покрытия до расплавления;
- нанесение покрытия без расплавления основного материала при пульсирующей подаче порошка, чтобы обеспечить полное расплавление его частиц. Наплавку начинают с центра зоны наплавки и постепенно подходят к краям до полного выравнивания наружной поверхности. Ось сопла горелки перпендикулярна к восстанавливаемой поверхности;
- нагрев поверхности покрытия и прилегающего участка детали с расстояния 50...60 мм.

Для газопорошковой наплавки гладких цилиндрических наружных и внутренних поверхностей с местным износом при повышенных требованиях к их износостойкости применяют пост 01.05.148 Ремдеталь. Пост может быть использован также для сварки тонколистовых конструкций и наплавки прутковыми материалами. В состав поста входят: стол сварщика С-10020, две горелки ГН-2, две горелки 01.05.148-400 для оплавления, два стеллажа 01.05.148-100, редукторы, баллон для пропана, приспособление 01.05.148-300 для наплавки деталей типа вал, приспособление для наплавки кольцевых поверхностей. Масса наплавляемых деталей до 5 кг.

### Технические характеристики поста 1.05.148 Ремдеталь

Производительность по порошку, кг/ч.....	До 2
Используемые газы.....	Пропан, ацетилен, кислород
Толщина наплавляемого слоя, мм.....	0,3...0,2
Давление газов, МПа:	
– пропана.....	0,02...0,05
– ацетилена.....	0,01...0,07
– кислорода.....	0,6
Грануляция порошка, мкм.....	40...160
Занимаемая площадь, м <sup>2</sup> .....	15
Масса, кг.....	850

ГОСНИТИ разработал для газопорошковой наплавки pistolsеты ОКС-5531, ОКС-5571 и ОКС-5574.

При наплавке кулачков распределительных валов вместе с постом 01.05.148 Ремдеталь целесообразно использовать вращатель 05.12.227 Ремдеталь, который обеспечивает механическое вращение заготовки.

## 3.6. Электроконтактная приварка металлического слоя

### 3.6.1. Сущность и классификация видов способа

Сущность электроконтактной приварки металлического слоя состоит в закреплении его на изношенной поверхности мощными импульсами тока с приложением давления (рис. 3.28).

Способ исправляет некоторые недостатки наплавки. В первую очередь наплавка сопряжена с большим вложением тепла в материал детали, что приводит к выгоранию легирующих элементов, возникновению закалочных структур, появлению трещин, трудностям механической обработки. Недостатки наплавки проявляются в случае восстановления деталей с малым износом. Минимальная толщина наплавочных покрытий ограничена. Наплавка под слоем флюса обеспечивают толщину покрытия  $\geq 3$  мм, а вибродуговая и в среде защитных газов  $\geq 2$  мм. Таким образом, основная часть наплавленного металла превращается в стружку при механической обработке покрытия. Кроме того, большинство видов наплавки связано с тяжелыми и вредными условиями труда.

Электроконтактная приварка металлического слоя получила научное развитие в результате деятельности коллектива под руководством проф.

А.В. Поляченко (ВНИИТУВИД «Ремдеталь», Москва). Этот коллектив разработал и основное оборудование.

Металл детали и слоя расплавляется в результате прохождения тока не по всей толщине покрытия, а только в точках контакта материала. Способ реализуют на установках путем совместного деформирования наносимого металла и поверхностного слоя детали, нагретых в очагах пластического деформирования короткими (0,02...0,16 с) импульсами токов 7...30 кА. Количество выделившегося тепла  $Q$  (Дж) при этом равно

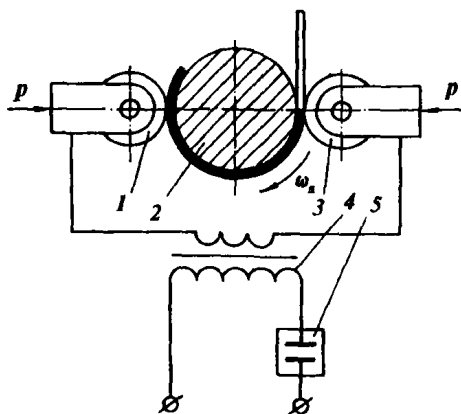


Рис. 3.28. Схема электроконтактной приварки ленты:

1 и 3 – ролики; 2 – восстанавливаемая деталь; 4 – трансформатор; 5 – контактор

$$Q = kI^2 Rt, \quad (3.31)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности;  $I$  – ток, А;  $R$  – сопротивление участка цепи, Ом;  $t$  – время действия тока, с.

Деформирующее усилие составляет 1000...1600 Н. Слой приваривают ко всей поверхности детали перекрывающимися точками, которые располагаются по винтовой линии. Сварные точки перекрываются как вдоль рядов, так и между ними. Перекрытия точек достигают частотой импульсов тока, пропорциональной частоте вращения детали и скорости продольного перемещения сварочной головки. Такое расположение сварных точек обеспечивает высококачественную приварку. При электроконтактной приварке материал детали прогревается на малую глубину, что обеспечивает неизменность его химического состава и исключает применение флюсов и защитных газов. Для уменьшения нагрева детали и улучшения условий закалки приваренного слоя в зону приварки подают охлаждающую жидкость.

По сравнению с дуговыми способами наплавки электроконтактная приварка металлического слоя с охлаждением рабочей зоны позволяет:

– увеличить производительность труда в 2...3 раза;

- сократить расход материалов в 3...4 раза за счет сокращения потерь на разбрызгивание металла и создания минимально необходимого припуска на обработку;
- исключить нагрев и деформацию детали;
- обеспечить закалку слоя непосредственно в процессе приварки;
- достичь высокой прочности соединения покрытия с восстанавливаемой поверхностью (100...250 МПа);
- наплавлять черные и цветные металлы на различные марки сталей и чугунов;
- исключить выгорание легирующих элементов;
- обеспечить различные сочетания присадочных материалов;
- создать благоприятные санитарно-производственные условия.

Зона термического влияния  $\leq 0,5$  мм и при нанесении второго и последующих слоев распространяется лишь на толщину первого слоя и не достигает основного металла. При этом удастся в основном сохранить предел выносливости соединения по сравнению с дуговыми способами наплавки. Электродная приварка является природоохранным, ресурсо- и энергосберегающим технологическим процессом.

Разновидности способа определяются видами основного материала, применяемого для нанесения покрытий. Металлический слой создают из проволоки, ленты, порошков, сочетания порошков с лентой и др.

Способ применяют для восстановления шеек и резьбовых участков валов, наружных цилиндрических поверхностей других деталей, а также отверстий в чугунных и стальных деталях (например, гильзах и блоках цилиндров). Для восстановления типовых деталей созданы специальные установки.

### **3.6.2. Материалы и технологии**

При восстановлении шеек валов применяют проволоку сплошного сечения: НП-35, Нп-40, Св-08, Св-08Г2С, Нп-30ХГСА, ПК-2 – и порошковую (например, ПП-АН-10) диаметром 1,6...2,5 мм, а также толщиной 0,5...0,6 мм из углеродистых сталей 10, 20, 40, 50, У7, У8, 65Г и легированных сталей 40Х и 50ХФА. В качестве основных материалов во время приварки порошков используют сплавы ПГ-Х20Н80, СНГН, ПГ-СР2, 3 или 4, ПГ-ХН80СР2, ПГ-10Н-01, ПГ-10Н-04, ПГ-УС25, ПГ-С27, механические смеси КБХ и ФБХ-6-2, а также различные композиции. На твердость и прочность покрытия наибольшее влияние оказывает его материал (табл. 3.58).

**3.58. Твердость приваренного слоя в зависимости от материала ленты**

Марка стали	Твердость слоя, HRC	Марка стали	Твердость слоя, HRC
20	22...27	55	51...56
40	41...46	40X	51...61
45	46...51	65Г	61...66

Проволочный материал нашел широкое применение при восстановлении резьбы и шеек валов, ленточный – при восстановлении шеек валов и поверхности отверстий в корпусных деталях, а порошковый – при восстановлении шеек валов и конических поверхностей клапанов.

Электроконтактная приварка проволоки обеспечивает: хорошее соединение покрытия с восстанавливаемой поверхностью, постепенное изменение свойств в зоне перехода между приваренным и основным металлом, наличие зоны сплавления между витками проволоки, проникновение металла последующего валика в предыдущий, что повышает прочность соединения по сравнению со способами сварки, где имеется зона пережога, характеризующаяся низкой прочностью, формированием мелкодисперсной структуры, которая способствует не только увеличению твердости, но и ударной вязкости металла, а в конечном итоге уменьшает интенсивность изнашивания.

Диаметр проволоки при восстановлении резьбы выбирают из расчета, чтобы при нагреве и осадке проволока полностью заполнила впадину между витками и обеспечила припуск на механическую обработку. Этому условию удовлетворяет превышение диаметра проволоки на 5...10 % шага резьбы. Зависимость между усилием сжатия  $Q$  (в ньютонах) и силой сварочного тока  $I$  (в амперах) выражается формулой

$$Q = 6,4\sqrt{I}. \quad (3.32)$$

Приварка проволоки обеспечивает высокую износостойкость покрытий, но отрицательно влияет на усталостную прочность восстановленных элементов. Приварка проволок Св-08ГС и 65Г снижает усталостную прочность на 10...25 % по сравнению с этими показателями у нормализованной стали 45 и чугуна ВЧ-50. В отличие от стали 45, закаленной ТВЧ, снижение этого показателя у образцов с покрытием, нанесенным электроконтактной приваркой, значительно больше и достигает 50 %. Режимы приварки проволоки приведены в табл. 3.59. Длительность импульса составляет 0,02...0,04 с, а пауза 0,06...0,08 с. Скорость приварки 1,6...2,0 м/мин.

### 3.59. Режимы электроконтактной приварки проволоки на наружные поверхности цилиндрических деталей

Проволока	Диаметр проволоки, мм	Ток, кА	Давление на ролик, Н	Шаг приварки, мм/об
Пружинная	2	8,5...10	1300	2,0...2,2
		7,5...9		
	1,6	7...8	1100	1,6...1,8
		5...6		
Св-08	2,5	8,5...10	1500	2,5...2,8
		7,5...9		
	2,0	8...9	1300	2,0...2,2
		7...8		
	1,6	7...8	1100	1,6...1,8
		5...6	1000	

Большое распространение среди способов приварки получила электроконтактная приварка ленты. Этот способ требует применения оборудования для мерной отрезки ленты и ее предварительной гибки. К такому оборудованию относятся установка 02.11.157 Ремдеталь для продольной и поперечной размерной резки ленты и гибочный станок 01.08.001. Применение установки 02.11.157 Ремдеталь повышает производительность труда в 5 раз по сравнению с изготовлением ленты вручную.

#### Технические характеристики установки 02.11.157 Ремдеталь

Производительность, ед/ч.....	400
Размеры заготовок, мм:	
– толщина.....	0,1...1,0
– ширина.....	80
– длина.....	20...2000
Привод:	
– резки.....	Электромеханический
– рубки.....	Пневматический
Габаритные размеры, мм.....	600×600×1100
Масса, кг.....	200

Прочность соединения покрытия из ленточного материала при силе тока 7,72 кА, усилии на электроде 1,3 кН, длительности импульса тока 0,04 с и скорости наплавки 1,2...1,5 м/мин находится в пределах 300...400 МПа. Меньшее значение соответствует предварительной обработке точением до третьего класса шероховатости, большее – дробеструйной обработке. Микротвердость у поверхности шва и перекрытий зон покрытия из сталей 50, 40Х, 65Г, У-8А составляет соответственно 5600, 6300, 5800, 7150 и 7150, 7900, 7500, 8400 МПа. Режимы приварки металлической ленты на поверхности отверстий корпусных деталей и шейки валов приведены в табл. 3.60.

Предел выносливости образцов диаметром 40 мм с покрытием из ленты в зависимости от ее марки снижается на 54...67 %. Поверхностное пластическое деформирование в виде обкатки шариками повышает значение предела выносливости более чем в 2 раза. Применение сплошных и спеченных лент различного состава и твердости позволяет повысить из-

**3.60. Режимы приварки металлической ленты**

Параметр	Детали	
	корпусные	валы
Сила сварочного тока, кА	7,8...8,0	16,1...18,1
Продолжительность, с:		
– сварочного цикла	0,12...0,80	0,04...0,08
– паузы	0,08...0,10	0,10...0,12
Скорость сварки, м/мин	0,5	0,7...1,2
Подача электродов, мм/об	Вручную	3...4
Сила сжатия электродов, кН	1,70...2,25	1,3...1,6
Ширина рабочей части электродов, мм	8	4
Диаметр электродов, мм	50	150...180
Марка стали ленты	20	40, 45, 50
Материал детали	Чугун	Сталь
Расход охлаждающей жидкости, л/мин	0,5...1,0	1,5...2,0

носостойкость восстановленных элементов в 5...10 раз по сравнению с новыми деталями.

Покрытия шлифуют кругами из белого электрокорунда ПП 23 АСМ 1-01 К6 в следующем режиме: окружная скорость круга 35 м/с, детали 25...30 м/мин, поперечная подача круга 0,2...0,3 мм/мин. Обработку ведут при обильном охлаждении зоны шлифования 1,5...3,0%-ным водным раствором кальцинированной соды. Выбор сравнительно невысоких режимов обработки обусловлен пониженной теплопроводностью переходной зоны покрытие – основа. Применение жестких режимов обработки в этом случае может привести к концентрации тепла в приваренном слое и его отслоению вследствие теплового расширения.

Износостойкость покрытий повышается до 10...15 раз, если перед электроконтактной приваркой под стальную ленту с содержанием 0,5 % С толщиной 0,4 мм поместить зерна сплавов на основе карбидов вольфрама (ВК8, Т15К6 или релита) размером 0,3...0,5 мм. Особенности этой технологии следующие: обеспечивают нагрев подэлектродного участка до температуры 1350 °С, что приводит к плавлению эвтектики Fe–FeO; создают удельное давление на роликовый электрод 50...75 МПа при плотности импульса тока до 700 А/мм<sup>2</sup>; шейки шлифуют алмазным кругом АПП 300×27×127×5 с зернами АСВ зернистостью 100/80 на металлической связке МБ<sub>1</sub>.

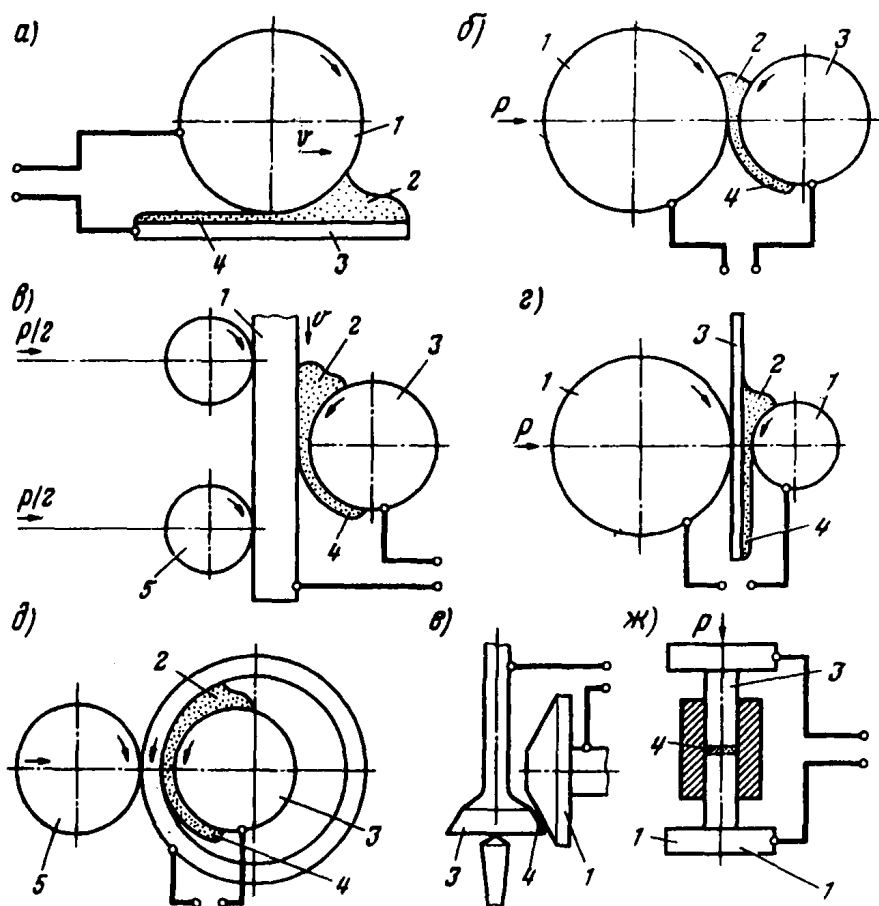
Широкими технологическими возможностями, позволяющими повысить послеремонтную наработку восстановленных деталей, обладает электроконтактная приварка порошковых материалов.

Сушность процесса заключается в том, что между движущимися деталью и электродом помещают металлический порошок, через них пропускают электрический ток с приложением давления.

Вращающаяся или неподвижная деталь является одним из электродов переменного тока, второй медный электрод вращается или неподвижен. В зазор между этими двумя электродами из бункера подают порошковый материал. Материал к восстанавливаемой поверхности детали прижимают под давлением 30...60 МПа вторым электродом. Через электроды и материал пропускают электрический ток силой 5...30 кА, плотностью 1...5 А/см<sup>2</sup>, напряжением 6...12 В и импульсами длительностью 0,04...0,14 с. Скорость приварки составляет 0,17...0,37 м/мин. Схемы устройств для нанесения порошковых покрытий приведены на рис. 3.29.

В результате на поверхности восстанавливаемой детали образуется слой, толщина которого определяется углом захвата порошка роликом. От состава порошков зависят требуемые свойства восстановительных покрытий (см. рис. 3.8, б).





**Рис. 3.29. Схема электроконтактной приварки порошков на поверхности:**  
 а – плоскую (горизонтальная схема); б – наружную цилиндрическую;  
 в – наружную цилиндрическую плоским электродом; г – плоскую (вертикальная  
 схема); д – наружную цилиндрическую; е – коническую; ж – торцовую;  
 1 – электрод; 2 – порошок; 3 – деталь; 4 – слой порошка; 5 – нажимной ролик

Высокое качество восстановления обеспечивает композиция из самонаплавления порошка ПГ-ХН80СР2, порошков сормита ПГ-С1 и железа ПЖ-3М в равных объемных частях с добавкой к ним меди и свинца (1,5...5,0).

Для восстановления деталей типа вал целесообразно использовать следующие порошковые композиции: 20 % ФБХ-6-2 + 80 % ПЖ-5;

20 % КБХ + 5 %  $Al_2O_3$  + 75 % ПЖ-5; 30 % ПГ-ХН80СР2 + + 70 % ПГ-10Н-04; 20 % ПГ-10К-01 + 80 % ПГ-10Н-04. Применение этих композиций обеспечивает высокую износостойкость покрытий с возможностью их механической обработки в виде точения.

Прочность соединения покрытия с восстанавливаемой поверхностью находится в пределах 150...300 МПа. Пористость и твердость покрытий изменяются в широких пределах и зависят от состава составляющих покрытия. Пористость покрытий 12...25 %, а твердость 25...63 НRC. Наиболее высокая твердость наблюдается при нанесении покрытий состава ПГ-С1 + (60...70 %) ФХ-80.

Сопротивление усталости деталей с покрытиями из порошков снижается на 7...12 % по сравнению с этим показателем у новых деталей.

Покрытия обрабатывают лезвийным или абразивным инструментом. Лезвийную черновую обработку выполняют резцом из гексанита-Р при скорости резания 22...30 м/мин, подаче 0,15...0,20 мм/об, глубине резания 0,5...0,9 мм. Чистовую обработку таким инструментом ведут при скорости резания 60...80 м/мин, подаче 0,02...0,20 мм/об, глубине резания 0,1...0,5 мм.

### **3.6.3. Оборудование для электроконтактной приварки металлического слоя**

Регулируемые импульсы сварочного тока получают с помощью прерывателей в серийных контактных сварочных машинах, например МШ-1 или МШК-2002 (К-421М), а также конденсаторными источниками питания с зарядным напряжением 875...900 В и емкостью рабочих конденсаторов 2000...2300 мкФ.

Специальное оборудование для создания ремонтных заготовок различных деталей разрабатывалось ВНИИТУВИД «Ремдеталь», ЧИМЭСХ, Московским государственным аграрным университетом им. В.П. Горячкина, Институтом надежности машин НАН Беларуси. Для электроконтактной приварки металлического слоя имеются передвижные посты ППКС-01-74.

Электроды установок изготавливают из специальных медных сплавов типов БрХ, БрХК, БрНБТ и БрВНТ.

Характеристика специализированного ремонтно-технологического оборудования для создания ремонтных заготовок путем электроконтактной приварки металлического слоя на восстанавливаемые элементы деталей различных типов приведена в табл. 3.61. Это оборудование блочно-модульного строения создано на базе установки 011-1-00 для наплавки валов.

**3.61. Ремонтно-технологическое оборудование ВНИИТУВИД «Ремдеталь»  
блочно-модульного строения для электроконтактной приварки  
металлического слоя**

Обозначение оборудования	Назначение	Восстанавливаемые детали
011-1-02	Электроконтактная приварка слоя на наружные и внутренние поверхности	Тела вращения
011-1-04	Электроконтактная приварка слоя на наружные поверхности, в том числе на шлицы	
011-1-05	Электроконтактная приварка слоя на наружные поверхности, в том числе на резьбы	
011-1-06	Электроконтактная приварка слоя на внутренние поверхности гильз цилиндров	Гильзы цилиндров
011-1-07	Электроконтактная приварка слоя на наружные поверхности гильз цилиндров	
011-1-08	Электроконтактная приварка слоя на внутренние поверхности отверстий шатунов	Шатуны двигателей
011-1-10	Электроконтактная приварка слоя на внутренние поверхности стаканов подшипников	Стаканы подшипников
011-1-11	Электроконтактная приварка слоя на внутренние поверхности отверстий корпусных деталей	Корпусные детали

Установка 011-1-02Н предназначена для предприятий с большой производственной мощностью при восстановлении изношенных элементов деталей электроконтактной приваркой ленты на наружные цилиндри-

ческие поверхности диаметром 15...250 мм и длиной до 1200 мм. Толщина привариваемого слоя составляет 0,2...1,0 мм, производительность процесса достигает 100 см<sup>2</sup>/мин.

Для электроконтактной приварки проволоки созданы установки УКН-5, -6, -8М, -9, -10, -11. Восстановление изношенных резьбовых поверхностей с шагом резьбы до 2 мм целесообразно проводить на установке 011-1-05.

#### Технические характеристики установки 011-1-5 для приварки проволоки

Диаметр восстанавливаемой детали, мм.....	10...150
Толщина слоя, мм.....	0,3...1,5
Потребляемая мощность, кВт.....	150
Производительность при нанесении слоя толщиной 1 мм, см <sup>2</sup> /мин.....	15
Расход охлаждающей жидкости, м <sup>3</sup> /ч.....	2,2

С помощью установки 011-1-06 приваривают стальную ленту толщиной 0,4...0,6 мм к изношенному зеркалу гильзы цилиндра диаметром 100...300 мм и длиной до 300 мм.

Установка 011-1-07 обеспечивает приварку стальной ленты толщиной 0,4...0,6 мм к наружным изношенным поясам гильз цилиндров диаметром до 180 мм.

Установка 011-1-08 служит для нанесения покрытий толщиной 0,15...1,0 мм на поверхности нижних головок шатунов диаметром 55...150 мм.

Производительность рассмотренных установок 60 см<sup>2</sup>/мин.

Установка 011-1-10 используется для нанесения покрытий на наружные диаметром 100...250 мм и внутренние диаметром 60...180 мм поверхности стальных и чугунных деталей типа стаканов подшипников. Толщина привариваемой ленты 0,2...1,0 мм.

Установка 011-1-11 служит для электроконтактной приварки ленты на внутренние поверхности отверстий корпусных деталей, в том числе на поверхности коренных опор блоков цилиндров.

Восстановление изношенных шеек и резьбовых поверхностей на валах длиной до 2000 мм производят на установке 01-11-022М. Производительность ее в 6...7 раз превышает производительность установки 011-1-05.

Для автоматизированной электроконтактной приварки различных материалов (стальной ленты, проволоки и порошков) на наружные цилиндрические поверхности создана установка 01.01.187.

На установке 01.08.005 наносят покрытия на клапанные гнезда блоков цилиндров двигателей с производительностью до 2 сб.ед./ч.

### 3.7. Напыление материала

#### 3.7.1. Классификация и характеристика видов напыления

Академики В.И. Черноиванов и Э.С. Каракозов установили, что при разработке технологических процессов и оборудования для восстановления деталей необходимо учитывать основные условия формирования качественных покрытий:

- термические воздействия на деталь должны полностью или частично предотвращать фазовые или структурные превращения в основном металле;
- перемешивание материалов основы и покрытия должно быть минимальным;
- надо избегать реакций, способных изменить химический и фазовый состав покрытия по сравнению с исходным материалом;
- в зоне соединения не должны развиваться процессы релаксационного характера, способные изменить ее структуру и фазовый состав.

С учетом приведенных требований перспективно использование способов, обеспечивающих сохранение твердой фазы материала во время его нанесения. К таким способам нанесения покрытий относятся газотермическое напыление и электроконтактная приварка металлического слоя.

В качестве исходного материала при нанесении покрытий из горячего металла целесообразно использовать порошки. Это позволяет регулировать в широких пределах химический и фазовый состав покрытия смешиванием в исходном состоянии различных порошков. Покрытия из порошковых материалов наносят как способами газотермического напыления, так и газопорошковой наплавкой, электроконтактной приваркой и индукционным напеканием.

Сущность *напыления материала* как процесса нанесения покрытий заключается в нагреве материала, его диспергировании (дроблении), переносе движущейся средой, ударе о восстанавливаемую поверхность или покрытие, деформировании и закреплении.

Напыляемый материал нагревается за счет теплообмена с высокотемпературной средой (продуктами горения, электрической дугой, плазмой или областью прохождения вихревых токов). В ряде случаев он дробится путем плавления, частицы его разгоняются и переносятся струей движущегося газа, достигают поверхности детали в пластическом состоянии, имея большой запас кинетической и тепловой энергии, ударяются о поверхность, деформируются и закрепляются на ней, расходуя накопленную энергию (рис. 3.30).

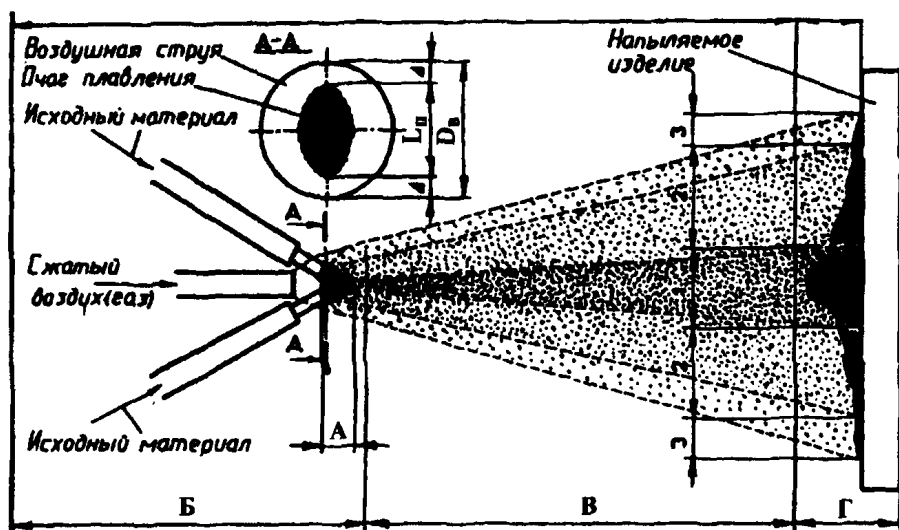


Рис. 3.30. Схема процесса напыления:

А – зона расплавления материала; Б – зона распыления; В – факел; Г – зона образования покрытия; 1, 3 – пятно насыщения соответственно максимального и минимального; 2 – кольцо среднего насыщения;  $D_a$  – диаметр воздушной струи;

$L_n$  – размер очага плавления;  $\Delta$  – перекрытие

Особенность напыления состоит в отсутствии расплавления поверхности основного металла, что обеспечивает незначительную деформацию детали. Небольшая температура подложки (до 150...200°) позволяет применять процесс для нанесения покрытий на стекло, фаянс, фарфор, дерево, пластмассу, ткань или картон.

Соединение металлических частиц с поверхностью детали и между собой носит в основном механический характер – за поры и специально подготовленный профиль в виде «рваной» резьбы. Имеются силы физического взаимодействия (например, силы Ван-дер-Ваальса), силы металлической связи за счет коллективизации валентных электронов и связи ковалентного типа.

Нагрев материала и пребывание его в ряде случаев в окислительной среде приводят к изменению структуры и окислению поверхности. Пластическое деформирование частиц при ударах о подложку и между собой придает им расплюснутую форму, вызывает наклеп материала, изменение текстуры и частичное разрушение оксидной пленки. Микроструктура напыленного покрытия выявляет его слоистое строение с оксидными пленками между соединенными частицами. Видна граница раздела между покрытием и основным металлом (см. рис. 3.3, г).

В качестве материалов для напыления покрытий используют проволоку или порошки из различных материалов.

Большое влияние на строение и свойства покрытия оказывают скорость полета, температура частиц, время пребывания их в химически активной среде и ее состав.

В зависимости от вида источника тепловой энергии, затрачиваемой на нагрев и диспергирование напыляемого материала, различают следующие основные виды напыления (ГОСТ 28076–89): электродуговое, газопламенное, детонационное и плазменное. Плазменное напыление, в свою очередь, подразделяется на индукционное и плазменно-дуговое. По виду защиты рабочей зоны напыления различают процессы без защиты, с местной защитой и в герметичной камере. Характеристика распространенных видов напыления приведена в табл. 3.62.

Повышение скорости напыляемых частиц увеличивает запас их кинетической энергии. Накопленная энергия затем расходуется на деформирование частиц и их закрепление, а малое время окисления способствует уменьшению толщины оксидных пленок, что в конечном итоге снижает пористость покрытий и резко повышает их физико-механические и эксплуатационные свойства.

**3.62. Значения параметров различных способов напыления**

Параметр	Виды напыления			
	электродуговое	газопламенное	плазменное	детонационное
Производительность процесса, кг/ч	3...50	1...10	3...12	0,1...6,0
Коэффициент использования напыляемого материала	0,80...0,95		0,70...0,90	0,30...0,60
Прочность соединения покрытия с основой, МПа	До 40	До 50	До 60	До 200
Температура частиц, °С	До 1800	До 3000		До 4000
Скорость частиц материала, м/с	50...150	20...120	50...400	600...800

Эволюция скорости напыляемых частиц такова. Скорость частиц при тигельном напылении составляла 20...30 м/с (1940 г.), при электродуговом достигнута скорость 60 м/с (1950 г.). В середине 50-х годов XX века было разработано детонационное напыление, которое обеспечило разгон частиц порошка до 800 м/с. Несколько позже появилось плазменное напыление, которое интенсивно развивалось, в 1960 г. достигнута скорость напыляемых частиц 170 м/с, в 1970 г. – 210 м/с (плазмотрон «Metco 7M»), в 1973 г. – 230 м/с (плазмотрон F4), в 1980 г. – 390 (плазмотрон ПН-21) и 610 м/с (сверхзвуковое плазменное напыление). В 1998 г. стало известно сверхзвуковое плазменно-канальное напыление (800 м/с). В 2000 г. внедрено многодуговое плазменное напыление со скоростью частиц 820 м/с.

Производительность электродугового напыления в 3...5 раз выше газопламенного. Применяемые проволоочные материалы при этом имеют более низкую стоимость, чем порошковые. Степень усвоения тепла материалом достигает при электродуговом напылении 57 % по сравнению с 13 и 17 % при газопламенном и плазменном напылении соответственно.

По стоимости восстановления электродуговое напыление в 1,5...2 раза дешевле любого другого из применяемых газотермических способов или наплавки при равной износостойкости. Отсутствие кислорода в качестве окислителя топлива значительно снижает себестоимость наносимых покрытий, повышает надежность деталей и безопасность проводимых работ. Этим способом можно восстановить ~ 60 % изношенных деталей с обеспечением износостойкости выше новых деталей.

Способы напыления материала в порядке увеличения затрат располагаются в ряды:

- по удельным затратам на единицу массы покрытия: электродуговое – газопламенное – плазменное – детонационное;
- по удельным затратам на газ: электродуговое – газопламенное – плазменное – детонационное;
- по затратам на электроэнергию: газопламенное – детонационное – электродуговое – плазменное;
- по затратам на заработную плату с начислениями (трудоемкости): электродуговое – газопламенное – плазменное – детонационное.

Таким образом, напыление материала – производительный и сравнительно простой процесс, обеспечивающий небольшой нагрев детали, высокую износостойкость покрытий, возможность регулирования в ши-



роких пределах их химического и фазового состава, а также нанесения покрытий из металлов, сплавов, оксидов, карбидов, нитридов и пластмасс практически любой толщины и на различные материалы (в том числе на неметаллы). Напыление применяют для восстановления, упрочнения и коррозионной защиты поверхностей деталей. Оно не снижает усталостную прочность деталей, но не нашло широкого применения при восстановлении внутренних цилиндрических протяженных поверхностей.

К недостаткам рассмотренного процесса относятся невысокая адгезионная и когезионная прочность покрытий по сравнению с прочностью монолитного металла, окисление материала, повышенное выгорание легирующих элементов, потери материала.

Широкое внедрение напыления в ремонтном производстве сдерживается из-за высокой стоимости наносимых материалов и грубого искажения рекомендуемой технологии с субъективным подходом к оценке способа. Многолетний опыт применения напыления на передовых заводах стран СНГ, на предприятиях Австрии, Великобритании, Германии и Чехии показывает, что при учете специфических особенностей покрытий и соблюдении научных рекомендаций напыление становится рациональным способом создания ремонтных заготовок.

### ***3.7.2. Технологический процесс напыления***

*Технологический процесс* напыления материала в общем виде включает такие операции:

- предварительную обработку наносимого материала;
- предварительную механическую обработку восстанавливаемой поверхности;
- подготовку восстанавливаемой поверхности (нарезание «рваной» резьбы, дробеструйную обработку, обезжиривание);
- изоляцию поверхностей, не подлежащих напылению (установку заглушек в масляные каналы детали, выходящие в зону напыляемых поверхностей, установку экранов, нанесение лака);
- нагрев детали;
- нанесение подслоя;
- нанесение основного покрытия;
- оплавление покрытия;
- выдержку деталей в термосе;
- снятие экранов и заглушек, очистку детали.

Операции предварительной подготовки наносимого материала необходимы для достижения требуемой прочности соединения покрытия с восстанавливаемой поверхностью. Например, стальная высокоуглеродистая проволока очищается от консервационной смазки и других загрязнений в горячих растворах ТМС, проходит отжиг при температуре 800...850 °С в течение 1,0...1,5 ч, обрабатывается в 7,5%-ном растворе серной кислоты, промывается в проточной воде и высушивается.

Предварительная механическая обработка восстанавливаемых поверхностей необходима для придания правильной геометрической формы восстанавливаемым элементам и обеспечения равномерной толщины будущих покрытий. Следует учитывать, что напыленные покрытия работоспособны при минимальной толщине  $\sim 0,3$  мм, что также обеспечивается указанной обработкой. Предварительная обработка заключается в точении, растачивании, подрезке или обдирочном шлифовании.

Прочность соединения покрытия с основой является одной из эксплуатационных характеристик. Ее увеличивают путем:

- создания неровностей и шероховатостей поверхности дробеструйной обработкой и наклепа поверхности, что придает ей большую химическую активность;

- очистки поверхности от загрязнений, оксидных и жировых пленок, достигаемой механическими и химическими способами (обезжиривание, травление, ультразвуковая очистка в моющих растворах);

- нанесения промежуточного слоя (подслоя) любым способом;

- предварительного подогрева поверхности до температуры  $\sim 150...250$  °С.

Способы подготовки восстанавливаемой поверхности под напыление в зависимости от вида используемой энергии делятся на механические, химические и термические.

Механические способы подготовки поверхности включают обработку струей газа (обдув) или жидкости либо твердым материалом. В качестве инструмента при обработке твердыми материалами используют резцы, щетки, зерна абразива. Процесс может быть интенсифицирован путем наложения ультразвуковых колебаний.

Основными видами подготовки поверхности под напыление являются нарезание рваной резьбы, канавок и дробеструйная обработка.

При нарезании рваной резьбы на цилиндрической поверхности резец имеет угол при вершине 55...60°, радиус закругления при вершине 0,3...0,5 мм, угол резания 80°, вылет резца из резцедержателя 100...150 мм. Режимы нарезания рваной резьбы приведены в табл. 3.63. Нарезание такой резьбы целесообразно и на внутренних поверхностях.

## 3.63. Режимы нарезания рваной резьбы

Диаметр детали, мм	Смещение резца выше линии центров, мм	Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup>
10	1	300
15	1,5	210
20	2	150
25	2,5	135
30	2,5	100
35	3	95
40	3	75
45	3	70
50	3,5	60
75	4	45
100	4,5	30
150	5	20
200	6	15
250	7,5	13
300	9	10
350	11	9
400	13	7
450	15	6
500	16	5

На конических поверхностях нарезают кольцевые канавки. Применяют отрезные резцы с шириной режущей кромки 1,2...1,4 мм. Режущую кромку закругляют по радиусу 0,3...0,5 мм. Шаг канавок при обработке составляет 1,6...2,0 мм, их глубина 0,7...0,8 мм.

На плоских поверхностях деталей нарезают канавки по спирали Архимеда на токарных или карусельных станках. Параллельные канавки выполняют на строгальных станках.

Канавки должны быть расположены перпендикулярно к направлению нагрузки. В последующем вершины канавок прикатывают, а в заключение подвергают дробеструйной обработке.

Для поверхностей с твердостью  $\leq 35$  HRC применяют механическую обработку без снятия стружки – путем косой сетчатой накатки на гладких наружных цилиндрических поверхностях. Накатка увеличивает прочность соединения покрытия с деталью и почти не изменяет усталостную прочность детали. На обрабатываемую поверхность воздействуют два ролика, расположенных в одной плоскости с двух сторон детали. На роликах фрезеруют треугольные зубья с закругленными вершинами и впадинами, расположенными под углом  $30^\circ$  к оси ролика и направленными у одного ролика вправо, у другого влево. Материал роликов – У10А.

Применяется вибрационная обработка деталей в абразивной среде. Детали загружают в контейнер вибрационной установки с кусками размером 30...50 мм абразивного круга, а контейнеру сообщаются колебательные движения с частотой 1500...2000 мин<sup>-1</sup> и амплитудой 1,5...4,0 мм.

Термообработанные твердые поверхности перед напылением проходят струйно-абразивную обработку зернами корунда. Чугунные или стальные нетермообработанные поверхности проходят дробеструйную обработку стальной или чугунной колотой дробью (соответственно ДЧК или ДСК).

Режим абразивной обработки поверхности струей корунда следующий: размер зерен 500...800 мкм; давление очищенного от влаги и масла сжатого воздуха 0,55...0,65 МПа; его расход 3,0...3,5 м<sup>3</sup>/мин; расстояние от среза сопла до поверхности детали 60...90 мм; угол наклона струи абразива к поверхности детали  $70^\circ$ ...  $90^\circ$ . Приведенный режим обеспечивает удельную мощность потока 60...150 кВт/м. После такой обработки с последующим напылением подслоя из проволоки марки Х20Н80 обеспечивается максимальное значение прочности сцепления покрытий с шейками валов до 43...46 МПа.

В качестве абразивных зерен применяют также стружку, отходы проволоки, карбид кремния, песок, дробленый гранит и др.

Для твердых поверхностей, для которых трудно применить механическую обработку, используют электронскую обработку. Режим обработки: окружная скорость вращения электрода-инструмента 16...18 м/с, напряжение 30 В, сила тока 180...200 А, окружная скорость детали 8...18 м/мин. Рабочие жидкости – мыльные растворы, водные растворы бур, суспензии каолина и др.

Химические способы подготовки поверхности в зависимости от вида используемых веществ разделяют на кислотные, щелочные и солевые.

Химическое травление (табл. 3.64) основано на различной скорости растворения кристаллов и межкристаллитных включений. Перерыв между травлением и нанесением покрытий не должен превышать 3 ч.

**3.64. Растворы для химического травления поверхности перед напылением**

Материал основы	Состав травителя	Продолжительность
Магний с добавками 7 % Zr и 2 % Th	2%-ный $\text{NH}_4\text{NO}_3$	8 ч
Медь	20%-ная $\text{H}_2\text{SO}_4$ + 10%-ная $\text{HNO}_3$ (1:3)	70 ч
Нержавеющая сталь	40%-ная $\text{HNO}_3$ + 20%-ная $\text{HCl}$	10 мин
Холоднокатаная сталь	7%-ная $\text{HNO}_3$	25 мин
Чугун	15%-ная $\text{HNO}_3$	16 мин

При термических способах подготовки поверхности под напыление используют в качестве рабочей среды нагретый газ (неподвижный или движущийся), ионизированный газ (ионы, электроны) и излучения (инфракрасное, ультрафиолетовое или лазерное).

Чугунные детали перед напылением нагревают до температуры 250 °С в нагревательной печи для полного удаления масла из пор.

Способы подготовки поверхностей деталей под нанесение покрытий напылением и их влияние на предел выносливости, эффективный коэффициент концентрации напряжений и прочность соединения показаны в табл. 3.65.

Поверхности, на которые нет необходимости наносить покрытие, защищают металлическими щитками, асбестовыми листами или слоем недорогого лака. В масляные каналы забивают латунные или асбестовые пробки.

Нагрев поверхности детали перед напылением бывает необходим для ее активации с целью повышения прочности соединения покрытия с подложкой, однако в некоторых случаях это приводит к образованию пленки оксидов на этой поверхности и к снижению прочности соединения покрытия с основой.

Перед нанесением основного слоя иногда наносят подслои из тугоплавкого или терморезагирующего материала. В первом случае частицы материала (например, молибдена), обладая большим запасом тепла, подплавляют поверхность детали и привариваются к ней, во втором – частицы материала (например, Al-Ni) вступают между собой в химическое взаимодействие по принципу термитной сварки с выделением тепла и образованием между собой и с поверхностью детали прочной металлической связи.

### 3.65. Влияние способов подготовки поверхностей под напыление на эксплуатационные свойства деталей

Способ подготовки	Предел выносливости, МПа	Эффективный коэффициент концентрации напряжений	Прочность соединения покрытия с основой, МПа
Обработка дробью	324	0,78	104
Накатка (прямая, косая, перекрестная)	306	0,82	100
Обдувка песком	278	0,91	34,5
Шлифование	252	1,00	—
Нанесение треуголь- ной накатки с после- дующей обработкой дробью	245	1,02	190
Электроискровая обработка на пере- менном токе	194	1,29	110
Нанесение нарезок:			
– круглой без при- катки вершин	194	1,29	1,67
– круглой с при- каткой вершин	188	1,33	144
– треугольной без прикатки вершин	188	1,33	188
– треугольной с прикаткой вершин	170	1,48	156
Электродуговая об- работка	170	1,48	25
Нарезание кольце- вых канавок без прикатки вершин	165	1,52	140
То же с прикаткой вершин	150	1,64	113

Качество покрытия, получаемого при напылении, во многом определяется процессом транспортирования диспергированных частиц материала. Энтальпия этих частиц изменяется из-за теплообмена с окружающей средой. Изменяется также их кинетическая энергия, причем частицы, движущиеся в периферийной части металловоздушной струи, интенсивно передают тепло и энергию практически неподвижной окружающей среде. Скорость их и энтальпия снижаются. В результате покрытие, сформированное из периферийных частиц, имеет низкие механические свойства и большую пористость. Поэтому слабо закрепленные частицы срываются с покрытия вращающимися металлическими щетками.

Процесс нанесения покрытия может быть без оплавления, с одновременным оплавлением, с последующим оплавлением.

Крупные ответственные детали (корпуса, валы) после нанесения покрытия выдерживаются в термосе при температуре 150...200 °С в течение 1,0...1,5 ч, для снятия внутренних напряжений в покрытии и в зоне его соединения с деталью.

### 3.7.3. *Электродуговое напыление*

Сущность *электродугового напыления* состоит в расплавлении материала металлических проволок электрической дугой, зажженной между ними; продувании через электрическую дугу струи сжатого газа; сдувании расплавленного металла и переносе его в виде частиц на восстанавливаемую поверхность.

Электродуговое напыление применяется для нанесения коррозионно-стойких покрытий из алюминия или цинка на строительные покрытия и износостойких покрытий из стали, бронзы и других материалов при восстановлении деталей. Перспективно напыление композиционных покрытий. Коррозионно-стойкие покрытия из цветных металлов рационально наносить только электродуговым напылением.

Преимущества электродугового напыления: наибольшая производительность (до 50 кг/ч) из всех способов напыления; высокий термический КПД; возможность получения покрытий с высокой адгезионной и когезионной прочностью и низкой пористостью; в 2 раза меньшие затраты на нанесение 1 кг покрытия, чем при электродуговой наплавке.

Недостатки процесса сводятся к следующему. Имеет место интенсивное взаимодействие частиц с газовой средой, из-за чего напыленный металл насыщен кислородом и азотом, а также содержит значительное количество оксидов. Необходимость применения только токопроводящих напыляемых материалов ограничивает возможности способа. Большое

выгорание легирующих элементов, содержащихся в стальных проволоках, при электродуговом напылении сужает область его применения. Потери карбидных и других упрочняющих фаз доходят до 20 %.

В качестве напыляемых материалов применяют компактную или порошковую проволоку. Материалом компактной проволоки служат: цинк, алюминий, медь, бронза, латунь, углеродистая и нержавеющая стали и др. Для нанесения износостойких покрытий широко применяют углеродистую или пружинную проволоку, а также легированные (в том числе нержавеющие) стали. Возможна комбинация из проволок с различными материалами.

Аппарат для электродугового напыления (рис. 3.31) работает следующим образом. Пары приводных роликов 1 подают в зону распыления две или более проволок. Имеются направляющие наконечники 4 и газовое сопло 5. Между направляющими наконечниками и электродными проволоками должен быть хороший электрический контакт, обеспечивающий падение напряжения  $\leq 0,02 \dots 0,03$  В при силе тока 100 А.

При запуске аппарата включается подача проволок, электрического напряжения на них и сжатого газа. Между проволоками возникает электрическая дуга, которая расплавляет металл. Расплавленные капли металла подхватываются струей газа, распыляются на частицы размером  $10 \dots 100$  мкм, разгоняются до скорости  $50 \dots 150$  м/с и в нагретом состоянии ударяются о восстанавливаемую поверхность или о закрепившиеся частицы. Расстояние от распылительного узла до напыляемой поверхности изменяется в пределах  $60 \dots 150$  мм (чаще его назначают равным 120 мм). Частицы, имея достаточный запас тепловой и кинетической

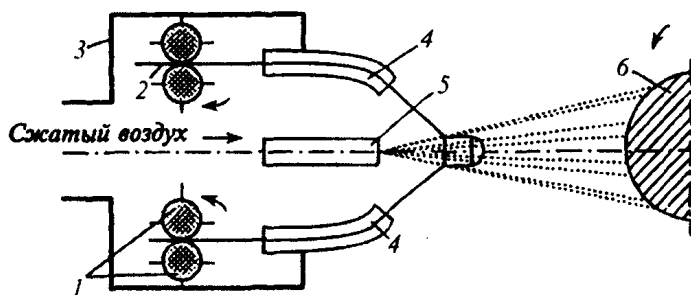


Рис. 3.31. Схема аппарата для электродугового напыления:

1 – подающие ролики; 2 – проволока; 3 – электрические провода; 4 – направляющие наконечники; 5 – сопло; 6 – восстанавливаемая деталь



энергии, деформируются сами и деформируют покрытие, внедряются в поры и неровности и формируют покрытие. Максимальная толщина покрытия 1,0...1,5 мм для тугоплавких и 2,5...3,0 мм для легкоплавких металлов.

Диаметр распыляемых проволок 1,0...3,5 мм, а угол между ними 120°. При увеличении диаметра проволоки увеличивается турбулентность газовой струи. Коэффициент турбулизации

$$\alpha = 1,024 d_n / d_c - \alpha_1, \quad (3.33)$$

где  $d_n$  – диаметр проволоки, мм;  $d_c$  – диаметр воздушного сопла, мм;  $\alpha_1$  – коэффициент турбулизации при свободном истечении струи в сопле.

Средний диаметр частиц металла  $d_q$  (мм) может быть ориентировочно определен из выражения

$$d_q = k_1 k_2 \sqrt[3]{q_n / \gamma \mu}, \quad (3.34)$$

где  $k_1$  – коэффициент, зависящий от вида распыляемого материала (для стали он равен 1,61, для алюминия 1,45, для цинка 1,64, для олова 0,85);  $k_2$  – коэффициент, зависящий от диаметра сопла, для цилиндрических сопел  $k_2 = 1,87 d_c + 0,29$   $q_n$  – производительность напыления, кг/ч;  $\gamma$  – плотность распыляемого металла, г/см<sup>3</sup>;  $\mu$  – коэффициент, учитывающий непрерывность горения дуги, его максимальное значение равно 1.

Средний размер частиц стали при электродуговом напылении 30...50 мкм, из других металлов 10...100 мкм.

Применяют подачу в зону распыления трех электронных проволок из различного материала. В этом случае проволоки располагаются по образующим конуса с углом при вершине также 120°, а покрытие получается композиционного типа. Скорость подачи проволоки при этом 0,05...0,35 м/с и соответствует производительности 2...50 кг/ч.

Поток летящих частиц должен составлять угол с восстанавливаемой поверхностью, близкий к прямому, допустимое отклонение 30° при напылении алюминиевых и медных сплавов и 40° при напылении стальных сплавов. Скорость перемещения пятна напыления относительно детали 30...50 м/мин.

В качестве распыляющего газа используют воздух, аргон или азот под давлением ~ 0,5...0,7 МПа. Чаше применяют сжатый воздух, хотя в

этом случае распыляемый металл окисляется и насыщается азотом. Газ поступает в зону распыления через цилиндрическое сопло диаметром 3...6 мм или цилиндрическое сопло диаметром 4...6 мм с расширяющейся конической частью диаметра 6,5...8,5 мм. Расход газа 1...2,5 м<sup>3</sup>/ч.

Скорости газовой струи потока и напыляемых частиц вблизи напыляемой поверхности примерно одинаковы и равны 50...150 м/с. Плотность потока распыляемых частиц вблизи напыляемой поверхности  $10^3 \dots 10^5 \text{ (см}^2 \cdot \text{с)}^{-1}$ . Большинство частиц достигают поверхности напыления в расплавленном состоянии.

Электродуговое напыление обычно ведут в открытой атмосфере, потому что создать защитную среду трудно. Однако ведение процесса в камере с общей защитой принципиально возможно.

Напряжение дуги (в вольтах) при распылении алюминиевой проволоки составляет 25, стальной углеродистой и нержавеющей 30...40, медной 32...35, цинковой 20, латунной 25. Сила тока является производной величиной, зависящей от напряжения дуги, диаметра и материала проволоки, и изменяется в пределах 30...530 А.

Применяют ручное и механизированное напыление. В первом случае технологические перемещения аппарата осуществляют вручную. Механизированные установки имеют устройство для перемещения распылителей относительно напыляемой поверхности. Для получения равномерных по толщине покрытий на больших поверхностях задаются программы сложных движений металлизатора относительно напыляемой поверхности со скоростью 30...50 м/мин.

В практике напыления используют металлизаторы мощностью 5...20 кВт, потребляющие ток силой 80...600 А при напряжении 18...36 В. Выпускают аппараты для электродугового напыления стационарные (станочные) ЭМ-6, ЭМ-12 и МЭС-1 и переносные (ручные) ЭМ-3, РЭМ-3А, ЭМ-9 и ЭМ-10. В странах СНГ наиболее распространены дуговые металлизаторы ЭМ-12, ЭМ-14 и ЭМ-15. Краткие технические характеристики их приведены в табл. 3.66.

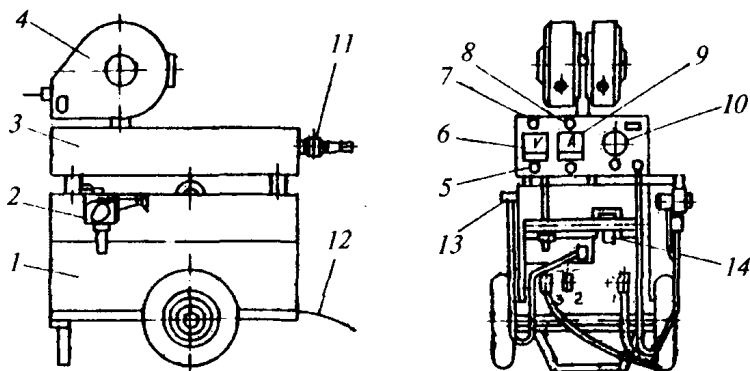
Применяют источники постоянного тока с жесткой вольт-амперной характеристикой: ВС-300, ВСЖ-303, ВДГ-302, ВС-600, ВДГ-601, ВДУ-504, ВДУ-1001, ГД-502. Научно-производственная фирма «Плазма-центр» (Санкт-Петербург) выпускает установку для электродугового напыления КДМ-2 (рис. 3.32), оснащенную источником тока ТИМЕЗ и электродуговым металлизатором ЭМ-14М.

## 3.66. Характеристики металлизаторов

Показатель	Аппараты		
	ЭМ-12	ЭМ-14	ЭМ-15
Тип	Стационарный	Ручной	Стационарный
Производительность распыления, кг/ч:			
– алюминия	14	12,5	25
– цинка	38	32	65
– стали	20	10	20
Диаметр распыливаемой проволоки, мм	1,5...2,5	1,5...2,0	2,0...3,0
Скорость подачи проволоки, м/мин	3,8...14,2	2...12	1...14
Привод механизма подачи проволоки	Электродвигатель	Воздушная турбинка	Электродвигатель
Способ регулирования	Редуктором со сменными шестернями	Плавным магнитным торможением ротора	Плавным электронным регулированием частоты вращения
Расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /мин	2,5	1,5	2,5
Рабочий ток, А	≤ 500	≤ 400	≤ 800
Рабочее напряжение, В	17...35	17...44	17...35
Масса, кг:			
– пульта управления	–	–	31,5
– металлизатора	22,6	2,3	15

Оборудование нового поколения для электродугового напыления покрытий разработал ВНИИТУВИД «Ремдеталь». Установка УД-609.01 Ремдеталь с металлизатором ЭМГ-2 предназначена для нанесения покрытий на шейки валов, а установка УД-609.10 Ремдеталь с источником питания ВДУ-506 – для нанесения покрытий на плоские детали.

Для повышения прочности соединения покрытия с основой создатели новых аппаратов для напыления материалов стремятся повысить скорость частиц нагретого металла и защитить их от влияния кислорода и азота воздуха. При распылении металла сжатым воздухом содержание углерода, например, в напыляемом материале уменьшается почти в 3 раза.



**Рис. 3.32. Комплект электродугового напыления КДМ-2:**

- 1 – источник тока; 2 – аппарат ЭМ-14М; 3 – пульт управления;  
 4 – кассетный блок; 5 – блок дистанционного управления; 6 – вольтметр;  
 7 и 8 – световоды; 9 – амперметр; 10 – манометр; 11 – кран; 12 – кабель;  
 13 – тумблер «Дуга»; 14 – пакетный выключатель

Частицы металла будущего покрытия при электродуговом напылении могут быть защищены от кислорода и азота воздуха стенкой продуктов сгорания газообразного или жидкого топлива либо вдуванием горючего газа (пропана или природного газа) в зону горения дуги. Жидкий металл в последнем случае распыляют не струей сжатого воздуха, а продуктами сгорания, разогретыми до температуры 2000...2300 К.

Изменением расходов горючего газа и воздуха можно создавать нейтральную или восстановительную среду в зоне плавления проволоочных материалов и тем самым снизить их окисление и выгорание легирующих элементов. Так, при использовании защитно-восстановительной среды количество углерода в покрытии, полученном из проволок У10А и 40Х13, практически не отличается от его содержания в исходной проволоке.

Сущность *активированного электродугового напыления* состоит в распылении металла и его защите от влияния воздуха продуктами сгорания углеводородного топлива. Эта технология позволяет получать слои с прочностью сцепления до 55 МПа и плотностью до 95 %, что расширило диапазон восстанавливаемых деталей, в том числе позволило организовать восстановление коленчатых валов двигателей автобусов «Икарус». В Беларуси технология внедрена на Витебском мотороремонтном заводе.

В качестве устройства для нанесения покрытий применяют активированный дуговой металлизатор типа АДМ конструкции Института на-

дежности машин НАН Беларуси. Работа этого металлизатора основана на использовании восстановительных транспортирующих газов с особой схемой их подачи через профилированные сопла, применении камеры сгорания в системе подачи газов, особенностях взаимного расположения токопроводов и распыляющего сопла. Скорость газового потока при этом достигает 1500 м/с, а скорость частиц наносимого материала 590 м/с. Угол раскрытия струи не превышает 10°. Пористость покрытия при этом снижается с 9... 11 до 2...4 %. При равном отношении воздуха и пропана в горючей смеси содержание углерода в покрытии уменьшается только вдвое по сравнению с исходным материалом.

Скоростной напор потока газов, выражающий отношение кинетической энергии к единице объема газа и характеризующий силу, действующую на частицу в потоке, составляет для традиционного электродугового напыления 75 000 кг/(м<sup>2</sup>·с), а для активированного 234 000 кг/(м<sup>2</sup>·с), что обеспечивает большую скорость частиц наносимого материала и формирование покрытия с прочностью соединения вдвое выше, чем при традиционном напылении, что достаточно для работы покрытия в условиях ударно-абразивного изнашивания.

Активированное электродуговое напыление целесообразно применять при восстановлении деталей, работающих в условиях граничной смазки. Используют проволоочные материалы: Нп-65Г, Нп-40Х13, Св08Г2С.

Производительность стационарного аппарата для активированного электродугового напыления АДМ-8 при распылении стали составляет 30 кг/ч, а ручного АДМ-10 – 1...18 кг/ч. Ионизация межэлектродного промежутка снижает ток дуги на 10...15 % при той же производительности процесса.

Процесс активированного электродугового напыления, разработанный ВНИИТУВИД «Ремдеталь» основан на использовании малогабаритной камеры сгорания пропановоздушной смеси. В камеру сгорания можно подавать и бензин с расходом 0,5 г/с. Подслои при напылении не наносят. Твердость покрытия при этом увеличивается на 18 %, прочность соединения – на 56 %, а пористость уменьшается в 2,6 раза.

Окружающая среда при активированном электродуговом напылении представляет собой продукты сгорания углеводородного топлива в воздухе и содержит углекислый газ, кислород и пары воды. Повышение твердости покрытия является следствием химико-термических процессов (цементации) при напылении в этих веществах за счет диссоциации углеводородных соединений, абсорбции и диффузии углерода в покрытие.

### 3.7.4. Газопламенное напыление

Сущность *газопламенного напыления* заключается в нагреве напыляемых материалов газовым пламенем и нанесении их на восстанавливаемую поверхность струей сжатого газа.

Тепло для нагрева материала получают путем сжигания ацетилена или пропан-бутана в кислороде, а переносится материал сжатым воздухом или продуктами сгорания углеводородного топлива. В качестве основного материала применяют порошки, проволоки и шнуры. Газопламенное напыление – один из немногих процессов, с помощью которых наносят покрытия из шнуров.

Распыленные металлические частицы, летящие со скоростью 120 м/с, попадают на подготовленную поверхность детали и формируют покрытие. Скорость газового потока 150...160 м/с.

Порошок подают, как правило, вдоль оси факела в его внутреннюю часть под действием транспортирующего газа или собственного веса. Проволоки и шнуры подают в восстановительную часть пламени.

Для восстановления деталей применяют три вида газопламенного напыления: без оплавления, с последующим оплавлением, с одновременным оплавлением (в литературе называют газопорошковой наплавкой).

Первый вид напыления – без оплавления – служит для восстановления деталей, не испытывающих деформации, температуру  $> 350\text{ }^{\circ}\text{C}$  и знакопеременные нагрузки. Покрытия без оплавления наносят при восстановлении наружных и внутренних цилиндрических поверхностей подвижных и неподвижных соединений при невысоких требованиях к прочности соединения с основным материалом.

Последующее оплавление выполняют газокислородным пламенем, в индукторе или другим источником тепла для покрытий толщиной 0,5...1,3 мм. Нанесенное покрытие оплавляют при восстановлении наружных и внутренних цилиндрических поверхностей подвижных и неподвижных соединений при повышенных требованиях к износостойкости и прочности соединения с основным материалом. Этот вид оплавления покрытий, полученных газопламенным напылением, применяют редко.

Газопламенное напыление с одновременным оплавлением покрытия используют для восстановления деталей из стали и чугуна при износе на сторону 1,3...1,8 мм.

**Пример** технологического режима при газопламенном напылении вершин кулачков стального распределительного вала с одновременным оплавлением покрытия.

Применяют материал ПГ-10Н-01 грануляцией 40...100 мкм. Расход порошка составляет 2,5...3,5 кг/ч. Горючий газ – ацетилен – подают под

давлением не менее 0,1 МПа (расход его 350...600 л/ч). Кислород поступает под давлением 0,30...0,45 МПа (расход его 350...600 л/ч). Расстояние между мундштуком горелки и поверхностью детали при напылении покрытия 12...25 мм, при оплавлении 6...10 мм.

Для газопламенного напыления выпускается много образцов горелок и оборудования.

Аппараты, использующие в качестве материала проволоку, следующие. Горелки типа МГИ выпускаются Барнаульским аппаратно-механическим заводом. Горелка МГИ-4 инжекторного типа снабжена воздушной турбиной и регулятором скорости подачи проволоки, горелка МГИ-4А работает на смеси ацетилена и кислорода, горелка МГИ-4П – на смеси пропан-бутана и кислорода. Станочный аппарат с программным управлением МГИ-5 имеет массу 136 кг. Аппарат УГПНпр массой 3 кг с электрическим приводом выпускает НИИТавтопром (Москва).

Аппараты, использующие в качестве материала порошки, следующие. Аппараты Барнаульского аппаратно-механического завода предназначены для работы: УГПЛ – с цинком и пластмассами, УГПЛ-П – с термопластическими полимерами, УГПНпор – с различными порошками. Аппараты 01.02-11, 021-3 и 021-4 Ремдеталь выпускает Липовецкий опытный завод «Ремдеталь». Аппараты 011-1-01 Ремдеталь и 011-1-09 Ремдеталь производит Пышминский завод подъемно-транспортного оборудования. Аппараты ГАЛ-2, -4, -5 и -6 выпускают московские предприятия ЦНИИТмаша и ВНИИАвтогенмаша. Наплавочные горелки типа ГН изготавливают предприятия ВНИИАвтогенмаша. Аппараты ГН-1-02, ГН-2-02, ГН-3-02 и ГН-4-02 работают на ацетилене с кислородом, горелка ГН-3-02 имеет водяное охлаждение. Аппараты ГН-2П-02 и ГН-3П-02 функционируют на пропан-бутане и кислороде.

Институт надежности машин НАН Беларуси производит аппараты УПТР-1-78 и УПТР-1-85, а Белорусское республиканское НПО порошковой металлургии (Минск) – аппараты УПТР-86, УГПН-П, УГПН-У. Институт электросварки им. Е.О. Патона выпускает аппараты Л5405, УН-121 и УГПН-005.

Установка «Jetkoot» (США) обеспечивает скорость газового потока 3000...4000 м/с, при этом скорость частиц порошка размером 2...20 мкм достигает 400...600 м/с. Пористость покрытия < 2 %, прочность его соединения с восстанавливаемой поверхностью до 70 МПа, шероховатость наружной поверхности слоя  $R_z$  29 мкм. Разработан аппарат для сверхзвукового напыления «Топас» (Киев).

Для газопламенного напыления покрытий на шейки валов ВНИИТУВИД «Ремдеталь» создал установку 011-1-01 блочно-мо-

дульного строения, которая разработана на базе установки 011-1-00 для наплавки валов. НИИТавтопром предлагает установку для газопламенного напыления шеек коленчатых валов двигателей ЗИЛ-130. Линия 5835 служит для нанесения износостойких покрытий на вилки коробок передач.

Некоторые горелки и аппараты для газопламенного напыления приведены в табл. 3.67.

По мощности пламени газовые горелки подразделяются на микро-мощные (до 60 л/ч), малой (до 700 л/ч), средней (до 2500 л/ч) и большой мощности (до 7000 л/ч), а по степени механизации – на ручные и машинные. В зависимости от способа подачи горючего газа горелки делят на инжекторные и безинжекторные.

*Активирование газопламенного напыления* обеспечивается эффективным теплообменом между пламенем и материалом, а также качественным смешением рабочих газов.

Высокое качество покрытий, нанесенных газопламенным напылением, дает термораспылительная проволочная установка «Терко», разработанная в Институте надежности машин НАН Беларуси. Эта установка демонстрирует также надежную работу. В комплект установки (рис. 3.33) входят: термораспылительный пистолет, малогабаритный блок управления подачей рабочих газов, блок управления электроприводом подачи проволоки, распылительные головки для работы на различных горючих газах (ацетилене или пропан-бутане).

Термораспылительный пистолет «Терко» позволяет активировать процесс напыления материала. Кроме того, в отличие от других установок в механизм подачи проволоки установки «Терко» встроен электропривод, а не воздушная турбина, что значительно повышает точность регулирования скорости транспортировки проволоки. Используется дешевый горючий газ – пропан-бутан. Установка снабжена быстросъемными разъемами типа байонет, имеет трехступенчатую защиту от обратных ударов пламени, легко транспортируется (общая масса со шлангами 14,6 кг).

С помощью установки «Терко» наносят покрытия из проволочных и прутковых материалов диаметром 1,6...3,5 мм с производительностью до 6 кг/ч (по стали). Малое количество хрупких оксидов, значительное количество интерметаллидов, образование закалочных структур и достаточно высокая пластичность напыленного слоя создают предпосылки для применения покрытий в новых условиях работы и расширения области их распространения. Стальные покрытия имеют пористость 2...4 %, плотность покрытий из алюминиевых сплавов практически приближается к плотности литого материала. Прочность соединения покрытия с основой составляет > 30 МПа.



3.67. Технические характеристики оборудования для газопламенного напыления

Показатель	Аппараты и горелки					
	021-400-000	УПТР-1-78М	ГН-2	ГН-2М	ГАЛ-6	УПН-8
Тип	Переносной	Универсальный	Переносной		Универсальный	
Давление, МПа: – кислорода – ацетилена – пропана	0,15...0,25 0,025...0,150 –	0,15 0,095 –	0,30...0,35 0,01 –	0,45 – 0,005	0,4...0,5 0,02...0,07 –	0,4 0,35...0,500 –
Расход, м/ч; – кислорода – ацетилена – пропана	0,8...1,0 0,6...0,8 –	1,75 0,95 –	0,8 0,6 –	0,7...0,8 – 0,4...0,5	0,75...1,15 0,7...1,05 –	2,2 1,7 –
Максимальная производитель- ность, кг/ч	1,6...2,6	9,6	2,0...3,0	1,5...2,5	8,0	10
Полезный объем порошкового питателя, л	0,4	0,66	0,2		10,5	2,0
Размер частиц порошка, мкм	40...100	40...160	40...100		30...150	
Масса, кг	2,6	1,3	1,0		1,53	17



**Рис. 3.33. Газопламенное напыление шеек коленчатого вала с помощью установки «Терко»**

Как показал опыт ИТК «Надежность машин» (Минск), эффективно применение электродугового и газопламенного напыления проволочными материалами деталей, работающих в трущихся сопряжениях (коленчатых валов, осей, подшипников скольжения, направляющих) и поверхностей отверстий под подшипники.

Фирма «Castolin + Eutectic» (Швейцария) выпускает установки для газопламенного напыления «CastoDin 2000» и «Rototec 80».

Покрытия, полученные газопламенным напылением шнуровых материалов, представляют альтернативу плазменным покрытиям. Покрытия, полученные газопламенным напылением шеек валов шнуровыми материалами, показывают высокие эксплуатационные качества, однако высокая стоимость шнуров (35...45 долл. США за килограмм) сдерживает их широкое применение в ремонтном производстве. Стоимость шнуровых материалов, необходимых, например, для восстановления чугунного коленчатого вала, превышает стоимость отливки этой детали.

### **3.7.5. Плазменное напыление**

*Плазменное напыление* основано на использовании энергии плазменной струи как для нагрева, так и для переноса частиц металла. Плазменную струю получают путем продувания плазмообразующего газа сквозь электрическую дугу и обжигая стенками медного водоохлаждаемого сопла.

Плазменные покрытия обладают такими свойствами: жаростойкостью, жаро- и эрозионной прочностью, тепло- и электроизоляцией, противосхватываемостью, коррозионной стойкостью, защитой от кавитации, полупроводниковыми, магнитными и др.

Области применения плазменных покрытий: ракетная, авиационная и космическая техника, машиностроение, энергетика (в том числе атомная), металлургия, химия, нефтяная и угольная промышленность, транспорт, электроника, радио- и приборостроение, материаловедение, строительство, ремонт машин и восстановление деталей.

Если себестоимость газопламенного напыления проволочными материалами принять за единицу, то себестоимость плазменного и газопламенного напыления порошков будут соответственно 1,9 и 1,6, а электродугового – 0,85.

Плазменную струю получают в плазменной горелке, основные части которой (рис. 3.34) – электрод-катод 1, водоохлаждаемое медное сопло-анод 4, стальной корпус 2, устройства для подвода воды 3, порошка 5 и газа 6. Части корпуса, взаимодействующие с катодом или анодом, изолированы друг от друга.

Порошкообразный материал подают питателем с помощью транспортирующего газа. Возможен ввод порошка с плазмообразующим газом.

Напыляемый материал (порошок, проволока, шнур или их комбинация) вводят в сопло плазменной горелки ниже анодного пятна, в столб плазменной дуги или плазменную струю.

Высокие температура и скорость струи делают возможным напыление покрытий из любых материалов, не диссоциирующих при нагреве, без ограничений на температуру плавления. Плазменным напылением получают покрытия из металлов и сплавов, оксидов, карбидов, боридов, нитридов и композиционных материалов.

Необходимые физико-механические свойства покрытий объясняются высокими температурой плазмы и скоростью ее истечения, применением инертных плазмообразующих газов, возможностью регулирования аэродинамических условий формирования металлоплазменной струи.

В материале детали не происходит структурных преобразований, возможно нанесение тугоплавких материалов и многослойных покрытий из различных материалов в сочетании плотных и твердых нижних слоев с пористыми и мягкими верхними (для улучшения прирабатываемости покрытий), износостойкость покрытий высокая, достижима полная автоматизация процесса.

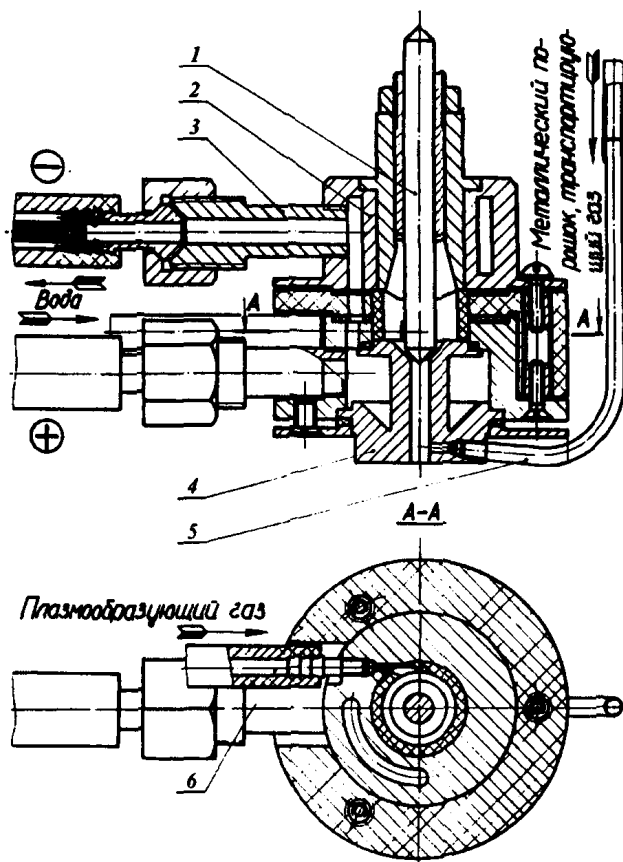


Рис. 3.34. Плазменная горелка для напыления порошкового материала

В качестве плазмообразующих газов при напылении материалов используют аргон, гелий, азот, водород и их смеси (табл. 3.68). Плазмообразующие газы не содержат кислорода, поэтому не окисляют материал и напыляемую поверхность.

Гелий и водород в чистом виде практически не применяются по экономическим соображениям, а также вследствие разрушающего действия на электрод.

Азот и аргон используются чаще, однако наилучшими показателями обладают газовые смеси, например  $\text{Ar} + \text{N}_2$  и  $\text{Ar} + \text{H}_2$ . Вид плазмообразующего газа выбирают исходя из требуемых температуры, теплосодержания и скорости потока, его степени инертности к распыляемому мате-

## 3.68. Физико-химические характеристики плазмообразующих газов

Характеристика	Водород	Азот	Аргон	Гелий
Атомная или молекулярная масса	2,016	28,0016	39,94	4,0024
Плотность при 0 °С и 760 мм рт.ст., кг/м <sup>3</sup>	0,084	1,2505	1,783	0,1785
Вязкость при 20 °С и 760 мм рт.ст., мкПа	88	170	221	196
Теплоемкость при 20 °С и 760 мм рт. ст., кал/(кг·°С)	3,408	0,250	0,125	1,251
Коэффициент теплопроводности при 0 °С и 760 мм рт. ст., Мкал/(ч·м·°С)	150	20,9	14	130
Потенциал ионизации, В:				
– однократный	13,5	14,5	15,7	24,5
– двукратный	–	29,4	27,5	54,1
Энтальпия плазмы, ккал/кг	76 600	9950	4670	5110
Температур плазмы, °С	5000	7200	14 000	20 000
Напряжение дуги, В	62	60	40	47
Энергия, подводимая к дуге, кВт	120	65	48	50
Коэффициент использования энергии на нагрев газа, %	80	60	40	48
Коэффициент теплоотдачи от плазмы к частице материала, %	26	3	0,9	0,9

риалу и восстанавливаемой поверхности. Следует учитывать, что плазма двух- и многоатомных газов по сравнению с одноатомными содержит больше тепла при одинаковой температуре, потому что ее энтальпия определяется тепловым движением атомов, ионизацией и энергией диссоциации.

При напылении порошковых или шнуровых материалов электрическое напряжение прикладывают к электродам плазменной горелки. При напылении проволоочных материалов напряжение подводят к электродам горелки, дополнительно оно может быть приложено к напыляемому ма-

териалу, т.е. проволока может быть токоведущей или нет. Напыляемую деталь в цепь нагрузки не включают.

Порошки для плазменного напыления не должны создавать заторы в транспортных трубопроводах, а должны равномерно подаваться в плазменную струю и свободно перемещаться с газовым потоком. Этим требованиям удовлетворяют частицы порошка сферической формы диаметром 20...100 мкм.

В Институте электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины разработаны порошковые проволоки сер. АМОТЕК, состоящие из стальной оболочки и порошкового наполнителя. Эти материалы предназначены для нанесения износо- и коррозионно-стойких покрытий способами газоплазменного, электродугового и плазменного напыления. Особенностью материалов является возможность аморфизации структуры напыляемых покрытий. Наличие аморфной составляющей в структуре покрытий обеспечивает комплекс повышенных служебных свойств (износо- и коррозионной стойкости, прочности соединения с основой).

Для защиты частиц напыляемого материала от окисления, обезуглероживания и азотирования применяют газовые линзы (кольцевой поток инертного газа), являющиеся как бы оболочкой плазменной струи, и специальные камеры с инертной средой, в которых происходит процесс напыления.

Приведем примеры применения плазменного напыления в процессах восстановления деталей.

Освоено несколько разновидностей процесса восстановления коренных опор блоков цилиндров. Первые исследователи способа рекомендовали в качестве наносимого материала малоуглеродистую стальную проволоку Св-08 для обеспечения однородной мелкодисперсной структуры покрытия и повышения прочности соединения его с основой. Позднее были рекомендованы порошкообразные материалы. Распространение получили композиционные порошки и порошки из бронзы. Порошки из бронзы наносят на поверхности как чугунных деталей, так и деталей из алюминиевого сплава. Предварительно должен быть нанесен терморегулирующий подслои Al-Ni.

При восстановлении коренных опор в чугунных блоках цилиндров применяют более дешевый порошок грануляцией 160...200 мкм состава: Fe (основа), 5 % Cu и 1 % Al. Режим нанесения покрытия: ток плазменной дуги 330 А, напряжение 70 В, расход плазмообразующего газа (азота) 25 л/мин, диаметр сопла плазмотрона 5,5 мм, частота качаний плазмотрона 83 мин<sup>-1</sup>, подача детали 320 мм/мин, расход порошка 7 кг/ч.

Процесс нанесения плазменного покрытия на поверхности отверстий в деталях из алюминиевого сплава включает:

- 1) сушку порошков при температуре 150...20 °С в течение 3 ч;
- 2) предварительное растачивание отверстий до размера, превышающего на 1 мм номинальный размер отверстия;
- 3) установку защитных экранов;
- 4) обезжиривание напыляемых поверхностей ацетоном;
- 5) нанесение покрытия в две операции;
- 6) снятие защитных экранов;
- 7) предварительное и окончательное растачивание;
- 8) удаление облоя.

В первой операции наносят подслоя ПН-85Ю15, во второй – основной слой из медного порошка ПМС-Н. Режимы нанесения покрытий: сила тока 220...280 А, расход азота 20...25 л/мин при давлении 0,35 МПа, расстояние от сопла до детали 100...120 мм, время нанесения покрытия 15 мин. Покрытие наносят на стенде. Плазмобразующее оборудование состоит из источника питания ИПН 160/600 и установки УПУ-3Д или УПУ-8.

Применяют плазменное напыление при нанесении покрытий на плоскости головок цилиндров из силумина. Технология включает предварительное фрезерование изношенной поверхности, нанесение покрытия и последующую обработку. В качестве материала покрытия используют порошок из алюминия и 40...48 % Fe. Режим нанесения покрытия: сила тока 280 А, расстояние от сопла до детали 90 мм, расход плазмобразующего газа (азота) 72 л/мин.

С целью удешевления процесса и повышения его производительности внедрен процесс электродугового напыления плоскостей из проволоки Св-АК5 диаметром 2 мм. Применяют источник тока ВГД-301 и металлизатор ЭМ-12. Режимы напыления: сила тока 300 А, напряжение 28...32 В, давление распыливающего воздуха 0,4...0,6 МПа, расстояние от сопла до детали 80...100 мм. Покрытие толщиной 5 мм наносят за 8...10 мин.

При восстановлении поршней из алюминиевого сплава наносят плазменное покрытие из порошка бронзы ПР-Бр. АЖНМц 8,5-4-5-1,5 (8,5 % Al, 4 % Fe, 4,8 % Ni, 1,4 % Mn, остальное Cu). Используют установку УПУ-8. Режим нанесения: ток 380 А, расстояние от сопла до детали 120 мм, плазмобразующий газ – смесь аргона с азотом.

При восстановлении коленчатых валов из высокопрочного чугуна наносят плазменное покрытие из композиции порошков на терморези-

рующий подстой из материала ПН-85Ю15. Состав композиции: 50 ПГСР, 30 % ПЖ4 и 20 % ПН85Ю15.

Режимы процесса:  $I = 400$  А, расстояние от сопла до детали 150 мм, расход азота 25 л/мин. Согласно авторскому свидетельству на изобретение СССР № 1737017, цель которого – повышение адгезионной и когезионной прочности покрытий, наносимый материал содержит (в мас. %) самофлюсующийся сплав системы Ni–Cr–B–Si 25...50, порошок жел 30...50 и никель-алюминиевый порошок 20...25.

*Микроплазменное напыление* применяют при восстановлении участков деталей с размерами 5...10 мм с целью уменьшения потерь напыляемого материала. Используют плазмотроны малой мощности (до 2,5 кВт), генерирующие квазиламинарную плазменную струю при силе тока 10...60 А. В качестве плазмообразующего и защитного газа применяют аргон. При микроплазменном напылении удастся уменьшить диаметр металлоплазменной струи до 1...5 мм. Процесс характерен низким уровнем шума (30...50 дБ) и небольшим количеством отработавших газов, что позволяет вести напыление в помещении без применения рабочей камеры. Создана установка микроплазменного напыления МПН-001.

Технологические режимы плазменного напыления определяются видом и дисперсностью материала, током плазменной струи и его напряжением, видом и расходом плазмообразующего газа, диаметром сопла плазменной горелки и расстоянием от сопла до напыляемой поверхности.

Дисперсность частиц материала, ток плазменной струи и расход плазмообразующего газа определяют температуру нагрева частиц и их скорость перемещения, а значит, – плотность и структуру покрытия.

Большая равномерность свойств покрытия обеспечивается при более высокой скорости перемещения плазмотрона относительно детали и меньшей толщине слоя. Эта скорость мало влияет на коэффициент использования материала и значительно сказывается на производительности процесса.

Расстояние от сопла до восстанавливаемой поверхности зависит от вида плазмообразующего газа, свойств напыляемого материала и изменяется в пределах 120...250 мм (чаще 120...150 мм). Угол между осью потока частиц и восстанавливаемой поверхностью должен приближаться к 90°.

Оптимальное сочетание теплосодержания потока плазмы, времени пребывания частиц в этом потоке и их скорости обеспечивает получение покрытий с высокими физико-механическими свойствами.



Свойства плазменных покрытий существенно улучшаются при их *оплавлении*. При этом плавится наиболее легкоплавкая часть материала, однако температура нагрева должна быть достаточной для плавления боросиликатов, которые восстанавливают металлы из оксидов и образуют шлаки.

Оплавляемые материалы должны удовлетворять таким требованиям: температура плавления легкоплавкой составляющей сплава не должна превышать 1000...1100 °С, сплав в разогретом состоянии должен хорошо смачивать поверхность заготовки и обладать свойством самофлюсования. Такими свойствами обладают порошковые материалы на основе никеля, имеющие температуру плавления 980...1050 °С и содержащие флюсующие элементы: бор и кремний. Недостаточная температура нагрева покрытия приводит к образованию на поверхности капель металла. Жидкое состояние части покрытия способствует интенсивному протеканию диффузионных процессов, при этом материал детали остается в твердом состоянии.

В результате оплавления значительно повышается прочность соединения покрытия с основой, увеличивается когезионная прочность, исчезает пористость и улучшается износостойкость.

Оплавленные покрытия имеют обрабатываемость, близкую к обрабатываемости монолитных жаропрочных сталей и сплавов аналогичного химического состава.

Покрытия оплавляют: газовой горелкой (ацетиленокислородным пламенем), в термической печи, индуктором (токами высокой частоты), электронным или лазерным лучом, плазменной горелкой (плазменной струей), пропусканием тока большой величины.

Оплавление газовой горелкой – наиболее простой способ, позволяющий визуально контролировать качество оплавления. Недостатки способа – односторонний нагрев детали, который может привести к ее короблению, и большая трудоемкость при обработке массивных деталей.

Печное оплавление обеспечивает прогрев всего объема детали, поэтому вероятность появления трещин уменьшается. Однако сопряженные с покрытием участки детали покрываются окалиной, их физико-механические свойства ухудшаются. Негативное влияние окислительной атмосферы на свойства покрытий при их нагреве исключается при наличии защитной среды.

Хорошие результаты дает индукционное оплавление, которое обеспечивает большую производительность без нарушения термообработки всей заготовки. Нагреву подвергают только покрытие и примыкающий к нему тонкий слой основного металла. Толщина прогреваемого металла

зависит от частоты тока: с увеличением последней толщина уменьшается. Высокие скорости нагрева и охлаждения могут привести к трещинам в покрытии.

Оплавление покрытий электронным или лазерным лучом практически не изменяет свойств сопряженных с покрытием участков и сердцевин детали. Вследствие высокой стоимости эти способы следует применять при восстановлении ответственных дорогостоящих деталей, покрытия на которых трудно оплавить другими способами.

Оплавленные покрытия из сплавов на основе никеля ПГ-СР2, ПГ-СР3 и ПГ-СР4 имеют такие свойства:

- твердость 35...60 HRC в зависимости от содержания в них бора;
- повышенную в 2...3 раза износостойкость по сравнению с закаленной сталью 45, что объясняется присутствием в структуре покрытия твердых кристаллов (боридов и карбидов);
- увеличенную в 8...10 раз прочность соединения покрытия с основой по сравнению с прочностью соединения неоплавленных покрытий;
- повышению на 20...25 % усталостную прочность.

Область применения плазменных покрытий с последующим оплавлением – это восстановление поверхностей деталей, работающих в условиях знакопеременных и контактных нагрузок.

Оплавленные покрытия имеют многофазную структуру, составляющие которой – бориды, избыточные карбиды и эвтектика. Вид микроструктуры (дисперсность, вид и количество составляющих) зависит от химического состава самофлюсующегося сплава, времени и температуры нагрева.

Наилучшую износостойкость деталям в нагруженных сопряжениях обеспечивают покрытия из самофлюсующихся сплавов. Структура покрытия – высоколегированный твердый раствор с включениями дисперсных металлоподобных фаз (прежде всего боридных или карбидных) с размером частиц 1...10 мкм, равномерно распределенных в основе.

Для плазменного напыления металлических и неметаллических покрытий (тугоплавких, износостойких, коррозионно-стойких) применяют установки: УН-115, УН-120, УПМ-6, УПУ-ЗД, УПС-301, АПР-403, УПП-201.

### 3.7.6. Детонационное напыление

При *детонационном напылении* наносимые частицы приобретают энергию во время горения и перемещения ацетиленокислородной смеси в стволе пушки. Детонация – особый вид горения газообразного топлива.

Она возникает в начальный период горения смеси и распространяется по трубе со скоростью 2000...3000 м/с. Температура горения смеси при детонационном напылении достигает 5700 К, а развиваемое давление – сотни мегапаскалей. Скорость полета наносимых частиц 600...800 м/с, а их температура до 4000 К. Покрытия имеют малую пористость (до 0,5 %) и высокую прочность соединения с подложкой (до 200 МПа).

Наносимые частицы нагреваются за счет теплообмена с высокотемпературной газовой средой и перемещаются ударной волной, возникшей в результате детонации горючей газовой смеси в стволе установки.

Установка детонационного напыления (рис. 3.35) включает водоохлаждаемый закрытый с одного конца ствол 5 длиной 1200...2000 мм и диаметром 8...40 мм. Внутренняя полость ствола вблизи торцевой стенки образует взрывную камеру 3. В ее стенке установлено запальное устройство 2 и клапанное устройство для подачи горючего и окислительного газов. В торце ствола имеется порошковый питатель 1. На расстоянии 150...200 мм от среза ствола перпендикулярно к оси располагают восстанавливаемую поверхность детали.

В установке имеется камера смешивания горючих газов с окислителем. Смешивание газов необходимо для равномерного распределения газовой смеси вдоль ствола. Газовые потоки в камере смешивания движутся под углом друг другу или закручиваются.

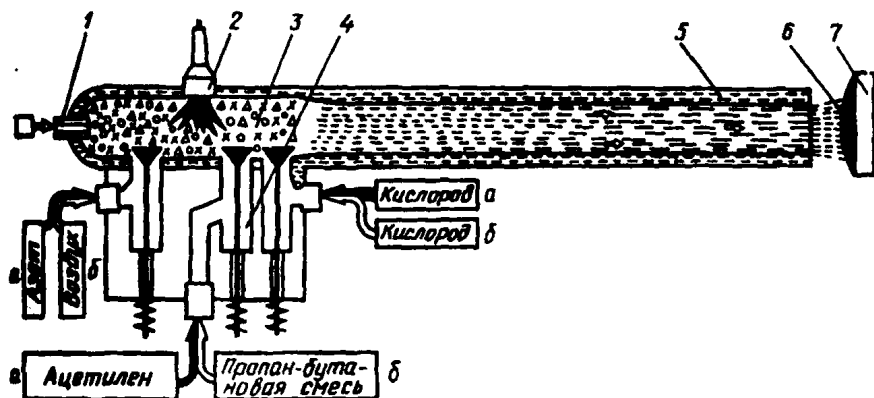


Рис. 3.35. Схема установки для детонационного напыления:

а – базовой; б – усовершенствованной; 1 – порошковый питатель;

2 – запальное устройство; 3 – взрывная камера; 4 – смесительная камера;

5 – водоохлаждаемый ствол; 6 – покрытие; 7 – восстанавливаемая деталь

Предусмотрено устройство, исключающее обратные удары из детонационной камеры в коммуникации и агрегаты установки. Ввиду того что водные затворы неэффективны, применяют газовые буфера, пламегасители и огнепреградители.

Для зажигания горючей смеси достаточно энергии  $9 \cdot 10^{-4} \dots 10^{-6}$  Дж. Обычно применяют автомобильные свечи, воспроизводящие индукционную искру с энергией 0,05...0,20 Дж. Для их питания годится маломощный источник с трансформатором напряжения и конденсатором.

Установка оснащена системой полуавтоматического или автоматического управления.

Установка работает следующим образом.

С помощью транспортирующего газа (азота или воздуха) во взрывную камеру подают порцию порошка массой 50...200 мг, а через клапанное устройство под давлением 0,12...0,20 МПа – горючую смесь (ацетилен – кислород или пропан-бутан – кислород). В качестве горючих газов можно также применять водород, метан (природный газ) и другие углеводороды. Окислителем может быть и воздух. Между электродами запального устройства инициируют электрическую искру, которая поджигает горючую смесь.

В начале процесс горения смеси горючий газ – кислород протекает со сравнительно небольшой скоростью. Горение горючих газов под атмосферным давлением в окислительной среде (воздухе или кислороде) в ламинарном или турбулентном режиме сопровождается как непрерывным расширением и перемещением его продуктов со скоростью до 10...15 м/с, так и сжатием несгоревшей газовой среды за фронтом пламени. Это сжатие в ограниченном объеме и теплопередача от очага горения к несгоревшей части смеси повышают температуру и давление этой части смеси. При достижении критических значений этих величин газовая среда самовоспламеняется и сгорает со скоростью взрыва. Данное явление представляет собой детонацию.

Таким образом, детонация – это процесс взрывного горения горючей смеси с последующим образованием ударной волны. Эта волна перемещается от очага горения (к открытому от днища концу трубы и навстречу фронту первого пламени). Отраженная от днища взрывная волна увлекает навеску порошка и перемещает ее наружу вдоль оси ствола со сверхзвуковой скоростью. После достижения открытого конца ствола детонационная волна затихает на расстоянии за ним ~ 100 мм.

Химическая энергия горения смеси расходуется на нагрев и расширение газа, перемещение и нагрев навески порошка. Высокая температура нагрева напыляемого материала в некоторых случаях приводит даже к

его испарению. Кинетическая энергия частиц в 1000 раз превосходит кинетическую энергию частиц при плазменном напылении. Превращение кинетической энергии частиц в момент удара в тепловую энергию большого количества дефектов материала в момент удара объясняет высокую прочность покрытия и отсутствие закрытой пористости.

Процесс завершается продувкой ствола инертным газом. Цикл работы повторяется через 0,2...0,5 с.

Частота цикла детонационного устройства для напыления покрытий может быть увеличена до 15 Гц и выше. Непрерывная автоматическая подача порошков и газов при этом упрощает технологию и оборудование.

При детонационном напылении, как и при газопламенном, применяют металлические, оксидно-керамические, композитные и другие порошки. Порошки не должны реагировать с продуктами сгорания. Средний размер частиц порошка 10...50 мкм. Детонационное напыление нашло применение при нанесении защитных и износостойких покрытий из оксидов алюминия и карбидов вольфрама, карбидокобальтовых сплавов и хрома на наружные поверхности.

Единичное пятно наносимого материала массой 50...100 мг имеет диаметр около 2 мм и толщину 3...5 мкм. Совмещение пятен во время нанесения покрытия обеспечивает его общую толщину 0,02...0,40 мм. Производительность процесса невысокая. Для создания покрытия равномерной толщины деталь перемещают относительно канала ствола.

При разработке детонационного напыления учитывают такие особенности.

Ствол установки определяется следующими параметрами: формой канала, чистотой его поверхности, наличием форкамеры, отношением длины к диаметру и др. Диаметр ствола принимают ~ 8 мм. С уменьшением этого диаметра затрудняется детонационный взрыв и возрастают тепловые потери. Длина ствола обеспечивает получение необходимой скорости напыляемых частиц.

Вид и расход газа принимают исходя из производительности процесса и необходимой температуры продуктов горения.

Диаметр частиц составляет 10...50 мкм. Подача детали за цикл не более половины диаметра пятна. Коэффициент использования материала 30...60 %. Плотность частиц по пятну контакта составляет  $10^3 \dots 10^5$  частиц/(см<sup>2</sup>·с).

В лабораторных условиях восстановлены коленчатые валы путем нанесения на их шейки оксида алюминия. Восстановленные элементы обладают высокой износостойкостью.

Детонационные покрытия наносят с помощью установок «Днепр-2», «Днепр-3» (разработчик – Институт порошковой металлургии (ИПМ НАН Украины, сокращенно ИПМ НАН Украины) и «Катунь» (разработчик – НПО «Анитип», г. Барнаул). Модели установок – АДК, АДК-ДНП-5, АДУ-СП и др. Технические характеристики некоторых установок приведены ниже.

#### **Технические характеристики автоматического детонационного комплекса АДК-1М**

Производительность, кг/ч	1,1... 5,3
Потребляемая мощность, Вт, не более	300
Температура рабочей смеси, °С	3500
Давление рабочей среды, МПа	0,12
Скорострельность, с <sup>-1</sup>	2...5
Инициирование	Форкамерное
Коэффициент использования порошков, %	50...60
Толщина покрытия на один цикл, мкм	8...15
Точность толщины наносимого покрытия, мкм, ....	10...20

#### **Технические характеристики детонационной установки «Днепр-3», разработанной ИПМ НАН Украины**

Напряжение сети, В	220
Потребляемая мощность, Вт	300
Расход рабочих газов, м <sup>3</sup> /с:	
– кислорода	0,59...3,30
– пропан-бутана (ацетилен)	0,27...2,30
– азота	1,3...5,5
Производительность при толщине напыляемого слоя 15 мкм, м <sup>2</sup> /с	0,02...1,33
Толщина покрытия за один выстрел, мкм	5...20
Диаметр пятна, мм	20
Скорострельность, с <sup>-1</sup>	2...6

Детонационное оборудование имеет большие габаритные размеры его производительность невысокая, стоимость нанесения покрытия большая. Уровень шума при работе детонационной установки 125..140 дБ, поэтому ее устанавливают в отдельном помещении со звукоизолирующими стенами. Оператор управляет процессом, находясь за стеной. В выхлопных газах наблюдается повышенное содержание оксидов углерода, азота и других веществ.

Дальнейшее развитие детонационной технологии связано с подачей жидкого металла в ствол пушки. В этом случае объединяют хорошо отработанную технологию и оборудование для дугового напыления с малогабаритным высокочастотным детонационным ускорителем продуктов сгорания. Пористость покрытия при этом составляет 5...8 %, сквозная пористость отсутствует, шероховатость покрытия малая, а количество оксидов  $\leq 2...6$  %.

Конкурентом и наиболее близким аналогом детонационного напыления является высокоскоростное газопламенное напыление. В условиях высокоскоростного напыления материал сосредоточивается вблизи оси струи. Угол расхождения сверхзвуковых двухфазных струй меньше, чем дозвуковых, и составляет 5...7°. Это приводит к уменьшению диаметра пятна напыления и более экономному использованию материала. Коэффициент использования материала достигает 0,85 против 0,75 при традиционном электродуговом напылении.

Исследуется газодинамический способ нанесения покрытий, который отличается тем, что покрытие формируется из частиц, ускоренных сверхзвуковым газовым потоком. Поток газа с частицами проходит через сверхзвуковое сопло, при этом нет необходимости подготавливать напыляемую поверхность и в том числе нагревать ее. Достигаются высокая адгезия (150 МПа) и низкая пористость ( $< 1$  %), производительность до 100 кг/ч.

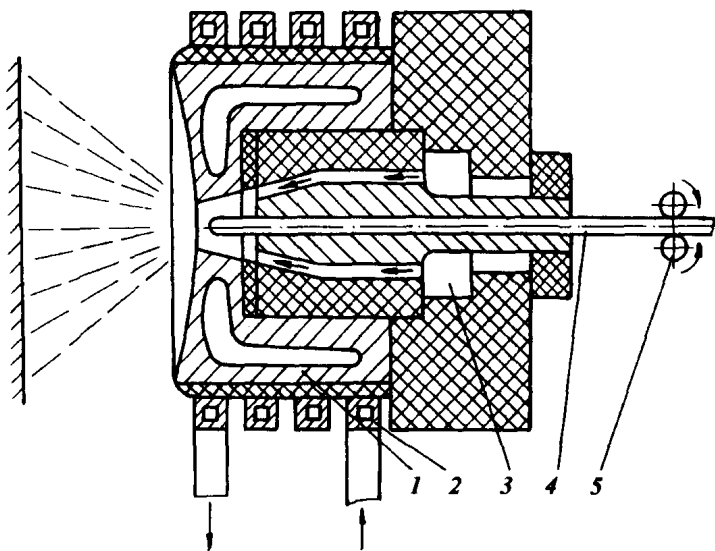
### 3.7.7. Индукционное напыление

*Индукционное напыление* разработано и впервые применено в СССР. Напыляемая проволока подается в индуктор, где нагревается и расплавляется вихревыми токами, возникающими за счет переменного магнитного поля. Расплавленный металл распыляется сжатым воздухом. Головка индукционного аппарата (рис. 3.36) имеет высокочастотный индуктор и концентратор тока, который обеспечивает нагрев проволоки на небольшом участке. Частота тока  $f$  (Гц), необходимого для расплавления проволоки, определяется по формуле

$$f = k/d^2, \quad (3.35)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от материала проволоки и температуры ее плавления;  $d$  – диаметр проволоки, см.

Ток высокой частоты вырабатывают ламповые (ЛГПЗ-30, ГЗ-46, ЛПЗ-60 и др.), машинные (ОПЧ-250/2400, ВПЧ-100/8000 и др.) или тиристорные (ТПЧ-100-2,4 и др.) генераторы.



**Рис. 3.36. Устройство для индукционного напыления:**  
 1 – концентратор тока; 2 – индуктор; 3 – воздушный канал;  
 4 – проволока; 5 – подающие ролики

Индукционное напыление обеспечивает небольшое окисление металла и высокую прочность покрытий, но имеет невысокую производительность процесса, а применяемое оборудование при этом сложное и дорогое.

Для индукционного напыления применяют установки МВЧ-1, МВЧ-2.

### 3.7.8. Вакуумное конденсационное напыление

Покрытие при *вакуумном конденсационном напылении* формируется из потока частиц, находящихся в атомарном, молекулярном или ионизированном состоянии. Этот поток частиц получают распылением материала посредством воздействия на него различными энергетическими источниками. Различают распыление наносимого материала путем термического испарения, взрывного испарения-распыления и ионного распыления твердого материала. Вакуумное конденсационное напыление проводят в жестких герметичных камерах при давлении  $133 \cdot 10^{-3} \dots 13,3$  Па. Благодаря этому обеспечиваются необходимая длина свободного пробега напыляемых частиц и защита материала от взаимодействия с атмосферными газами.



В общем случае движущей силой переноса частиц в направлении к поверхности напыления является разность парциальных давлений паровой фазы. Наиболее высокие давления пара, достигающие 133 Па и более, наблюдаются вблизи поверхности распыления (испарения). Это и обуславливает перемещение частиц в направлении напыляемого изделия, где парциальное давление паров минимально. Ионизированные частицы обладают большей энергией, что обеспечивает получение покрытий высокого качества.

Способы вакуумного конденсационного напыления классифицируют по различным признакам:

- по способам распыления материала и формирования потока распыленных частиц: термическим испарением материала из твердого или расплавленного состояния, взрывным (интенсифицированным) испарением-распылением; ионным распылением твердого материала;

- по энергетическому состоянию напыляемых частиц: напыление нейтральными частицами (атомами, молекулами) с различным их энергетическим состоянием; напыление ионизированными частицами; напыление ионизированными ускоренными частицами. В реальных условиях в потоке присутствуют различные частицы;

- по способу взаимодействия напыляемых частиц с остаточными газами камеры: напыление в инертной разреженной среде или в высоком вакууме ( $133 \cdot 10^{-3}$  Па); напыление в активной разреженной среде ( $13,3 \cdot 10^{-4} \dots 133 \cdot 10^{-4}$  Па).

Процесс вакуумного конденсационного напыления покрытий включает три стадии:

- 1) переход конденсированной фазы в газо- или парообразную фазу;
- 2) формирование потока и перенос напыляемых частиц на поверхность напыления;
- 3) конденсация паров на поверхности напыления – формирование покрытия.

Скорость осаждения покрытий  $V_n$  (мм/с) для точечного источника определяется по формуле

$$V_n = \frac{v_p S \cos \alpha}{4\pi L^2}, \quad (3.36)$$

где  $v_p$  – скорость распыления (испарения), мм/с;  $S$  – площадь распыления, мм<sup>2</sup>;  $\alpha$  – угол между направлением потока частиц и нормалью к

поверхности напыления;  $L$  – расстояние от очага распыления до напыляемой поверхности, мм. Для плоского источника

$$V_n = \frac{v_p S \cos \alpha \cos \theta}{\pi L^2}, \quad (3.37)$$

где  $\theta$  – угол между направлением потока частиц и нормалью к поверхности распыления (испарения).

Первая стадия процесса должна обеспечивать наряду с регулируемой скоростью и площадью распыления отсутствие в потоке конденсированной фазы в виде жидких или твердых частиц. Во второй стадии необходимо стремиться к формированию потока с максимальной степенью ионизации паровой фазы. Третья стадия определяется предыдущими процессами.

Введение в камеру активных газов позволяет перейти к способу вакуумного реакционного напыления покрытий. Конденсаты вступают в химическое взаимодействие с активными газами (кислородом, азотом, оксидом углерода и др.) и образуют соответствующие соединения: оксиды, нитриды, карбиды и др.

С помощью вакуумного конденсационного напыления создают износостойкие покрытия на поверхностях трения, режущих кромках инструмента и др.

Перспективен способ вакуумного конденсационного напыления с ионизацией потока напыляемых частиц, стимулируемых плазмой. Часто его называют ионно-плазменным. Способ применяют для нанесения износостойких покрытий с особыми свойствами толщиной до 0,02 мм. Для этой цели выпускают установки ИЭТ-8И2, ННВ-6,6И1, ВУ-1Б. С помощью установки «Булат-3Т», например, наносят покрытия на детали топливной аппаратуры и режущий инструмент.

Восстанавливаемые детали должны иметь размеры, соответствующие размерам рабочей камеры; материал их должен характеризоваться невысоким давлением насыщающих паров при температуре процесса и допускать нагрев до 400 °С.

Состав и форма материала оказывают большое влияние на процесс испарения и распыления. Наиболее часто используют компактные материалы в виде стержней, проволоки, таблеток, дисков и диспергированные материалы в форме порошков, гранул и др. Размеры материала выбирают из условий получения оптимальной площади распыления (испарения), максимального его использования, равномерной подачи в зону распыления.

Преимущества процесса: высокие физико-механические свойства покрытий; возможность получения покрытий из синтезированных материалов (карбидов, нитридов, оксидов и др.); нанесение тонких и равномерных покрытий; использование для напыления широкого класса неорганических материалов. Технологический процесс не загрязняет окружающую среду. В этом отношении он выгодно отличается от химических и электролитических способов нанесения тонких покрытий.

К недостаткам процесса следует отнести его невысокую производительность (скорость конденсации около  $\sim 1$  мкм/мин), повышенную сложность технологии и оборудования, низкие энергетические показатели распыления и напыления.

Установки для вакуумного конденсационного напыления покрытий классифицируются по ряду признаков. В зависимости от режима работы установки бывают периодического или полунепрерывного действия. Ось рабочей камеры располагается вертикально и горизонтально. По структурному строению установки делятся на одно- и многопозиционные. Средства откачки среды бывают масляные и безмасляные, низко- и высоковакуумные, а типы распылительных устройств – термического распыления, взрывного дугового испарения-распыления, ионного распыления, комбинированные. Применяют несколько типов установок, различающихся между собой способом нагрева испаряемого материала. К ним относятся установки с резистивными, электронно-лучевыми, высокочастотными индукционными и дуговыми испарителями.

Основные части установки: вакуумная система, включающая рабочую камеру; средства откачки; испарительные или распылительные устройства – генераторы потока напыляемых частиц; система электропитания; системы питания рабочим газом, водяного охлаждения и подогрева; транспортирующее устройство; система контроля и управления. Технический уровень установки определяет качество покрытий, производительность процесса, коэффициент использования энергии и др.

Качество напыленных покрытий в значительной мере зависит от способа создания вакуума в рабочей камере. Наиболее высокие показатели реализуются при использовании безмасляной системы откачки с применением насосов сорбционного типа.

Распылитель (испаритель) должен обеспечивать минимальные потери энергии, подводимой к распыляемому материалу. С увеличением энергии, подводимой к распыляемому (испаряемому) материалу, парциальное давление паров и плотность потока напыляемых частиц будут расти. Часть энергии, подводимой к распыляемому материалу, затрачивается на повышение энергетического уровня частиц в распыленном потоке. Таким образом, с увеличением энергии, подводимой к единице по-

верхности распыляемого материала, растет и производительность процесса.

Температура распыляемого материала оказывает решающее влияние на производительность процесса при обычном термическом испарении. При высокоскоростных способах распыления плазменным или дуговым разрядом эта температура не играет существенной роли.

Расстояние от очага распыления до детали изменяется в пределах 20...500 мм и определяет равномерность толщины покрытия: чем больше это расстояние, тем равномернее толщина. Однако его увеличение в оптимального снижает коэффициент использования материала. Давление в камере также влияет на равномерность напыленных покрытий. В вакуумных реакционных способах напыления давление в камере является определяющим при образовании покрытий композиционного типа.

Параметры потока напыляемых частиц определяют производительность процесса и свойства покрытий. К этим параметрам относятся: температура материала (300 °С и выше); плотность потока [ $10^{-10}$ ... $10^{-24}$  (см<sup>2</sup>·с)<sup>-1</sup>]; энергия напыляемых частиц ( $10^{-1}$ ... $10^4$  эВ/атом); степень ионизации напыляемых частиц (в мас. %); скорость частиц в направлении поверхности напыления (2000 м/с и более); угол расхождения потока распыляемых частиц (рад).

Было создано несколько типов установок высокоскоростного распыления низкого давления, применяемых для восстановления деталей. Наибольшее распространение получила установка типа ВУ-1Б. На рис. 3.37 приведена схема установки с одним испарителем.

Базовым элементом установки является камера 6 с водяным змеевиком. Откаточный насос 10 обеспечивает в камере вакуум до  $10^{-1}$ ... $10^{-2}$  Па. Для вымораживания паров масла предусмотрена азотная ловушка 11. Дуговой разряд возбуждается между водоохлаждаемым анодом распыляемого материала – катодом 4. Для первоначального возбуждения дуги служит вспомогательный электрод 2. Электродуговой ускоритель плазмы работает от силового специализированного источника постоянного тока 3. Для экстракции ионов из плазменного потока и их ускорения в направлении напыляемого изделия использован высоковольтный источник питания 1, а от него на напыляемое изделие 7 подается отрицательное смещение от десятков вольт до 2...3 кВ. В более совершенных установках предусмотрено несколько испарителей (до шести).

Электромагнитные катушки играют роль стабилизатора катодного пятна на заданной поверхности распыляемого материала, фокусировки ускорения потока напыляемых частиц, отклонения потока заряженных частиц с целью сепарации потока.

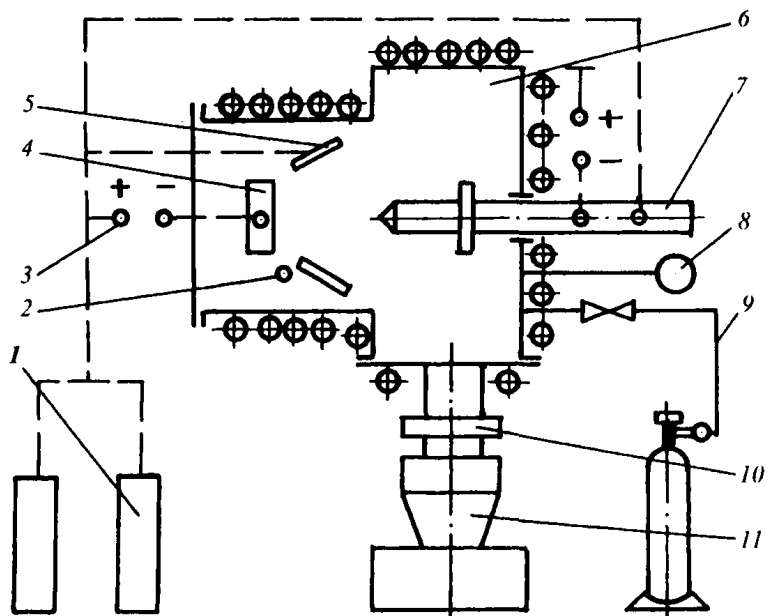


Рис. 3.37. Схема установки типа ВУ-1Б

Установка снабжена устройством для автоматического напуска газа 9. Атмосфера камеры контролируется масс-спектрометром 8. Благодаря этому имеется возможность создания плазменных потоков с регулируемой долей ионов различных элементов.

Выпускались и другие установки аналогичного назначения («Пуск», «Юнион» и др.). Основное их применение – упрочнение различного вида инструментов с использованием реакционной формы процесса напыления.

Установки для вакуумного конденсационного напыления бывают периодического, полунепрерывного и непрерывного действия.

Применение установок периодического действия целесообразно в единичном и мелкосерийном производстве, а также при групповой обработке мелких по размерам однотипных изделий (интегральных схем, режущего инструмента и др.).

Большая часть времени затрачивается на откачку среды из камеры и другие вспомогательные операции. Стремление повысить производительность процесса обусловило применение дополнительных устройств.

Установки для вакуумного напыления покрытий полунепрерывного действия оснащены одной или несколькими шлюзовыми камерами, отделенными от рабочих камер вакуумными затворами.

Установки непрерывного действия дают наибольшую производительность процесса, хотя они довольно сложны. Непрерывная подача напыляемых изделий в рабочую камеру устраняет необходимость в останове испарителя, вакуумной системы и сообщения рабочей камеры с атмосферой. Эффективность установок может быть обеспечена лишь в условиях крупносерийного или массового производства.

### *3.7.9. Упрочняющая обработка напыленных покрытий*

Для уменьшения припусков на механическую обработку применяют высокотемпературное уплотнение напыленных покрытий. Оно заключается в приложении давления в процессе локального нагрева. Как показывают металлографические исследования, увеличение усилия обработки и температуры подогрева оказывает положительное влияние на структуру слоя. При этом уменьшаются или вообще исчезают трещины и поры.

В процессе газопламенного напыления расплавленные частицы и восстанавливаемая поверхность взаимодействуют с кислородом воздуха, содержащимся как в продуктах сгорания, так и в окружающей атмосфере. Оксидные пленки на границе раздела покрытие – основа, между слоями покрытия и между отдельными частицами препятствуют образованию прочного покрытия.

Применение экзотермических реагирующих никель-алюминиевых порошков и самофлюсующихся сплавов на основе никеля или кобальта удорожают процесс восстановления деталей. Поэтому разработан способ химико-термической обработки напыленных покрытий, в основе которого лежат восстановление оксидов и последующая карбидизация напыленных покрытий в контролируемой газовой атмосфере заданного состава.

Сущность процесса заключается в том, что деталь с напыленным покрытием помещают в печь с атмосферой, содержащей  $H_2$  и  $C$ , и выдерживают при заданной атмосфере.

В результате химико-термической обработки достигается полное восстановление оксидов, исчезает слоистость, а содержание цементита определяется режимами обработки. Введение в напыляемые (железные) порошки карбидообразующих материалов (хрома) повышает твердость и износостойкость напыленных покрытий.

### 3.8. Электроискровая обработка в процессах восстановления деталей

#### 3.8.1. Сущность процесса

Электроискровая обработка металлических поверхностей основана на использовании импульсных электрических разрядов между электродами в газовой среде. Сущность технологии восстановления поверхностей состоит в том, что в промежутке между металлическими электродами разрушается материал анода, а продукты эрозии переносятся на катод (заготовку).

Единичный перенос электродного материала происходит при высокой температуре разряда  $(5...11)10^3$  К. Температура плазмы  $T$  (в К), образующейся в межэлектродном пространстве, приближенно рассчитывается по формуле

$$T = 7200 + 450 C^{1/3}, \quad (3.38)$$

где  $C$  – емкость накопительных конденсаторов, мкФ.

Вследствие кратковременности разряда (до 10 мкс) и локальности нагрева микрообъемы переносимого на деталь металла мгновенно охлаждаются. При определенных режимах обработки происходит сверхскоростная закалка ее поверхностного слоя до высокой твердости. При многократном воздействии искровых импульсов на поверхности детали формируется покрытие со свойствами, близкими к свойствам материала электрода. Толщина покрытия увеличивается с ростом содержания углерода в материале детали и энергии единичного импульса.

При электроискровой обработке происходят:

- нагрев материала электродов и превращение его в газообразное состояние;
- перенос материала в разрядном промежутке с анода на катод;
- диффузия наносимого материала в расплав металла восстанавливаемого элемента в месте разряда;
- образование твердых растворов и мелкодисперсных карбидов в результате быстрого затвердевания жидкой фазы и локальной закалки с огромными скоростями охлаждения.

Нанесение твердых износостойких покрытий толщиной до 0,1 мм относят к упрочнению, а нанесение покрытий большей толщины – к наплавке.

Покрытие, нанесенное на восстанавливаемую поверхность детали, имеет прочную связь с основой, потому что его образование сопровождается химическими и диффузионными процессами.

Специфическая особенность электроискровой наплавки материалов заключается в том, что для каждого режима обработки толщина покрытия  $h$  (мм) растет во времени по кривой с насыщением, описываемой зависимостью

$$h = \pm At_{об}^3 \pm Bt_{об}^2 \pm Ct_{об} \pm D, \quad (3.39)$$

где  $A, B, C, D$  – коэффициенты;  $t_{об}$  – продолжительность обработки, мин.

Чем ближе  $t_{об}$  ко времени насыщения  $F$  (рис. 3.38), тем хуже качество поверхности. Растут шероховатость, пористость и несплошность покрытия. Оно окисляется, становится темным, а дефектность структуры достигает предельного значения. Поэтому обработку следует заканчивать на участках  $O-B$  или  $O-A$ , где скорость нанесения покрытия практически постоянна.

Разрушение электрода происходит по линейному закону, а интенсивность его зависит от теплофизических свойств его материала и режима обработки. Если требуется нанести покрытие большей толщины, то применяют материал с лучшей эрозионной способностью или повышают параметры режима обработки.

### **3.8.2. Применение электроискровой обработки в процессах восстановления деталей**

Электроискровой обработкой можно восстанавливать изношенные детали, изменять свойства их поверхностного слоя, упрочнять режущие кромки инструмента (резцов, фрез, штампов и др.) нанесением твердых сплавов, антикоррозионных, жаростойких, фрикционных и антифрикционных материалов. Процесс применяют для наращивания и упрочнения поверхности с износом до 0,2 мм при высоких требованиях к твердости и износостойкости восстановленной поверхности и нежестком требовании к сплошности покрытия.

При рациональном выборе материала анода на поверхности упрочняемой (восстанавливаемой) детали образуется слой высоких значений твердости и износостойкости.

При восстановлении поверхностей, участвующих в трении, можно наносить покрытия толщиной до 0,25 мм, а поверхностей неподвижных соединений – до 1,5 мм. Для упрочнения режущих кромок инструмента наносят покрытия толщиной до 0,1 мм. Шероховатость и сплошность покрытий регулируются.



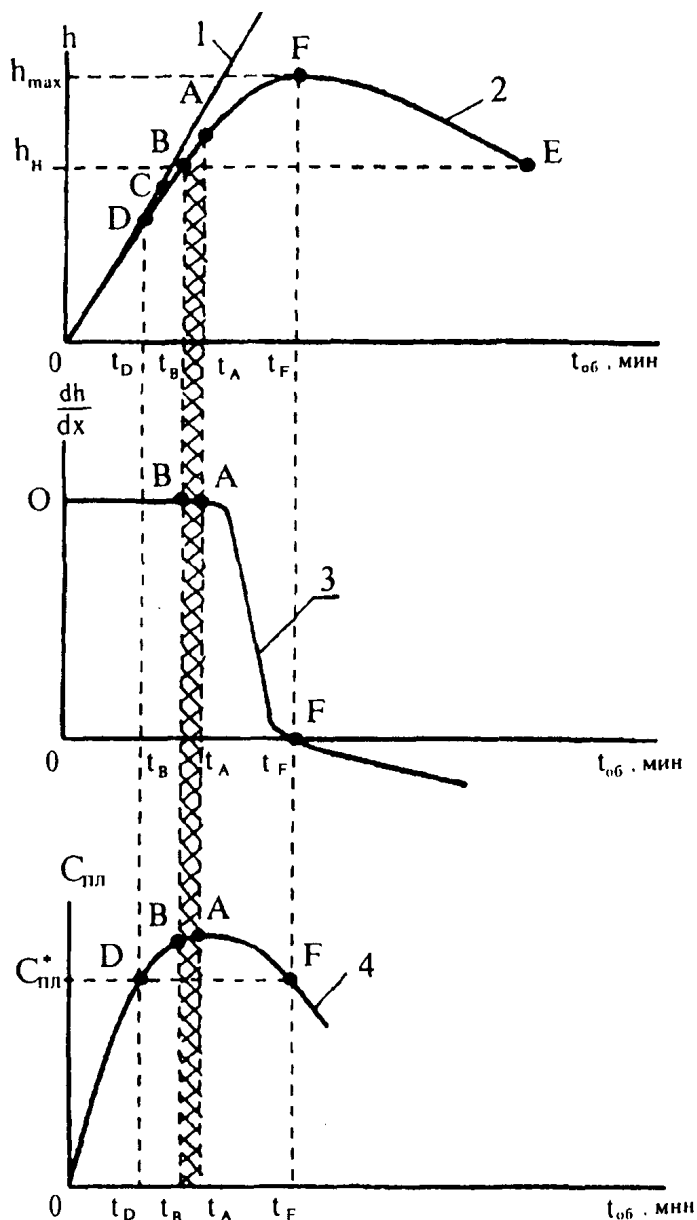


Рис. 3.38. Зависимость роста толщины электрода (1), толщины покрытия  $h$  (2), прироста толщины покрытия  $dh/dt$  (3) и площади  $C_{пл}$  (4) от времени обработки  $t_{об}$

Способ применяют для восстановления шеек валов и осей, поверхностей отверстий под подшипники, упрочнения взамен термообработки трущихся поверхностей, создания износостойкого поверхностного слоя толщиной 0,5 мм. Стойкость режущей части инструмента в результате упрочнения увеличивается в 2 раза. Износостойкость деталей после электроэрозионного упрочнения повышается в 3...8 раз.

Электроискровая обработка в ряде случаев при восстановлении изношенных поверхностей подшипниковых узлов является финишной операцией, не требующей дополнительной механической обработки. Способ получил распространение при восстановлении деталей топливной аппаратуры дизелей и золотников, изготовленных из стали 15Х и имеющих твердость 56...63 HRC.

Покрытие состоит из трех слоев. Первый слой – это термодиффузионная зона покрытия и основного металла. Второй, нетравящийся (белый) слой представляет собой твердый раствор легирующих или карбидообразующих элементов, входящих в состав электродного материала. Третий слой, подобный газотермическим покрытиям, сформирован из фрагментов застывшего металла и оксидов. Структура упрочненного наружного слоя напоминает строение антифрикционного сплава: частицы мелкодисперсных карбидов включены в сравнительно мягкую основу. Перенесенный материал анода легирует материал детали и, соединяясь с диссоциированным атомарным азотом воздуха и углеродом материала детали, образует диффузионный износостойкий слой. При этом в слое имеются сложные химические соединения, нитриды и карбонитриды, а также закалочные структуры.

Глубина термического влияния на материал детали составляет 0,8...1,0 мм. Предел выносливости детали практически не изменяется.

Формирование микрогеометрии и несущей способности покрытий при электроискровой наплавке имеют особенности.

Исходная шероховатость восстанавливаемой поверхности не должна превышать  $R_z$  10 мкм. Поверхность после электроискровой наплавки существенно отличается от поверхностей, полученных другими способами. После снятия случайно прилипших частиц распыленного металла на поверхности остаются равномерно расположенные скругленные сферические выступы и впадины. Микрорельеф имеет практически одинаковые характеристики по всем направлениям и не содержит острых гребешков, как после механической обработки. Однако с увеличением толщины покрытий средняя высота  $R_z$ , радиус закругления и средний шаг неровностей непрерывно растут.

В условиях эксплуатации наплавленные поверхности показывают лучшие результаты по сравнению с исходными поверхностями. Для достижения оптимальной площади опорной поверхности целесообразно назначать припуски на обкатывание (раскатывание) и механическую обработку в пределах доли толщины покрытия (табл. 3.69).

Если обкатывание (раскатывание) роликами или шариками ведется при давлении 5...20 % от предела текучести материала, то остаточные растягивающие напряжения, возникающие в результате наплавки и снижающие усталостную прочность на 10...30 %, практически снимаются. Опорная поверхность после пластического деформирования увеличивается, а образовавшиеся каналы удерживают  $\sim 0,02 \text{ мм}^3$  масла на каждый  $1 \text{ см}^2$  площади впадин. Угол их раскрытия такой, что за счет поверхностного натяжения масло выступает над поверхностью трения.

Механическую обработку (полирование) наплавленного покрытия назначают после пластического поверхностного деформирования.

В ремонтных чертежах восстановленных деталей согласно ГОСТ 2789–73 должны быть указаны параметры шероховатости  $R_{\text{max}}$ ,  $R_z$  или  $S_m$ , радиус закругления вершин  $r$ , мкм, длина относительной опорной поверхности при различных уровнях профиля  $t_{20\%}$ ,  $t_{40\%}$  и  $t_{50\%}$ , базовая длина  $l_b$ , а также шероховатость поверхности между масляными каналами  $Ra$ .

### 3.69. Доля толщины покрытия, участвующая в поверхностном пластическом деформировании при упрочнении и восстановлении деталей

Рабочие поверхности	Упрочненные детали	Восстановленные детали
Свободные	0	0
Легконагруженные в неподвижных соединениях	0,05...0,10	0,1...0,2
Тяжелонагруженные в неподвижных соединениях	0,1...0,3	0,2...0,4
Легконагруженные при трении скольжения	0,2...0,4	0,2...0,5
Тяжелонагруженные при трении скольжения	0,4...0,6	0,3...0,7

### 3.8.3. Материалы

Для электроэрозионного упрочнения применяют следующие материалы): металлокерамические твердые сплавы ВК6-ОМ, ВК-8, Т15К6, ТТ15К10-ОМ, Т30К4 и Т60К4, ТН-20 круглого и прямоугольного сечений; медную проволоку; товарную бронзу БрАЖ10-3, БрАЖМц10-3-1,5, БрАЖН10-4-4 и др.; специальные электродные материалы ВБр5М (бронза); ДКВ – аналог релита; АОМ (алюминиево-оловянисто-медный сплав); сплавы ВЖЛ-2, ВЖЛ-М, ВЖЛ-13, ВЖЛ-17, В56, ЖСН-Л; стали 65Г, 20Х13, 95Х18, ШХ15 и др. Применяют также сормайт, стеллит, вольфрам. Плотность энергии, передаваемой детали при искровом разряде, составляет  $5 \cdot 10^3 \dots 8 \cdot 10^5$  кВт/см<sup>2</sup>.

Для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств восстановленных поверхностей можно наносить покрытие в несколько слоев из различных материалов. Например, на стальную или чугунную поверхность поршневого кольца наносят молибден, на него медь, а затем олово.

Покрытия, например, из металлокерамики ВК6-ОМ или стали 65Г обладают такими свойствами. Микротвердость диффузионной зоны равна 2900...4300 МПа (45...30 HRC). Микротвердость покрытия из ВК6-ОМ равна 7990...8840 МПа (68 HRC), а из стали 65Г – 6760...7590 МПа (57...59 HRC). Толщина первого слоя (у поверхности) составляет 3...10 мкм, второго (белого) – 40 мкм для ВК6-ОМ и 100 мкм для стали 65Г, третьего (диффузионного) слоя ~ 43 мкм.

### 3.8.4. Оборудование

Процесс электроискровой обработки ведут как ручную, так и с применением средств механизации. В обоих случаях перемещение электрода, продолжительность обработки, режимы по току, амплитуде и частоте вибрации электрода выбирают так, чтобы покрытие было сплошным, равномерным и имело ровную, отражающую свет поверхность.

Наибольшее распространение получили установки группы ЭФИ-46А, -23М, -25М, -54А.

Имеется семь классов модернизированных мобильных установок типа «Элитрон» и два класса «Вестрон», с помощью которых можно наносить покрытия толщиной до 0,4 мм (сплошностью 60...95 %) и 0,4...1,0 мм (сплошностью 25...60 %).

Электроэрозионное наращивание и легирование на модернизированной установке «Элитрон-22БМ» ведется в безвибрационном режиме. Модернизировано оборудование для электроэрозионного легирования («Элитрон-22А», «Элитрон-22Б» и «Элитрон-52БМ») в соответствии с патентом России № 2119552.

**Технические характеристики установки «Элитрон-52БМ»**

Потребляемая мощность, кВт·А . . . . .	4,5
Напряжение питающей сети, В . . . . .	220
Частота импульсов, Гц . . . . .	100...450
Рабочий ток, А . . . . .	0,5...60
Число электрических режимов. . . . .	12 и 6 дополнительных
Габаритные размеры генератора, мм . . . . .	650 × 500 × 1100
Масса генератора, кг . . . . .	150
Толщина покрытия Т15К6 на стали 40Х, мкм . . . . .	10...750
Высота неровностей профиля, мкм . . . . .	2,5...65,0
Максимальная производительность, см <sup>2</sup> /мин. . . . .	10
Основное назначение . . . . .	Наплавка

Установка работает в механизированном режиме с комплектом устройств КМП-50М.

Созданы модернизированные установки «Вестрон-005» и «Вестрон-006». Сущность модернизации заключалась в совмещении в одной установке транзисторно-тиристорного и резисторно-емкостного генераторов, оснащении новыми вибровозбудителями с вращающимися электродами и повышением частоты импульсов тока со 100 до 800 Гц. Повышение энергии разряда одного импульса тока до 7,5 Дж не приводит к увеличению толщины покрытия. Установки «Вестрон» позволяют наносить покрытия толщиной до 300 мкм с пористостью < 80 %.

### **3.9. Установка и закрепление дополнительных ремонтных деталей**

#### **3.9.1. Характеристика и классификация видов способа**

*Дополнительные ремонтные детали (ДРД) применяют:*

- 1) для компенсации износа поверхностей деталей;
- 2) для замены их поврежденных частей.

В первом случае ДРД устанавливают и закрепляют непосредственно на изношенной поверхности. Таким образом восстанавливают шейки валов, отверстия под подшипники качения в картерах, отверстия с изношенной резьбой и другие элементы. В зависимости от вида восстанавливаемой поверхности ДРД имеют вид гильзы, кольца, резьбовой втулки, спирали и др.

Во втором случае может быть заменена сложная часть детали с несколькими поврежденными элементами.

В настоящее время ДРД все больше применяют для восстановления под номинальные размеры деталей с большими износами. Способ позволяет устранять повреждения, трудно устранимые другими способами. Способом ДРД детали восстанавливают в различных ремонтных производствах при разных объемах выпуска. Стоимость материалов при этом в несколько раз ниже, чем при использовании газотермических и наплавочных покрытий. Применяемое оборудование универсальное, а технология простая.

ДРД устанавливают и закрепляют на многих восстанавливаемых деталях, в том числе на базовых и основных. Например, в блоке цилиндров двигателя устанавливают ДРД на зеркале цилиндров, на коренных опорах, на фланце картера сцепления, вместо кронштейна под отверстие стартера, в виде участков стенок и др.

ДРД обычно изготавливают из того материала, из которого выполнена сама восстанавливаемая деталь. ДРД, выполняющие функции трущихся элементов, могут быть перед установкой термообработаны.

Процессы создания припусков с применением ДРД классифицируют в зависимости от способа их закрепления. ДРД крепят на восстанавливаемых поверхностях: натягом, деформированием материала, сваркой, приклеиванием, пайкой, заклепками, силами упругости и упорами (на шейках валов), винтами, штифтами и навинчиванием по резьбе, выполненной на теле детали.

Изучение патентного фонда на тему восстановления изношенных деталей (кл. МКИ В23Р6/06) показало, что большое число изобретений за последние годы относится к применению ДРД.

### **3.9.2. Механическое закрепление дополнительных ремонтных деталей**

Широкое распространение получило закрепление цилиндрических ДРД в виде втулок на шейках валов или в отверстиях корпусов за счет *натяга*. Шероховатость сопрягаемых поверхностей при этом должна быть не более  $Ra\ 1,25 \dots 0,32$  мкм.

Условие прочности посадки, напрессованной на вал ДРД и нагруженной при эксплуатации статической осевой силой  $S$  (в ньютонах) выражается неравенством

$$S < f \pi d l , \quad (3.40)$$

где  $f$  – коэффициент трения;  $p$  – давление на поверхности контакта, Па;  $d$  и  $l$  – диаметр и длина сопряжения соответственно, м.

Давление на поверхности контакта (в паскалях) выражается зависимостью

$$p = \frac{b}{d \left( \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)}, \quad (3.41)$$

где  $b$  – натяг в сопряжении, мм;  $E_1$  и  $E_2$  – модули упругости материала вала и втулки соответственно, Па;  $C_1$  и  $C_2$  – коэффициенты,

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \mu_2.$$

Здесь  $\mu_1$  и  $\mu_2$  – коэффициенты Пуассона материалов вала и втулки;  $d_1$  и  $d_2$  – диаметр отверстия в вале и наружный диаметр втулки соответственно, мм.

Необходимую прочность сопряжения получают выбором длины и натяга посадки. Для более надежного соединения ДРД с основной деталью их просверливают, отверстие разворачивают или в нем н врезают резьбу. В отверстие устанавливают штифт или резьбовой стопор.

При восстановлении деталей типа гильз используют ленты из стали У8А, У10А, 65Г или 70С2ХА толщиной 0,5 или 0,7 мм, шириной 75 или 80 мм. Технологический процесс восстановления гильзы цилиндра включает: предварительное растачивание и хонингование зеркала цилиндра, изготовление из ленты мерных пластин, сворачивание и запрессовывание последовательно двух ДРД в восстанавливаемую деталь, снятие фаски и хонингование.

Ленту отрезают с помощью штампа на прессе. Длина мерных пластин  $L_{\Pi}$  (мм) определяется из соотношения

$$L_{\Pi} = \pi(d + h_{\Pi} + \delta) + \Delta L, \quad (3.42)$$

где  $d$  – диаметр предварительно обработанного зеркала цилиндра, мм;  $h_{\Pi}$  – толщина пластины, мм;  $\delta$  – натяг в сопряжении, мм;  $\Delta L$  – величина снятия кромок пластины при запрессовывании ленты, равная 0,2...0,3 мм.

Допуск на длину ленты в пределах  $\pm 0,05$  мм трудно выдержать штамповкой, поэтому пакет вырезанных лент шлифуют по длине в при-

способлении на плоскошлифовальном станке. Затем ДРД с помощью приспособления сворачивают во втулку и в таком положении на прессе ее запрессовывают в предварительно обработанную гильзу цилиндра.

Для гибки мерных заготовок ДРД в кольца применяют гибочный станок 01.08-001 Ремдеталь. Ведущие валики станка приводятся электродвигателем посредством червячного редуктора. Диаметр гибки определяют сменные оправки. Деформирующее усилие создает пневмопривод. Производительность станка 100 заготовок/ч.

Механическая обработка ремонтной заготовки заключается в снятии фаски на радиально-сверлильном станке, предварительном и окончательном хонинговании. Однако силы натяга в сопряжении могут вызвать заметное изменение наружных размеров элементов восстанавливаемой детали.

Свертные втулки из низкоуглеродистой конструкционной стали могут быть закреплены в восстанавливаемом отверстии путем их *раскатывания*. В этом случае свертные втулки изготовляют из отожженной рулонной ленты по ГОСТ 2279–79 толщиной 0,8 мм. Материал ленты – сталь 45 твердостью 217 НВ. Свертные втулки устанавливают в предварительно расточенные отверстия с винтовыми канавками треугольного профиля с углом при вершине 30...40° и глубиной 0,35...0,50 мм. Ленту раскатывают на радиально-сверлильном станке при частоте вращения шпинделя 90 мин<sup>-1</sup>, ручной подаче (0,1 мм за один оборот) и подаче в зону обработки индустриального масла. Для раскатывания используют многороликовые жесткие раскатники. Канавки на восстанавливаемой поверхности при раскатывании заполняются металлом ленты. Раскатники, настроенные на размер обработки, обеспечивают допуск обработки 20 мкм и шероховатость *Ra* 0,63 мкм.

Интерес представляет способ закрепления ДРД на поверхности шеек *силами упругости и упорами*, который не искажает размеры детали и исключает сварочно-термическое влияние на материал восстанавливаемой детали. Суть способа заключается в следующем.

Из шлифованной и полированной полосы из инструментальной или пружинной стали толщиной 0,4 мм вырубает в штампе заготовку ДРД и пробивают круглые и фигурные отверстия. Круглые отверстия необходимы для прохождения масла, а фигурные – для изготовления лепестков. Длина ДРД соответствует длине окружности восстанавливаемой шейки. Затем заготовку ДРД с использованием специальной оснастки сворачивают в кольцо и отгибают лепестки. Диаметр свернутой ленты меньше диаметра восстанавливаемой шейки. На поверхности шейки фрезеруют углубления. ДРД в виде браслета надевают на шейку вала таким образом,



чтобы лепестки ДРД вошли во фрезерованные углубления (рис. 3.39). Силы упругости заставляют ДРД копировать форму шейки, а лепестки, взаимодействующие с торцами углубления, фиксируют ДРД от проворота.

Лента, изготовленная на специализированном заводе, имеет точную равномерную толщину и шероховатость, соответствующую шероховатости обработанной шейки.

Для исключения повреждения вкладышей коленчатого вала при работе двигателя необходимо тщательно убрать с ленты заусенцы, выдержать угол между ее лепестками, их длину и глубину лысок на шейке вала.

Масса материала на шейке вала в 2...5 раз меньше по сравнению с массой материала, нанесенного другими способами восстановления. Трудоемкость восстановления коленчатого вала установкой свертных лент в 3 раза меньше, чем с использованием электродуговой наплавки. При очередном ремонте свертные ленты заменяют, при этом шейки вала не шлифуют. Этим способом восстанавливают шейки коленчатых валов из высокопрочного чугуна двигателей ЗМЗ-24 и ЗМЗ-53.

ДРД, имеющие форму дисков или пластин, можно закреплять на основной детали с помощью заклепок или винтов с потайной головкой, при этом толщину диска или пластины следует принимать  $\geq 4$  мм.

### 3.9.3. Закрепление дополнительных ремонтных деталей сваркой, пайкой и клеем

Широкое распространение получил способ закрепления ДРД *сваркой*. Наибольший объем работ с использованием этого способа имеет место при ремонте листовых панелей кузовов. Способ применяется при восстановлении шеек коленчатых валов, канавок поршней, венцов шестерен, стыковых приливов картеров и др.

#### Примеры.

1. При восстановлении коленчатых валов, исчерпавших все ремонтные размеры, шейки предварительно обрабатывают под установленный размер. Отдельно изготавливают ДРД в виде полуколец из конструкцион-

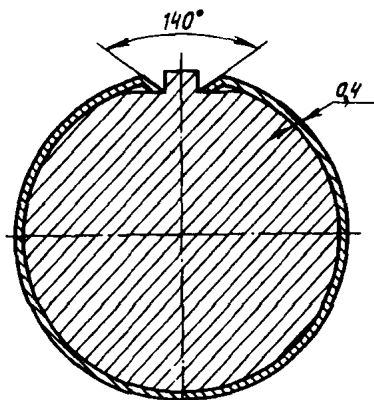


Рис. 3.39. Схема установки упругой ДРД на шейку вала

ной стали. Операцию гибки выполняют после высокочастотного нагрева в формовочном штампе. В матрице штампа предусмотрены радиальные отверстия для подачи охлаждающей жидкости в конце операции с целью закалки ДРД. После растачивания и подрезки ДРД их устанавливают парами на шейки, прижимают струбцинами и приваривают по окружности к образующим. Затем шейки шлифуют и полируют под номинальный размер.

2. Канавка под верхнее компрессионное кольцо поршня двигателя внутреннего сгорания изнашивается наиболее быстро по сравнению с другими канавками. Для ее восстановления протачивают головку поршня до выхода резца в канавку. Устанавливают без натяга ДРД до упора в торец проточки и приваривают ее. Точение новой канавки ведут со снятием стружки как с материала поршня, так и с материала ДРД.

ДРД может быть закреплена *электрозаклепками*.

Однако приварка ДРД оказывает термическое влияние на материал восстанавливаемой детали, что вызывает ее коробление и уменьшение усталостной прочности.

На поверхности восстанавливаемой детали можно закрепить стальную ленту *пастообразным припоем с приложением импульсов тока*. Вследствие возникающего переходного сопротивления лента – припой – деталь в течение импульса тока, равного 0,04...0,06 с, происходят локальный нагрев материалов в месте их контакта и расплавление припоя. Под действием приложенного усилия сжатия 0,9...1,2 кН расплавленный припой смачивает соединяемые поверхности, а после окончания нагрева при длительности паузы между импульсами 0,06...0,10 с он кристаллизуется в шов и образует неразъемное соединение. Толщина слоя припоя составляет 0,015 ...0,030 мм, поэтому его расход небольшой.

ДРД на шейках валов закрепляют *полудой*, расплавленной в контакте деталей с помощью печного тепла.

Сущность *клеесварного* способа закрепления ДРД заключается в следующем. Поверхность основной детали зачищают металлической щеткой, шлифовальным кругом или другими инструментами. Затем ее обезжиривают органическим растворителем и наносят клеевую композицию. После этого устанавливают накладку из стали 20, которую приваривают контактным точечным способом, формируя соединение.

#### 3.9.4. Вставки, стяжки

Большой объем работ при восстановлении корпусных деталей связан с восстановлением резьбовых отверстий. На долю этих элементов приходится > 30 % всех резьбовых поверхностей деталей машин. Наи-

большему изнашиванию подвержены резьбовые отверстия в деталях из алюминиевых сплавов (30...35 %) и чугуна (10...12 %). В меньшей степени изнашиваются резьбовые отверстия в стальных деталях (3...5 %). Чаще изношены резьбы с размерами М8, М10, М12, М14 и М16. Существующие способы восстановления резьбовых отверстий – образование новой резьбы большего размера и заварка отверстий со сверлением и нарезанием резьбы – имеют ограниченное применение.

Резьбы восстанавливают с помощью *спиральных вставок* из ромбической проволоки. Материал спиральной вставки – аустенитная хромоникелевая сталь. ДРД представляет собой пружинящую спираль с концентричными друг относительно друга внутренней и наружной резьбами высокой точности. Спираль имеет на одном конце поводковый усик для завинчивания ДРД. Внешний диаметр ДРД в свободном состоянии перед установкой больше, чем соответствующий диаметр резьбы в отверстии, что обеспечивает натяг в сопряжении.

Способ позволяет повышать прочность резьбовых отверстий, восстанавливать резьбы в тонкостенных деталях под номинальный размер и снижать изнашивание резьбовой поверхности при разборочно-сборочных работах. Соединения со спиральными вставками хорошо работают при динамических нагрузках. Прочность таких соединений на 35...40 % выше, а частота их ослабления в 5...7 раз ниже, чем в соединениях без вставок.

Процесс восстановления поврежденного резьбового отверстия включает:

- рассверливание изношенной резьбы в детали (табл. 3.70);
- нарезание новой резьбы большего размера с тем же шагом и необходимой глубиной под вставку;
- ввертывание вставки в деталь;
- удаление технологического поводка.

Рассверливанием отверстия удаляется разрушенная или поврежденная резьба. Отверстие не цекуют во избежание трудностей при ввинчивании ДРД. ДРД ввинчивают в резьбовое отверстие с помощью специального инструмента за поводковый усик. Технологический поводок обламывают. Выступания вставки из детали не допускается.

Способ обеспечивает повышение предельной нагрузки на резьбу, ее износостойкости, устойчивости против коррозии. Показатели технико-экономической эффективности способов восстановления резьбовых отверстий приведены в табл. 3.71. Производитель ДРД (товарное название «Heli-Coil») – фирма «Bollhoff» (Германия).

**3.70. Размеры обработанных отверстий под установку винтовых вставок**

Размер изношенной резьбы в отверстии	Диаметр рассверленного отверстия, мм	Размер резьбы под вставку, мм
M6	6,96...7,12	M8 × 1
M8	8,70...8,86	M10 × 1,25
M10	10,45...10,62	M12 × 1,5
M12	12,18...12,38	M14 × 1,75
M14	13,90...14,13	M16 × 2
M16	16,20...16,40	M18 × 2
M18	18,10...18,40	M20 × 2,5
M20	20,10...20,40	M22 × 2,5
M22	22,10...22,40	M24 × 2,5
M24	24,10...24,40	M27 × 3
M27	27,10...27,46	M30 × 3
M30	29,36...29,90	M33 × 3

**3.71. Показатели технико-экономической эффективности способов восстановления резьбовых отверстий**

Способ восстановления	Относительная стоимость	Коэффициент долговечности
Обработка под ремонтный размер	1	0,95
Заварка	1,13	0,85
Установка резьбового ввертыша	1,46	1,00
Установка резьбовой спиральной вставки	0,47	1,50

Одной из разновидностей восстановления корпусных деталей с трещинами в стенках является установка *фигурных вставок*. Сущность способа устранения трещин установкой фигурных вставок заключается в стягивании трещины путем запрессовывания вставки в предварительно подготовленный в детали паз.

Вставки изготавливают из малоуглеродистой стали. Они бывают стягивающие и уплотняющие. Трещины длиной до 50 мм устраняют только стягивающими фигурными вставками, а длиной > 50 мм – стягивающими и уплотняющими вставками. Вставки имеют призматическую форму, в их основании есть элементы окружностей диаметром 3,5; 4,8 или 6,8 мм. Высота уплотняющих вставок 10...15 мм, а стягивающих 3 мм. Высота уплотняющих вставок превышает толщину стенки детали, а стягивающих вставок составляет часть толщины стенки восстанавливаемой детали.

Технология устранения трещин заключается в следующем. Отступают от конца трещины в сторону ее продвижения на 4...5 мм, сверлят насквозь первое отверстие диаметром 4,8 мм для деталей с толщиной стенки до 12 мм и диаметром 6,8 мм, если толщина стенки > 12 мм. В просверленное отверстие устанавливают оправку специального кондуктора и сверлят второе отверстие. Затем последовательно ориентируют кондуктор по выполненным отверстиям и сверлят необходимое число отверстий по всей длине трещины. Подобным образом поперек трещины через каждые пять отверстий вдоль трещины сверлят на глубину 3,5 мм по два отверстия с каждой стороны трещины. Расстояния между осями отверстий и осями цилиндрических элементов уплотняющей вставки равны между собой. Шаг отверстий в восстанавливаемой детали для стягивающей вставки на 0,2 мм больше, чем шаг между цилиндрами вставки. Перемычки между отверстиями удаляют специальным пробойником шириной 1,8; 2,4 или 3,0 мм (в зависимости от диаметра просверленных отверстий).

Сжатым воздухом выдувают стружку из отверстий. Поверхности отверстий и вставок обезжиривают органическим растворителем и смазывают эпоксидным компаундом. Устанавливают вдоль трещины уплотняющие вставки, а поперек ее – стягивающие. Вставки расклепывают и выступающую поверхность зачищают заподлицо с поверхностью детали. Короткие трещины устраняют путем установки только стягивающих вставок.

Выпускают комплект ОР-11362, в состав которого входят фигурные вставки и необходимый инструмент. Способ отличается небольшой трудоемкостью и простотой, он доступен любому ремонтному предприятию и мастерской.

### 3.10. Пластическое деформирование материала

*Пластическое деформирование материала* применяют для восстановления расположения, формы, размеров и шероховатости поверхностей и физико-механических свойств детали за счет перемещения мате-

риала в объеме самой детали, изменения структуры материала или создания наклепа. Способ применяют для восстановления деталей, изготовленных из пластичных материалов (стали, меди, бронзы и др.). Он может быть использован и для обработки хрупких материалов, которые превращаются в пластичные путем нагрева или создания благоприятных условий нагружения. Процесс обладает уникальной особенностью – обходиться при восстановлении большого количества параметров и свойств без вложения дополнительного материала в деталь в отличие от способов нанесения покрытий, установки и закрепления ДРД.

### **3.10.1. Область применения и особенности способа**

*Пластичность* – это свойство твердых тел под действием внешних сил изменять свою форму и размеры без разрушения и сохранять их в виде остаточной деформации после снятия этих сил. Пластическая деформация кристаллических тел проявляется в результате смещения атомных слоев по плоскостям скольжения под действием внешних сил. Чем больше плоскостей сдвига образуется в объеме материала, тем более он пластичен, тем при меньших напряжениях деформируется заготовка.

Степень и усилие деформирования материала зависят от его химического состава и структуры, температуры нагрева, скорости деформирования и схемы главных напряжений.

Наибольшую пластичность имеют чистые металлы. Введение в состав металла легирующих элементов чаще всего уменьшает его способность к пластическому деформированию. Неоднородность структуры и неравномерность распределения примесей также приводят к уменьшению пластичности. Величина зерна влияет на пластичность при холодном деформировании. Чем меньше размер зерна, тем прочнее металл и ниже его пластичность. При горячем деформировании размер зерна не сказывается на пластичности.

Пластичность материала увеличивается при его нагреве. Различают холодное и горячее деформирование в зависимости от соотношения температур процесса и рекристаллизации. При холодном деформировании температура обработки меньше температуры рекристаллизации, а при горячем – наоборот.

Нагрев до температурыковки в 10...15 раз уменьшает сопротивление деформированию по сравнению с процессом в холодном состоянии. Нагрев деталей из углеродистых сталей до 350 °С не увеличивает, а снижает пластичность, а нагрев > 700 °С приводит к появлению окалины. Поэтому нагрев таких сталей целесообразен в указанном интервале температур.

Повышение скорости деформирования снижает пластичность и увеличивает сопротивление деформированию. Влияние фактора велико в условиях горячего деформирования.

Поле главных напряжений оказывает большое влияние на параметры деформирования. Чем больший объем заготовки нагружен сжимающими напряжениями, тем большую величину деформаций допускает материал без разрушения. Максимальная величина деформации может быть получена при всестороннем неравномерном сжатии.

*Расчет значений технологических режимов* при пластическом деформировании деталей, усилий и самих деформаций, а также размеров технологических устройств основан на учете следующих положений:

- пластическая деформация наступает тогда, когда напряжения сдвига в материале детали превышают предел его упругости;
- используя это положение, можно определить усилие деформирования;
- пластическая деформация детали сопровождается упругой деформацией, поэтому размеры детали в конечный момент нагружения отличаются от размеров после снятия нагрузки, что необходимо учитывать при повышенных требованиях к размерам детали;
- объем детали до пластического деформирования равен объему ее после снятия нагрузки, в результате чего удастся рассчитать величину деформации в нужном направлении;
- если возможно перемещение какой-либо точки деформируемого материала в разных направлениях, то эта точка будет перемещаться в направлении наименьшего сопротивления. Это положение позволяет сделать вывод о том, что если ограничить деформацию детали в каких-либо направлениях, то она будет деформироваться в том направлении, где нет внешних препятствий.

*Область применения пластического деформирования* распространяется на восстановление геометрических параметров деталей, а также на восстановление жесткости, усталостной прочности и износостойкости деталей и уменьшение шероховатости поверхностей. Способ обеспечивает высокое качество восстановления деталей и экономичность.

### **3.10.2. Восстановление размеров деталей**

Восстановление размеров элементов деталей пластическим деформированием за счет перемещения материала из неизнашиваемого объема в зону износа включает подготовку детали, нагрев (при необходимости), приложение деформирующего усилия и последующую обработку.

Подготовка детали к деформированию представляет собой отжиг или высокий отпуск. В ряде случаев заготовку непосредственно перед деформированием нагревают до температурыковки. Последнюю операцию не проводят для стальных заготовок с твердостью менее 25... 30 HRC, а также для заготовок из цветных металлов.

Процессы перемещения материала при пластическом деформировании классифицируют в зависимости от соотношения направления-внешних сил и деформаций и вида применяемой энергии. По соотношению направлений внешних сил и деформаций различают основные способы восстановления размеров деталей: осадку, раздачу, обжатие, вытяжку и вдавливание (рис. 3.40).

Деформирующее усилие создают молотами или прессами, деталь при этом устанавливают в приспособление.

*Осадка* применяется для увеличения наружного размера сплошных деталей. При осадке действие силы  $P$  перпендикулярно к направлению деформации  $\delta$ . В результате воздействия площадь поперечного сечения детали увеличивается вследствие уменьшения ее высоты. Способ применяют для восстановления пальцев, коротких осей и других деталей. Для осадки используют гидравлические прессы. Величина удельного давления  $p$  (в МПа) при осадке определяется по формуле

$$p = \sigma_T (1 + d/6h), \quad (3.43)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала, МПа;  $d$  и  $h$  – диаметр и длина детали соответственно, м.

Для деталей, испытывающих значительные эксплуатационные нагрузки, уменьшение высоты при осадке допускается до 8 %, а для остальных деталей – до 15 %.

Область применения осадки – восстановление наружной и внутренней поверхности детали при нежестких требованиях к ее длине.

**Пример.** Процесс восстановления муфт синхронизаторов путем осадки в подкладном штампе с разъемной матрицей обеспечивает производительность до 100 деталей/ч. Процесс включает:

- нагрев деталей в камерной печи до температуры 960...980 °С в атмосфере эндогаза;
- установку двух технологических полуколец, препятствующих деформации паза, и установку собранного изделия на оправку;
- штамповку на фрикционном прессе;
- выпрессовывание оправки и снятие полуколец;



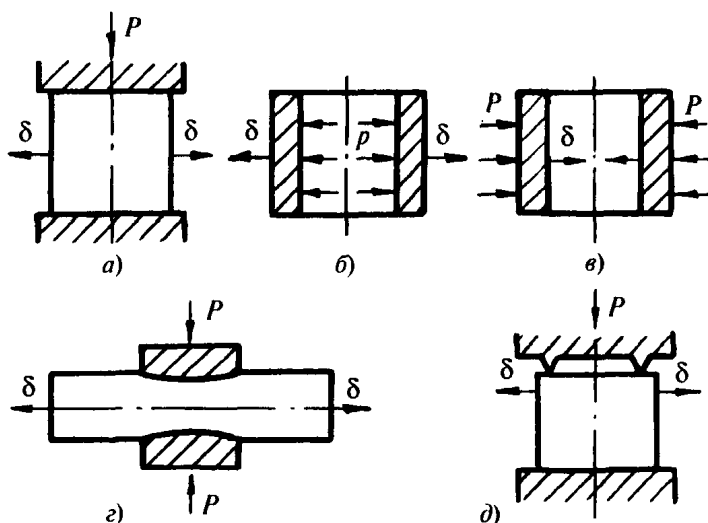


Рис. 3.40. Способы восстановления размеров деталей:

а – осадка; б – раздача; в – обжатие; г – вытяжка; д – вдавливание

- отжиг;
- точение кольцевой канавки;
- протягивание и калибрование эвольвентных шлицев;
- закругление зубьев;
- термическую обработку.

Направления действующих сил и деформаций при *раздаче* совпадают и направлены изнутри детали. Раздачу применяют для восстановления по наружному диаметру поршневых пальцев, чашек дифференциала, втулок и других деталей. Механическую раздачу выполняют сферическими или цилиндрическими прошивками (дорнами). Величина удельного давления (в МПа) при раздаче определяется по формуле

$$p = 1,15 \sigma_T \ln(D/d), \quad (3.44)$$

где  $D$  и  $d$  – наружный и внутренний радиусы детали соответственно, м.

Раздачу применяют при восстановлении наружных поверхностей полых деталей с нежесткими требованиями к внутренним размерам.

При *обжатии* направления действующих сил и деформаций также совпадают, но направлены внутрь детали. Способ применяют при восстановлении внутренней поверхности детали с нежесткими требованиями к наружным размерам.

Обжатием создают ремонтные заготовки гильз и втулок, например путем проталкивания деталей сквозь втулку-инструмент. Диаметр калибрующего пояска инструмента принимают из расчета уменьшения внутреннего диаметра на величину износа и припуска на механическую обработку.

*Вытяжку* применяют для увеличения длины детали за счет уменьшения ее поперечного сечения. По сравнению с осадкой деформации и действующие силы поменялись местами и направлениями. Вытяжкой восстанавливают, например, размеры толкателей при износе торцовых поверхностей.

Вытяжку используют при восстановлении длины сплошной детали с нежесткими требованиями к наружным размерам. Раздача с одновременной вытяжкой осуществляется специальным деформирующим инструментом наружных поверхностей длинных полых деталей с невысокими требованиями к внутреннему размеру.

*Вдавливание* объединяет в себе признаки осадки и раздачи. В большинстве случаев действующая сила направлена под углом к направлению требуемой деформации. Одновременное протекание осадки и раздачи сохраняет длину детали, что является преимуществом способа. Вдавливание применяют при восстановлении зубьев шестерен, шлицев, шаровых пальцев и других деталей. Процесс ведут при высокой температуре нагрева (сталь – 680...920 °С) в штампах.

Частным случаем вдавливания является *накатка* (рис. 3.41). Ее часто применяют для увеличения наружного или уменьшения внутреннего размера деталей за счет вытеснения металла из отдельных участков рабочих поверхностей. Накатку применяют для восстановления размеров шеек и отверстий под подшипники, а также подшипников, залитых свинцовистой бронзой. В последнем случае образовавшиеся лунки заливают баббитом для восстановления несущей способности антифрикционного слоя.

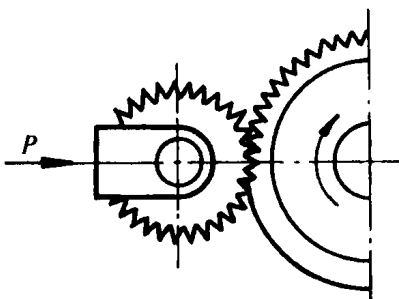


Рис. 3.41. Накатка поверхности

Поверхности накатывают специальным инструментом – зубчатым роликом (накатником) с прямыми или косыми зубьями.

Рекомендуется применять накатку для деталей, которые воспринимают контактную нагрузку  $\leq 7$  МПа.

Детали, имеющие твердость  $< 32 \text{ HRC}$ , можно накатывать в холодном состоянии при обильной подаче индустриального масла.

Подъем гребешков металла после накатки составляет около половины высоты зуба накатника, он зависит также от шага накатки (1,2...3 мм). Скорость накатки среднеуглеродистых сталей 10...15 м/мин, продольная подача 0,4...0,6 мм/об, угол заострения зуба накатника 60...70°. Накатку выполняют так, чтобы гребешки поднятого металла имели в поперечном сечении форму трапеции, а не треугольника. Поверхность после накатывания шлифуют.

Восстановление зубчатых профилей шестерен и звездочек накаткой ведут на стенде ОР-6400-01. Рабочий профиль инструмента соответствует профилю и размерам восстанавливаемых зубьев.

В зависимости от вида энергии, затрачиваемой на пластическое деформирование, различают механическое, термопластическое, электрогидравлическое и другие виды воздействий.

Примеры *механического воздействия* инструмента на восстанавливаемые детали были рассмотрены ранее.

*Термопластическое деформирование* применяют для восстановления деталей – тел вращения: гильз цилиндров, поршневых пальцев дизельных двигателей, поршней и др.

Первый вариант термопластического обжатия гильзы цилиндра состоит в ее нагреве в жесткой, облегающей деталь снаружи оправке и последующем охлаждении. Второй вариант создания ремонтной заготовки гильзы цилиндра заключается в том, что внутри заготовки при равномерном перемещении нагревающе-охлаждающего узла в виде индуктора со спрейером создаются квазистационарное тепловое поле в материале гильзы и значительный осевой температурный градиент. Последний создает в изделии различное объемное состояние и внутренние напряжения, под действием которых происходит равномерное пластическое его обжатие. Длительность процесса 5...6 мин. Величина обжатия 0,9...1 мм.

Сущность термопластической раздачи заключается в том, что деталь нагревают снаружи до температуры  $> A_{сз}$  и охлаждают изнутри потоком жидкости. Внутренние кольцевые слои материала, охлаждаясь, стремятся уменьшиться в диаметре, но им препятствуют нагретые наружные слои, поэтому внутренние слои пластически растягиваются и увеличиваются в диаметре по сравнению с первоначальным размером в холодном состоянии. При дальнейшем охлаждении внутренние слои утрачивают пластичность и превращаются в жесткую оправку, которая не способствует уменьшению диаметров наружных слоев.

Процесс протекает с одновременной закалкой материала. Приращение диаметра поршневых пальцев дизельных двигателей 0,1...0,3 мм. Рассмотренный способ позволяет четырех-шестикратное восстановление деталей. Однако способ малоприменим к деталям карбюраторных двигателей. Малая толщина стенок этих деталей (4...5 мм по сравнению с 8...10 мм у дизелей) не дает большого приращения диаметра.

*Электрогидравлическая раздача* поршневых пальцев карбюраторных двигателей основана на эффекте Л.А. Юткина (авторское свидетельство СССР № 105011). Сущность эффекта заключается в инициировании в жидкости, заполняющей внутреннюю полость детали, электрического разряда, создающего высокое гидравлическое давление, которое, в свою очередь, вызывает пластическое деформирование материала детали и обеспечивает припуск на абразивную обработку.

Устройство для электрогидравлической раздачи (рис. 3.42) включает следующие основные части: источник энергии 1, накопитель энергии 2 и технологический узел 3 с положительным 4 и отрицательным 8 электродами, между которыми установлена деталь 7 с проводником 6 и пластмассовым патроном 5.

Технологическая жидкость, заполняющая внутреннюю полость детали, – вода. Напряжение разряда контура 37 кВ, емкость батареи конденсаторов 6 мкФ. Взрывной патрон изготовлен из полиэтилена марки ПЭВ-500, а инициирующий проводник – из алюминиевой проволоки

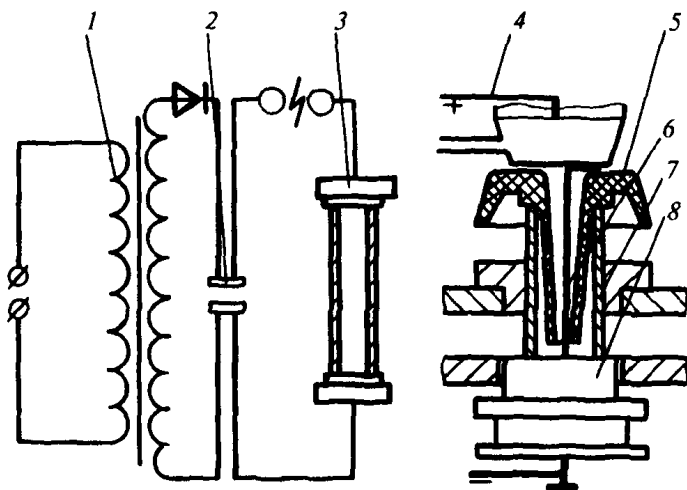


Рис. 3.42. Устройство для электрогидравлической раздачи поршневых пальцев

диаметром 0,7 мм. При указанных режимах раздачи наблюдается пластическое увеличение диаметра поршневых пальцев, выполненных из стали 15Х, на 0,12 мм, а деталей из стали 45 – на 0,2 мм.

После деформирования необходима механическая обработка поверхностей до требуемых размеров. Число ходов при шлифовании заготовки поршневого пальца в 1,5 ...2 раза больше, чем при обработке заготовки с нанесенным хромовым покрытием.

### 3.10.3. Восстановление формы

Восстановления формы детали достигают правкой.

*Правка* применяется для восстановления формы изогнутой, покорбленной или скрученной детали. Направление действующей силы при этом противоположно устраняемой деформации и в большинстве случаев перпендикулярно к оси детали. Правят валы, шатуны, оси, клапаны, тяги, рычаги, рамы, кронштейны и другие детали. При правке деформируют всю деталь или ее элемент, создают статическую или динамическую нагрузку, процесс ведут без нагрева или с нагревом.

Для *холодной правки* характерны неоднородность степени деформации по сечению, а следовательно, несимметричная эпюра остаточных напряжений. В связи с этим при холодной правке необходимо стремиться к распределению деформаций по всему объему металла. Остаточные напряжения способствуют возврату деформации. Для повышения стабильности результата применяют *двойную правку* с перегибом в обратную сторону и последующим нагревом детали до температуры 400...500 °С, выдержкой в течение 1 ч и охлаждением в контейнере. Такая термическая обработка восстанавливает до 90 % несущей способности деталей. Усилие холодной правки  $P$  (в меганьютонах) определяют по формуле

$$P = 6,8\sigma_T d^3 / 10^3 l, \quad (3.45)$$

где  $l$  – длина детали, м.

Для деталей с большой стрелой прогиба применяют *горячую правку*. Нагревают всю деталь или ее часть. Оптимальная температура горячей правки 600...800 °С. Такая правка завершается отпуском.

Правку выполняют однократным приложением нагрузки, рассчитанной по формуле (3.45), или многократным приложением половинной нагрузки. Последняя технология реализована в оборудовании для правки деталей итальянской фирмы «Galdabini». Оборудование этой фирмы успешно применяется на заводах по изготовлению автомобильных двигателей.

Для коленчатых валов, изготовленных из высокопрочного чугуна, применяют *поэлементную правку* без нагрева в объеме одной шатунной шейки путем создания преимущественно сжимающих напряжений с медленным нарастанием и снятием нагрузки.

Высокое качество обеспечивает *правка наклепом*. Точность правки при этом достигает 0,02 мм, наблюдаются стабильность результата во времени и сохранение усталостной прочности. Такой вид правки выполняют пневматическим молотком с закругленным бойком нанесением ударов по нетрущимся поверхностям детали.

### 3.10.4. Упрочнение поверхностей

Пластическая деформация металлов в холодном состоянии происходит за счет сдвига по плоскостям скольжения отдельных частиц кристаллов друг относительно друга или вследствие поворота одной части кристаллической решетки в положение, симметричное другой ее части (двойникование). При сдвиге отдельных частей металла по поверхности скольжения образуется слой с искаженной кристаллической решеткой и мелкими осколками зерен, создающими «шероховатость» по поверхности сдвига, которая препятствует дальнейшему перемещению зерен. Таким образом, пластическое деформирование в холодном состоянии упрочняет металл. Это упрочнение называется *наклепом*. Результат упрочнения выражается в том, что предел прочности и твердость металла повышаются, а пластичность снижается.

Многие детали машин при эксплуатации утрачивают износостойкость, усталостную прочность и жесткость. Восстановить эти свойства можно наклепом поверхностного слоя детали или всего ее объема. При восстановлении усталостной прочности в поверхностном слое необходимо создать сжимающие остаточные напряжения. Механическое упрочнение рекомендуется и для повышения усталостной прочности деталей, восстановленных с применением наплавки, напыления и нанесения гальванических покрытий.

Применяют следующие виды механического упрочнения поверхностей деталей: обкатывание (раскатывание), чеканку, дробеструйную обработку, центробежную обработку, калибрование, выглаживание и др.

Наибольшее применение получило *обкатывание* роликами и шариками для упрочнения наружных и внутренних поверхностей деталей. В качестве оборудования применяют станки, имеющие механические продольную и поперечную подачи. Приспособление устанавливают на суппорте станка. Инструмент (накатник) обычно подпружинен и прижимается к детали усилием поперечной подачи.

Внутренние поверхности (гильз цилиндров, отверстий в головках шатунов) упрочняют шариковыми или роликовыми раскатниками (рис. 3.43). Эта обработка обеспечивает требуемую точность размеров деталей и необходимую шероховатость. Давление на инструмент в зависимости от материала детали достигает 5...20 МПа, число ходов 2...4.

Обкатывание и раскатывание улучшают шероховатость поверхности на один-два класса.

Галтели коленчатых валов упрочняют обкатыванием профильными подпружиненными роликами, изготовленными из твердого сплава Т15К6 и касающимися при работе галтельных переходов детали под действием приложенной силы.

Более эффективным способом упрочнения галтелей на коленчатых валах является их *чеканка*. Наклеп на упрочняемых поверхностях в этом случае создают с помощью бойков, приводимых в движение от вращающегося кулачка. Глубина наклепа при применении чеканки увеличивается в несколько раз по сравнению с обкатыванием. Чеканкой упрочняют также сварные швы.

Чеканочный инструмент представляет собой боек с профильным радиусом 3...5 мм. Распространены пневматические чеканочные приспособления с молотками МО-10, СМ-3 и РМ-6, работающие при давлении сжатого воздуха 0,4...0,6 МПа. Электрические и механические приспособления обычно нетиповые. Энергия удара пневматических инструментов составляет 30...50 Дж, электромеханических 20 Дж. Чеканочные при-

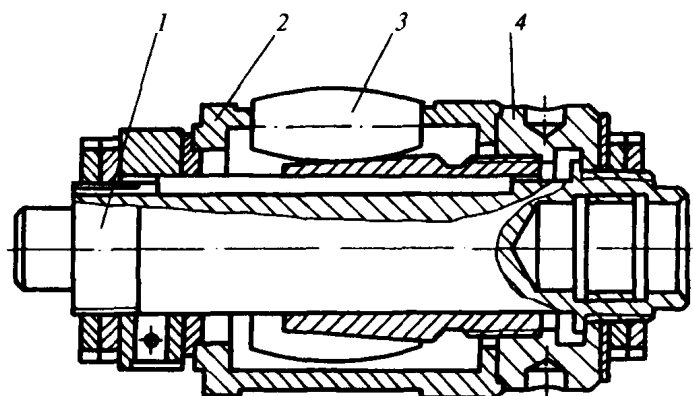


Рис. 3.43. Устройство для раскатывания отверстий:

1 – вал; 2 – корпус; 3 – ролик; 4 – гайка

способления для обработки деталей – тел вращения устанавливают на токарных станках. Для упрочнения сварных швов применяют бойки в виде пучка проволочек диаметром 2...3 мм.

Упрочнение чеканкой позволяет заменить сталь 25ХНВА сталями 40ХНМА или 35ХГСА, которые почти в 2 раза дешевле. Чеканку применяют для упрочнения сложных по форме и труднодоступных концентраторов напряжений.

При чеканке на обрабатываемой поверхности возникают значительные неровности, соответствующие профилю бойка, поэтому для сохранения исходной шероховатости детали шлифуют.

*Дробеструйная обработка* применяется как для повышения жесткости упругих элементов (пружин, торсионов, рессорных листов), так и для увеличения усталостной прочности деталей (шатунów, коромысел).

В качестве оборудования для обработки дробью служат механические или пневматические дробеметы. В механических устройствах дробь выбрасывается со скоростью 60...100 м/с за счет центробежной силы вращения барабана с лопатками. В пневматических устройствах дробь переносится струей сжатого воздуха под давлением 0,4...0,6 МПа. Применяют стальную или чугунную дробь диаметром 0,4...2 мм. Время наклепа 3...10 мин, а его глубина не превышает 1 мм.

Распространение получили механические установки, которые обеспечивают более высокую производительность при меньшем расходе энергии и позволяют регулировать скорость полета дроби.

Дробеструйная обработка ухудшает шероховатость поверхности на один-два класса, на этот параметр влияют частота вращения ротора, диаметр дроби и продолжительность обработки.

*Наклеп ротационным упрочнителем* выполняется с помощью приспособления (рис. 3.44), установленного на суппорте токарного станка. Инструментом является диск с радиальными отверстиями, в которые вмонтированы шарики с возможностью перемещения вдоль оси отверстий. Диск получает вращение от электродвигателя. Линейная скорость обода диска 13...25 м/с. В течение одного оборота диска каждый шарик наносит удар по упрочняемой поверхности. Этот способ применяют, например, для упрочнения коленчатых и торсионных валов. Размер детали практически не изменяется, шероховатость поверхности улучшается на один-два класса, твердость увеличивается на 25...45 % для стали и на 30...60 % для чугуна. Способ высокопроизводителен.

Структура и твердость поверхностного слоя в результате механического упрочнения изменяются в среднем на глубину 0,1...0,7 мм. Струк-



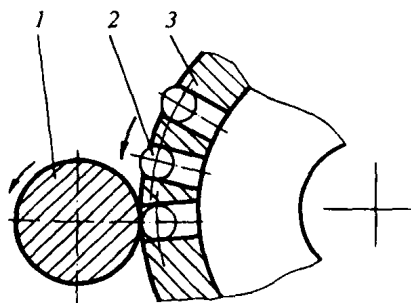


Рис. 3.44. Схема устройства для ротационного упрочнения:

1 – деталь; 2 – шарики; 3 – корпус

тура в этом случае приобретает направленное строение (текстуру), а твердость среднеуглеродистых незакаленных сталей увеличивается на 30...40 %. У термически обработанных сталей, имеющих твердость 40...45 HRC, в процессе наклепа она возрастает всего на 5...10 %.

Пластическое деформирование применяется и как отделочно-чистовая обработка в виде калибрования отверстий или выглаживания.

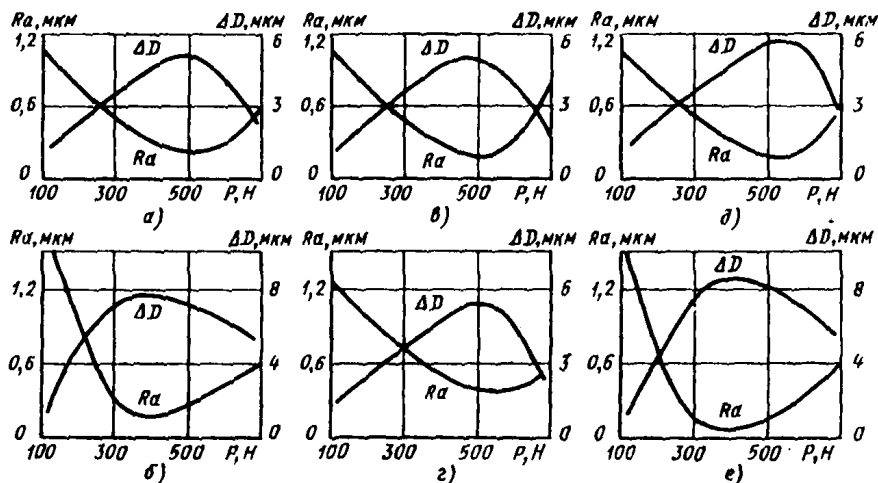
Отверстия *калибруют* перемещением в них с натягом деформирующего инструмента с подачей СОЖ.

*Выглаживание* заключается в упругопластическом деформировании поверхностного слоя детали инструментом с цилиндрической или сферической рабочей частью при взаимном перемещении инструмента и детали. В отличие от обкатывания, где имеет место трение качения инструмента по поверхности детали, выглаживание основано на использовании трения скольжения.

В качестве материала для выглаживающего инструмента применяют следующие твердые сплавы: титановольфрамовые Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, вольфрамокобальтовые ВК2, ВК3М, ВК4, ВК6, ВК6М, ВК8, титанотанталовольфрамовые ТТ10К8А, ТТ10К8Б, а также минералокерамику ЦМ-332. Характер изменения шероховатости поверхностей с различными покрытиями показан на рис. 3.45.

Поверхностный слой приобретает наилучшие показатели при использовании инструмента из синтетического алмаза, представляющего собой оправку с алмазным наконечником в виде закругленной иглы. Приспособление с инструментом устанавливают на суппорте или пиноли задней бабки токарного станка. Выглаживают только сплошные поверхности.

Поверхность под алмазное выглаживание предварительно шлифуют или растачивают. Усилие выглаживания не превышает 300 Н. В зону обработки подают индустриальное масло И-20А. Скорость выглаживания для сталей с твердостью 35...67 HRC составляет 200...280 м/мин, а подача 0,02...0,05 мм/об. Качество выглаживания определяется: формой и радиусом рабочей части инструмента, величиной радиального усилия, числом ходов, подачей и скоростью выглаживания. Рабочая часть иглы имеет



**Рис. 3.45. Изменение шероховатости  $Ra$  и диаметра  $\Delta D$  выглаживаемых поверхностей под действием силы  $P$ :**

*a* – вибродуговая наплавка проволокой Нп-65Г; *б* – вибродуговая наплавка проволокой Св-08; *в* – наплавка под слоем плавленного флюса АН-348А; *з* – наплавка под слоем керамического флюса АНК-18; *д* – железнение до HV 5,2...5,6 ГПа; *е* – железнение до HV 2,9...3,3 ГПа

радиус сферы 0,8...3 мм. Крепление инструмента пружинное. Шероховатость обработанной поверхности достигает  $Ra$  0,1...0,05 мкм, микротвердость увеличивается на 50...60 %, глубина наклепанного слоя до 400 мкм, на поверхности остаются значительные напряжения сжатия. Алмазное выглаживание придает восстанавливаемым поверхностям также высокие износостойкость и усталостную прочность. Этот вид обработки рекомендуется для упрочнения наплавленных и гальванических покрытий. Усталостная прочность при этом повышается более чем в 2 раза.

### 3.11. Электролиз в процессах создания ремонтных заготовок

#### 3.11.1. Определения, область применения и технологические расчеты процесса электролиза

Процессы взаимного превращения химической и электрической форм энергии являются *электрохимическими процессами*. В свою очередь, они подразделяются на две группы: превращения химической энер-

гии в электрическую (в гальванических элементах) и электрической энергии в химическую (электролиз).

В простейшей электрохимической системе имеются два электрода и ионный проводник между ними (внутренняя цепь). Электроды замыкаются металлическим проводником (проводником первого рода). Ионным проводником (проводником второго рода) служат растворы или расплавы электролитов. Electroдами называются металлические проводники, имеющие электронную проводимость и находящиеся в контакте с ионным проводником. Металлический проводник, замыкающий электроды с источником или потребителем электрической энергии, представляет собой внешнюю цепь электрохимической системы. Взаимодействие внутренней и внешней цепей системы обеспечивает ее работу.

При восстановлении деталей используют процессы получения покрытий, прочно соединенных с поверхностями деталей. Эти процессы основаны на явлениях электролитической диссоциации и электролиза.

*Электролитическая диссоциация* заключается в расщеплении молекул солей металлов, находящихся в растворе, на положительные и отрицательные сольватированные ионы (рис. 3.46) в результате взаимодействия этих солей с растворителем. Необходимое условие явления – молекулы растворителя и растворенного вещества должны иметь полярное строение. Соли металла при этом образуют положительно заряженные ионы этого металла и отрицательные ионы кислотного остатка. Растворенный металл приобретает в результате этого процесса положительный электрический потенциал (равновесный потенциал). Таким образом, раствор-электролит содержит ионы осаждаемого материала. В состав растворов входит также кислота, которая при диссоциации образует положительно заряженные ионы водорода и ионы кислотного остатка. Молекулы воды также образуют ионы водорода и ионы гидроксильной группы. Однако ионы, образовавшиеся в результате электролитической диссоциации, движутся в растворе беспорядочно.

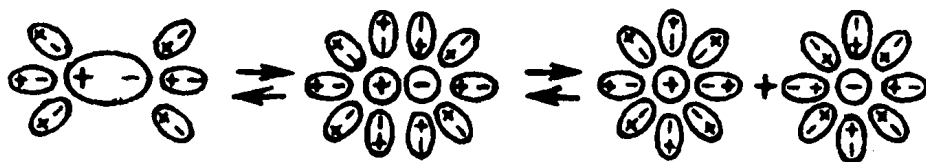


Рис. 3.46. Схема образования сольватированных ионов из молекул в результате электролитической диссоциации

Приложение постоянного напряжения к паре электродов, помещенных в диссоциированный раствор кислот, щелочей или солей, приводит к возникновению в нем электрического тока за счет упорядоченного перемещения ионов. Электрический ток в таких растворах связан с переносом вещества. Разряд ионов растворенных веществ с осаждением на электродах атомов представляет собой явление *электролиза*.

При восстановлении изношенных деталей используют закономерности электрохимических процессов, относящиеся к превращению электрической энергии в химическую. К ним относятся законы электролиза, термодинамические и кинетические закономерности электрохимических процессов. Теоретическое значение массы вещества  $m$  (в граммах), выделившегося на электроде, определяется с помощью объединенного закона М. Фарадея:

$$m = CIt = \frac{A}{FZ} It, \quad (3.46)$$

где  $C$  – электрохимический эквивалент, г/(А·ч);  $I$  – ток, А;  $t$  – время осаждения, ч;  $A$  и  $Z$  – атомная масса (г) и валентность осаждаемого элемента;  $F$  – постоянная Фарадея, определяемая произведением количества элементарных зарядов в 1 моле эквивалентов вещества (постоянная Авогадро, равная  $6,022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>) на значение элементарного заряда, равного  $1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл, отсюда  $F = 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл/(моль·эв.).

Эквивалентная масса представляет собой атомную массу элемента или молекулярную массу вещества, деленную на валентность. Постоянная Фарадея определяет количество электричества, которое нужно пропустить через электролит для выделения на электроде 1 г·эв. вещества. Если разделить эквивалентную массу любого металла на число Фарадея, то получим число граммов данного металла, выделившегося на катоде или растворившегося на аноде при пропускании через электролит количества электричества 1 А·ч. Это число является электрохимическим эквивалентом данного металла (табл. 3.72).

На катоде кроме осаждения металла протекают сопутствующие процессы: выделение водорода, восстановление металла до более низкой валентности, восстановление органических веществ, попавших в электролит. Поэтому действительная масса вещества, выделившегося на катоде, будет меньше массы вещества, рассчитанной по формуле (3.46). Отношение массы действительно выделившегося металла на электроде к теоретически возможному его количеству называется коэффициентом

### 3.72. Электрохимические эквиваленты и другие характеристики некоторых металлов

Наименование металла	Химическое обозначение ионов	Атомная масса, г	Нормальный потенциал, В	Эквивалентная масса, г	Электрохимический эквивалент, г/(А·ч)	Плотность, г/см <sup>3</sup>
Цинк	Zn <sup>++</sup>	65,37	– 0,76	32,69	1,220	7,0
Хром	Cr <sup>+++</sup>	51,996	– 0,71	17,37	0,647	6,5
Железо	Fe <sup>++</sup>	55,85	– 0,44	27,94	1,042	7,8
Железо	Fe <sup>+++</sup>	55,85	– 0,036	18,61	0,694	7,8
Кадмий	Cd <sup>++</sup>	112,41	– 0,40	59,20	2,097	8,6
Кобальт	Co <sup>++</sup>	58,94	– 0,27	29,47	0,733	8,8
Никель	Ni <sup>++</sup>	58,69	– 0,23	29,35	1,095	8,8
Олово	Sn <sup>++</sup>	118,70	– 0,14	59,35	2,214	7,3
Свинец	Pb <sup>++</sup>	207,21	– 0,126	103,60	3,865	11,4
Водород	H <sup>+</sup>	1,008	0,00	1,008	0,0376	–
Медь	Cu <sup>++</sup>	63,57	+ 0,34	31,78	1,186	8,9
Медь	Cu <sup>+</sup>	63,57	+ 0,652	63,57	2,372	8,9
Серебро	Ag <sup>+</sup>	107,88	+ 0,799	107,88	4,027	10,5

выхода по току  $\alpha$ . По коэффициенту выхода по току судят, как организован электрохимический процесс. Значения  $\alpha$  (%) для некоторых процессов следующие:

Золочение	90
Кадмирование	85...95
Железнение	80...90
Хромирование:	
– блестящее	8...12
– твердое	12...28
Цинкование:	
– цианистое	75...95
– кислое	95...100
– цинкатное	85...100

Толщина электролитического осадка  $h$  (мм) определяется по формуле

$$h = \frac{CD_k t \alpha}{10 \gamma}, \quad (3.47)$$

где  $D_k = I/S_k$  – катодная плотность тока, А/дм<sup>2</sup> (здесь  $S_k$  – площадь катода, дм<sup>2</sup>);  $\gamma$  – плотность осаждаемого металла, г/см<sup>3</sup>.

Время осаждения  $t$ , ч, электролитического осадка определяют по формуле

$$t = \frac{10 h \gamma}{CD_k \alpha}, \quad (3.48)$$

**Пример.** Определить основное время  $t_0$  нанесения железного покрытия ( $\gamma = 7,8$  г/см<sup>3</sup>) толщиной  $h = 0,3$  мм на восстанавливаемые поверхности деталей площадью  $S_k = 3$  дм<sup>2</sup> при токе  $I = 45$  А, если выход по току составляет  $\alpha = 0,85$ .

**Решение.** Электрохимический эквивалент железа

$$C = m_z / F,$$

где  $m_z$  – масса моля железа, равная  $55,84 : 2 = 27,92$  г;  $F$  – число Фарадея 96 484 А·с/(моль·экв),

$$C = 27,92 : 96484 = 2,893 \cdot 10^{-4} \text{ г/(А·с)} = 1,042 \text{ г/(А·ч)}.$$

Катодная плотность тока

$$D_k = I : S_k = 45 : 3 = 15 \text{ А/дм}^2.$$

Время нанесения покрытия

$$t_0 = \frac{10 h \gamma}{CD_k \alpha} = \frac{10 \cdot 0,3 \cdot 7,8}{1,042 \cdot 15 \cdot 0,85} = 1,76 \text{ ч}.$$

Гальванические покрытия имеют следующие области применения при восстановлении деталей:

- наращивание и повышение износостойкости поверхностей (хром, железо, никель, медь);
- придание защитно-декоративных (хром, никель, медь, цинк, кадмий, олово, свинец) и антифрикционных свойств (железо, медь, цинк, олово);

- защиту от цементации (медь);
- повышение теплостойкости (хром);
- придание поверхностному слою специальных свойств – электро- и теплопроводности и др. (медь и др.);
- улучшение прирабатываемости трущихся поверхностей (железо, хром, медь, цинк, свинец, олово).

Основная область применения гальванических покрытий в ремонтном производстве – восстановление многочисленных деталей с небольшим износом, но с высокими требованиями к износостойкости, твердости и сплошности покрытия и прочности его соединения с основой. Учитывают, что ~65 % деталей ремонтного фонда имеют износ на сторону 0,14 мм. Гальванические покрытия наносят на восстанавливаемые поверхности клапанов, поршневых пальцев, шатунов, отверстий под подшипники в корпусных деталях и др.

Процесс нанесения гальванических покрытий обеспечивает:

- сохранение структуры материала детали за счет отсутствия вложения тепла в него;
- высокую износостойкость и твердость покрытий;
- равномерную их толщину;
- возможность получения покрытий с заданными, изменяющимися определенным образом по их толщине физико-механическими свойствами;
- большое количество одновременно восстанавливаемых деталей и возможность автоматизации;
- использование недефицитных материалов.

Однако скорость нанесения покрытий низкая (гальванический процесс самый длительный по сравнению с другими процессами нанесения покрытий). Процесс многооперационный и сопровождается расходом воды и загрязнением сточных вод ионами тяжелых металлов. Способ требует совершенствования в направлениях повышения производительности и уменьшения затрат на материалы.

### **3.11.2. Классификация способов нанесения электрохимических покрытий**

В зависимости от видов материала наносимых покрытий гальванические процессы делятся на железнение, хромирование, цинкование, кадмирование, никелирование и др. В ремонтном производстве получили наибольшее распространение первые три процесса. В свою очередь, первые два процесса обеспечивают получение износостойких покрытий, а

цинкование – как износостойких, так и защитных покрытий. Цинк гарантирует надежную катодную защиту стальных изделий.

В зависимости от места электролиза процессы делятся на ваннные и вневанные, а в зависимости от температуры электролита электролиз протекает в горячих ( $\geq 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) или холодных электролитах.

### **3.11.3. Технологический процесс и оборудование для нанесения покрытий**

Типовой процесс нанесения гальванических покрытий содержит три блока операций: подготовительные, осаждения металла и обработки заготовок после нанесения покрытий (рис. 3.47).

Подготовительные операции включают механическую и электрохимическую обработку восстанавливаемых поверхностей: их очистку, предварительную механическую обработку, установку заготовок на подвески и изоляцию поверхностей, не подлежащих восстановлению, обезжиривание и травление. Осаждение металла составляет основную часть процесса. Последующие операции состоят из: промывки заготовок с покрытием в дистиллированной воде для сбора электролита, оставшегося на поверхностях заготовок; нейтрализации его остатков; промывки горячей и холодной водой; снятия деталей с подвесок и удаления изоляции; сушки и термообработки (при необходимости).

Предварительная механическая обработка (как правило, абразивная) необходима для устранения следов изнашивания на восстанавливаемых элементах и придания им правильной геометрической формы. Эта операция обеспечивает равномерную толщину будущих покрытий, заданную шероховатость подложки и служит необходимым условием прочного соединения покрытия с поверхностью детали. Шероховатость поверхностей после механической обработки должна быть  $Ra\ 0,63...1,25\text{ мкм}$ . При небольшом износе обработку абразивным кругом заменяют обработкой шлифовальными шкурками для удаления следов коррозии.

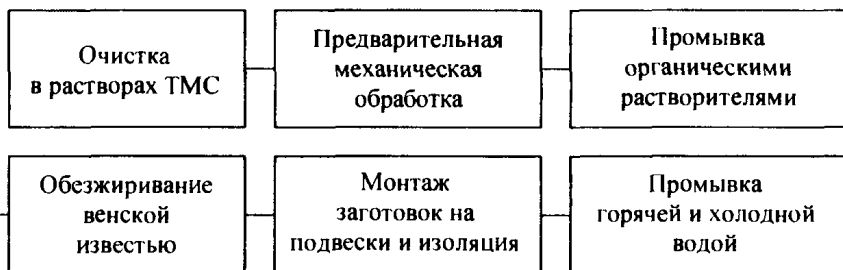
Маслогрязевые отложения с восстанавливаемых поверхностей удаляют органическими растворителями (дихлорэтаном, ацетоном, керосином, уайт-спиритом и др.). Пожароопасная очистка органическими растворителями может быть заменена электрохимическим обезжириванием.

Установка заготовок на подвески должна обеспечить надежный электрический контакт в цепи заготовка – подвеска и условия равномерного осаждения покрытия и всплытия пузырьков выделяющегося газа.

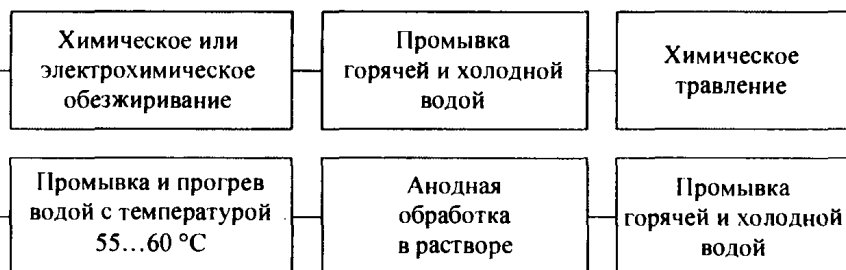
Невосстанавливаемые поверхности изолируют: нанесением цапон-лака (целлулоида, растворенного в ацетоне), полихлорвинилового пласти-



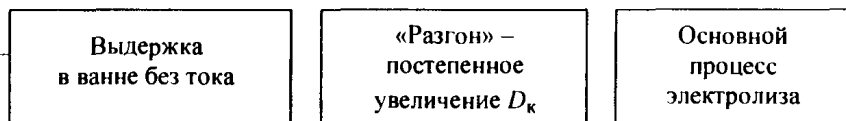
**Механическая подготовка заготовок**



**Электрохимическая подготовка заготовок**



**Нанесение покрытия**



**Обработка заготовок после нанесения покрытия**

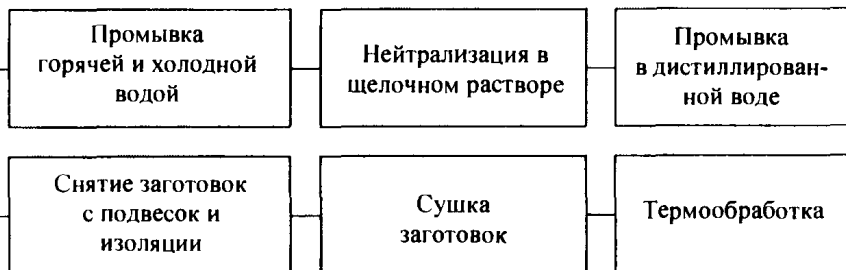


Рис. 3.47. Типовой процесс нанесения гальванических покрытий

ката, резинового клея, составов из воска и канифоли (1:1), парафина, воска, канифоли и каменноугольного пека (7:1:1:1), грунта и эмали, намоткой полихлорвиниловой ленты, установкой резиновых трубок и др.

Затем восстанавливаемые поверхности протирают венской известью (смесью оксидов кальция и магния) и (или) подвергают электрохимической обработке. Наиболее часто применяют обезжиривание в щелочных растворах (табл. 3.73). На катоде выделяется в 2 раза больше газа, чем на аноде, поэтому производительность обезжиривания на катоде выше, чем на аноде. При электролизе в таких растворах на поверхности заготовок, завешенных на катодную штангу, бурно выделяется водород, который срывает жировую пленку. Одновременно с этим происходят омыление и эмульгирование жиров. Для исключения наводороживания поверхности, приводящего к хрупкости материала детали, в конце обезжиривания меняют полярность на обратную и в течение четверти времени от длительности катодной обработки детали обрабатывают на аноде.

Детали после обезжиривания тщательно промывают сначала в теплой (~ 60 °С), а затем в холодной (17...20 °С) воде. Хорошее качество обработки характеризуется сплошной пленкой воды на очищенной поверхности.

Покрытие будет прочно закреплено на восстанавливаемой поверхности, если к началу его нанесения толщина оксидной пленки на этой поверхности не будет превышать 0,005 мкм. Межмолекулярные силы, обуславливающие сцепление, заметно проявляются, когда расстояние между взаимодействующими поверхностями соизмеримо с межатомными

**3.73. Составы растворов и режимы обезжиривания  
стальных или чугунных деталей**

Компонент или параметр режима	Обезжиривание	
	химическое	электрохимическое
Едкий натр, г/л	10...30	20...40
Тринатрийфосфат, г/л	15...35	
Кальцинированная сода, г/л	3...5	—
Синтанол ДС-10, г/л		3...5
Жидкое стекло, г/л	60...80	60...80
Температура раствора, °С	5...60	3...10
Продолжительность, мин	—	
Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	—	

расстояниями. В этом случае соединение обеспечивается силами меж-атомного взаимодействия материалов покрытия и детали. Поэтому важнейшее значение для соединения покрытия с основой имеет удаление пленок оксидов на подготовительных операциях. Поверхность железа, например, покрыта слоем оксидов  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_3\text{C}_4$ , а также гидрооксидами  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  и  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Прочность соединения покрытия с основой может быть значительно улучшена, если также удален напряженный в результате механической обработки и поверхностный слой металла толщиной 15...30 мкм. Эта функция выполняется посредством травления.

Травление – процесс растворения поверхности металлов и их оксидов в кислых или щелочных растворах. Выделяющийся кислород при анодном травлении отрывает от восстанавливаемой поверхности оксиды и удаляет с этой поверхности травильный шлам.

Травление бывает химическое и электрохимическое (табл. 3.74). Химическое травление выполняют в растворах серной или соляной кислоты.

3.74. Состав растворов и режимы травления

Компонент или параметр режима	Номер раствора при травлении				
	химическом		электрохимическом		
	1	2	3	4	5
Кислота, г/л:					
– соляная	200...220	–	–	–	–
– серная	–	150...250	330...400		2...3
Катапин, г/л	3...5	5...7	–		–
Железо, г/л:					
– сернокислое			10...20		
– хлористое	–	–	–	580...620	
Хромовый ангидрид, г/л				–	120...150
Температура раствора, °C	15...40	40...60	18...25	30...35	50...60
Анодная плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	–	–	50...70*; 18...20**	40...60	20...40*; 20...25**
Продолжительность, мин	3...60	3...60	2...3*; 1,5...2**	1,5...2	1...2*; 0,2...0,5**

\* Сталь.

\*\* Чугун.

Электролитическое травление (анодную обработку) ведут сначала в ванне с 30%-ным раствором серной кислоты, а затем в ванне для нанесения покрытий. Травильный шлам периодически удаляют из ванны.

Для химического травления черных металлов обычно применяют разбавленные растворы серной или соляной кислоты либо их смеси.

При травлении железа наблюдаются два процесса: растворение оксидов и железа, находящегося под слоем оксидов. Эти процессы протекают со скоростью, которая зависит от вида кислоты, ее концентрации и температуры. Вначале раствор проникает через поры и трещины в наружном слое окалины из  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  к слоям  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и  $\text{FeO}$ , а затем – к поверхности металла. Поскольку  $\text{FeO}$  растворяется с наибольшей скоростью, то трещины в слое  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_3\text{C}_4$  увеличиваются. С момента проникновения кислоты к поверхности металла начинается его растворение с выделением водорода.

Травление в растворах серной кислоты целесообразно вести при температуре 40...60 °С, а в соляной 15...40 °С. Более низкая температура раствора соляной кислоты объясняется летучестью хлороводорода.

Преимущества сернокислых травильных растворов заключаются в их невысокой стоимости, нелетучести даже при температуре до 100 °С, возможности извлечения сульфатов железа, растворимость которых резко падает с уменьшением температуры. Растворы соляной кислоты обеспечивают низкую температуру обработки и возможность получения чистой и менее шероховатой поверхности.

Для уменьшения объема выделяющегося водорода, предохранения поверхности заготовок от перетравливания, а также для экономии кислот применяют ингибиторы травления.

Для травления отдельных участков или деталей крупных размеров, которые не могут быть помещены в ванны, используют специальные травильные пасты, которые состоят из травильных растворов, ингибитора и наполнителя (инфузорной земли, легких суглинков, асбеста).

#### Примерный состав травильной пасты

$\text{H}_2\text{SO}_4$ (плотность 1,84 г/см <sup>3</sup> ), см <sup>3</sup> .....	29
$\text{H}_3\text{PO}_4$ (плотность 1,70 г/см <sup>3</sup> ), см <sup>3</sup> .....	46
$\text{HCl}$ (плотность 1,19 г/см <sup>3</sup> ), см <sup>3</sup> .....	356
Уротропин, г .....	6
Сульфитцеллюлозный щелок (плотность 1,22 г/см <sup>3</sup> ), см <sup>3</sup> .....	50
Измельченный асбест, г .....	400
Вода, см <sup>3</sup> .....	90

Травильную пасту наносят на деталь (вручную или пастопультом) и выдерживают на ней в течение 1...6 ч, после чего смывают.

Скорость травления во всех случаях можно повысить встряхиванием или катанием деталей и особенно применением струйного травления или ультразвука. Струйное травление превосходит по скорости травление в стационарных ваннах в 2,5...5,0 раз в серной кислоте и в 5...10 раз в соляной. Травление в ультразвуковом поле позволяет ускорить процесс, улучшить качество поверхности, снизить расход химикатов.

Одновременные обезжиривание и травление целесообразно применять при обработке деталей, поверхность которых незначительно загрязнена.

Операции предварительной подготовки являются общими в любом гальваническом процессе, поэтому их можно организовать в одной части помещения.

Непосредственно нанесение покрытия составляет основу гальванического процесса, оно будет рассмотрено ниже.

Заключительные операции технологического процесса имеют такие особенности. При извлечении подвесок с заготовками площадью 1 м<sup>2</sup> из раствора уносится 50...250 мл содержимого ванны. Поэтому после нанесения покрытия заготовки промывают в ванне – сборнике электролита с дистиллированной водой в целях его экономии и обеспечения чистоты сточных вод. Затем следуют нейтрализация в щелочном растворе оставшегося на поверхности заготовок раствора и промывка горячей и проточной холодной водой. Горячая вода один раз в 1...2 ч меняется. С деталей снимают изоляцию и их сушат в опилках, подогретых до 120...130 °С, или в сушильном шкафу. Опилки не должны содержать дубильных веществ. Для уменьшения водородной хрупкости детали выдерживают в течение 1...2 ч при температуре 150...200 °С в масляной ванне или в шкафу.

Наибольший объем гальванических работ выполняют в стационарных гальванических ваннах, размеры которых нормализованы (табл. 3.75). Стационарные ванны содержат запас электролита, катодные и анодные штанги, электроды, систему нагрева, фильтрации и перемешивания электролита, приборы регулирования температуры электролита и массовой доли основных составляющих. Применяют также барабанные и колокольные ванны для мелких деталей, конвейерные автоматические комплексы в условиях крупносерийного и массового производств.

Железнение и хромирование ведут в стационарных ваннах, а цинкование, как правило, в барабанных или колокольных ваннах. Стальные части ванны для исключения соприкосновения с кислотными электролитами футеруют свинцом, резиной, полимерными и керамическими материалами.

## 3.75. Типы и параметры гальваннческих ванн

Тип	Внутренние размеры, мм			Рабочий объем, л
	Длина	Ширина	Высота	
01	600	550	800	250
02	800	700		400
03	1200			600
04	1500			750
05	800		1000	550
06	1200			800
07	1500	1000		
08		1300		
09	2200	700		1400
10		1000		2000
11	3000	700		
12		1000		2700
13	800	450	800	270
14			1000	350

Нагрев или охлаждение раствора выполняют змеевики с теплоносителем. Если змеевики соприкасаются с горячими сернокислыми электролитами, то их изготавливают из титана, свинца, освинцованной или нержавеющей стали. При внутреннем способе нагрева наблюдается неравномерность температуры электролита. Для нагрева хромовых электролитов, чувствительных к изменению температуры, применяют внешний их нагрев посредством пропускания пара через пароводяную рубашку между двумя ваннами, вставленными одна в одну. Ванны имеют бортовые вентиляционные отсосы с одной или двух сторон. Ванны не заземляют, а устанавливают на изоляторах ОФ-6-375 или ОФ-10-750. Паровую и водяную арматуру, в свою очередь, изолируют от ванн.

Электрический ток к электродам подводят через продольные медные или латунные штанги диаметром 15...40 мм, установленные на бортах ванны в изоляторах. Одна пара штанг соединена с положительным полюсом источника, а другая – с отрицательным. На каждую пару штанг размещают по несколько поперечных штанг, свободное перемещение которых позволяет устанавливать нужное катодно-анодное расстояние.

Электроды и детали завешивают на анодные и катодные штанги соответственно.

Чтобы повысить производительность процесса (увеличить допустимую плотность тока) и улучшить свойства покрытий, ванны снабжают устройствами для перемешивания и фильтрации электролита, встряхивания или качания катодных штанг.

Передвижные фильтрационные установки (УФ-0,5) содержат насос и фильтр из ткани (сукна, полотна, стеклоткани), который задерживает механические примеси. Насос изготовлен из химически стойких материалов. Например, насос ЦКН-7 с подачей  $7 \text{ м}^3/\text{ч}$  выполнен из керамики.

Постоянный или переменный ток необходимого вида напряжением  $\sim 6...12 \text{ В}$  вырабатывают источники тока.

Выпрямители различной мощности преобразуют (выпрямляют) переменный ток промышленной частоты в постоянный. Выпрямитель включает понижающий трансформатор, полупроводниковые элементы, пускорегулирующую и измерительную аппаратуру.

В ремонтном производстве применяют германиевые, селеновые и кремниевые выпрямители, однако наибольшее применение нашли последние, которые плавно изменяют ток в пределах  $10...100 \%$  с погрешностью  $\pm 10 \%$ .

Освоен выпуск более совершенных тиристорных выпрямителей сер. ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР и ТВИ, обладающих меньшими пульсацией выпрямленного тока и габаритными размерами, большими КПД и точностью стабилизации тока и напряжения. Буквы в названии серий обозначают: Е – охлаждение естественное воздушное; В – охлаждение водяное; Р – реверсивный; И – импульсный. Характеристики некоторых выпрямителей приведены в табл. 3.76.

3.76. Основные данные выпрямителей

Выпрямители	Номинальные параметры		КПД, %	Габариты в плане, мм	Масса, кг
	Ток, А	Напряжение, В			
1	2	3	4	5	6
<i>Кремниевые</i>					
ВАК-100-12У4	100	12/6	78	$580 \times 570$	190
ВАКР-100-12У4		24/12			
ВАКР-320-18У4	320	18/9	79	$870 \times 530$	230
ВАК-630-24У4	630	24/12	88	$1085 \times 600$	550

Продолжение табл. 3.76

1	2	3	4	5	6
ВАК-1600-12У4	1600	12/6	82	870 × 530	260
ВАК-3200-12У4	3200		83	1290 × 820	1100
Тиристорные					
ТЕ1-100/12Т-0	100	12	78	600 × 400	135
ТЕ1-400/12Т-0	400		82	1000 × 400	315
ТК1-800/12Т-0	800		83	1000 × 600	380
ТВ1-1600/12Т-0	1600				510
ТЕР1-400/12Т-0	400		82	1000 × 400	345
ТВР1-1600/24Т-0	1600		83	1000 × 600	525
ТВИ1-1600/24Т-0		24	87		670

Перемещение подвесок с деталями между позициями загрузки, ваннами и позициями разгрузки выполняют вручную или с помощью автооператоров.

#### 3.11.4. Основы электрокристаллизации и кинетика осаждения покрытий

Электролит у поверхности катода насыщен положительными ионами металла, а поверхность катода несет поверхностный электрический отрицательный заряд из электронов. Ионы металлов в растворе находятся в составе сольватов. Противоположные по знаку заряды образуют вследствие электростатического притяжения на границе металл – раствор двойной электрический слой с напряженностью до  $10^7$  В/см. Восстанавливающийся ион металла преодолевает этот слой и приобретает большую скорость на входе в строящуюся на катоде кристаллическую решетку, что объясняет ее неравновесное строение с измененными параметрами. В образовании кристаллической решетки участвуют также различные включения как металлические, так и неметаллические в виде гидроксидов, воды, водорода и поверхностно-активных веществ.

Сложные катодные и анодные процессы электролиза протекают в несколько стадий:

- перенос ионов вместе с сольватной оболочкой путем диффузии, конвекции и миграции из глубины раствора к наружной поверхности двойного электрического слоя;



– переход ионов на границе фаз со стороны электролита к металлу, при этом происходят частичная десольватация металлических ионов, прохождение их через двойной электрический слой, адсорбция и разряд на поверхности электрода (собственно электрохимическая реакция);

– движение атомов по поверхности электрода к местам роста и образования кристаллической решетки, внедрение атомов в эту решетку.

Электрохимические процессы в неравновесной системе протекают за счет потребления электрической энергии. Электролиз происходит тогда, когда к электродам приложено напряжение, превышающее равновесный потенциал. Потенциал электрода под током зависит от природы системы, ее температуры и давления, а также от силы тока, проходящего через электролит. Разность между катодным потенциалом  $\varphi_k$  (или анодным) и потенциалом электрода в отсутствие электрического тока (равновесным потенциалом)  $\varphi_p$  называется поляризацией  $\Delta\varphi$ , В:

$$\Delta\varphi = \varphi_k - \varphi_p. \quad (3.49)$$

Различают три основные составляющие поляризации: концентрационную  $\Delta\varphi_{\text{кн}}$ , химическую  $\Delta\varphi_{\text{хм}}$  и кристаллизационную  $\Delta\varphi_{\text{кр}}$ :

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{\text{кн}} + \Delta\varphi_{\text{хм}} + \Delta\varphi_{\text{кр}}. \quad (3.50)$$

Концентрационная составляющая поляризации  $\Delta\varphi_{\text{кн}}$  объясняется обеднением прикатодного слоя электролита ионами металла и обогащением прианодного слоя электролита этими ионами и определяется по формуле Нернста:

$$\Delta\varphi_{\text{кн}} = -\frac{RT}{ZF} \ln \frac{C_0}{C_k}, \quad (3.51)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 Дж/(кмоль·К);  $Z$  – валентность катиона;  $F$  – число Фарадея, составляющее 96 484 Кл/(моль·экв.);  $C_0$  – концентрация ионов вдали от электрода в общем объеме электролита, г/л;  $C_k$  – концентрация тех же ионов в прикатодном слое, г/л.

Химическая составляющая поляризации  $\Delta\varphi_{\text{хм}}$  возникает за счет замедления отдельных этапов катодной реакции. Скорость электрохимической реакции определяется стадией, протекающей с наименьшей скоростью. Любое торможение одной стадии повышает поляризацию катода, и

его потенциал сдвигается в отрицательную сторону. Обычно это связано с переходом ионов через двойной электрический слой и освобождением ионов от сольватной оболочки или от комплексообразующих. Эта составляющая определяется по формуле Тафеля:

$$\Delta\varphi_{\text{хм}} = a + b \log D_{\text{к}}, \quad (3.52)$$

где  $a$  и  $b$  – константы, характеризующие условия электролиза.

Адсорбция ионов на катоде с последующим вступлением в кристаллическую решетку может быть причиной кристаллизационной поляризации, которая обратно пропорциональна току обмена.

Взаимосвязь между кристаллизационной поляризацией, током обмена и величиной зерна хорошо прослеживается при осаждении металлов из растворов простых солей, так как в этом случае другие виды поляризации незначительны.

Все металлы в зависимости от величины кристаллизационной поляризации могут быть разбиты на три группы: 1) серебро, кадмий, олово и др.; 2) висмут, медь и цинк; 3) кобальт, железо, никель.

Металлы первой группы, имеющие сравнительно большой ток обмена ( $10^{-2} \dots 10^{-1}$  А/см<sup>2</sup>) осаждаются с очень малой поляризацией – порядка нескольких милливольт. При плотности тока, применяемой в гальванотехнике, образуются крупнокристаллические покрытия с зернами размером в десятки микрометров.

Висмут, медь и цинк имеют более удовлетворительные осадки. Величина зерна у них  $10^{-3} \dots 10^{-2}$  мм. Ток обмена намного меньше:  $10^{-5} \dots 10^{-1}$  А/см<sup>2</sup>, а поляризация равна  $10^{-2}$  В.

Кобальт, железо, никель осаждаются в виде мелких кристаллов величиной  $10^{-4} \dots 10^{-3}$  мм. Токи обмена у них очень малы:  $10^{-8} \dots 10^{-9}$  А/см<sup>2</sup>. Поляризация достигает 0,1 В.

Перемешивание электролита, повышение температуры и концентрации осаждаемого вещества и другие факторы, облегчающие подачу ионов к катоду, снижают поляризацию.

Электролитические осадки по свойствам и строению отличаются от металла, полученного в обычном металлургическом процессе. Изменение свойств металла обусловлено особенностью катодного процесса его получения.

Структура покрытия зависит от катодной поляризации. Чем выше эта поляризация, тем мельче зерно. Поэтому все факторы, увеличивающие поляризацию, благоприятно сказываются на структуре покрытия.

Образование и рост кристаллов подчиняются общим закономерностям образования твердой фазы расплава или раствора. Электрокристаллизация проходит две фазы: возникновение центров кристаллизации и рост этих центров. Каждая из этих фаз характеризуется определенной скоростью, зависящей от технологических факторов процесса. В том случае, когда скорость образования новых центров кристаллизации превышает скорость роста уже появившихся кристаллов, образуется большее число мелких кристаллов (осадок приобретает мелкокристаллическую структуру). При обратном соотношении скоростей возникают более крупные кристаллы. Структура осажденных металлов – один из признаков, определяющих качество покрытий. Покрытия, имеющие мелкокристаллическую структуру, наиболее работоспособны.

Чем больше катодная поляризация, тем чаще возникают новые центры кристаллизации, а покрытие приобретает мелкокристаллическую структуру. Катодный ток непрерывно блуждает по элементарным площадкам катода вслед за появлением новых кристаллов. Вокруг растущего кристалла раствор обедняется ионами металла, вследствие чего линии тока перераспределяются и металл начинает осаждаться на тех участках катода, где массовая доля ионов выше.

К повышению катодной поляризации приводят:

- уменьшение массовой доли ионов осаждаемого металла;
- добавление в электролит кислот и солей, переносящих заряды, но осадении не участвующих;
- добавка в электролит органических веществ (гуммиарабика, декстрина, желатина, фенола, глицерина и др.), образующих коллоидные или молекулярные растворы, которые блокируют поверхность растущих кристаллов;
- рост плотности тока;
- уменьшение площади электродов и температуры электролита. Перемешивание электролита снижает катодную поляризацию, в этом случае возможно повышение плотности тока при понижении температуры раствора.

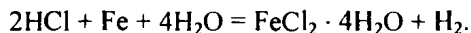
Плотность дислокаций в гальваническом покрытии  $10^{11} \dots 10^{12} \text{ см}^{-2}$ .

Повышение равномерности покрытий обеспечивается применением кранирующих устройств. Использование устройств снижает затраты металла на дендритообразование в 3...5 раз, а длительность электролиза и расход электроэнергии уменьшаются при этом в 1,5...2,0 раза. Затраты на ведение мероприятий  $\leq 1\%$  себестоимости восстановления детали.

### 3.11.5. Железнение

Процесс применяют при восстановлении наружных и внутренних поверхностей деталей, изношенных на 0,2...0,3 мм и требующих высокой поверхностной твердости. Восстанавливают трущиеся шейки и шейки под неподвижные посадки, поверхности отверстий под втулки и обоймы подшипников в стаканах и корпусных деталях и другие элементы. Для железнения, например, применяют комплект оборудования ОГ-10591 ГОСНИТИ.

В качестве электролита при железнении (табл. 3.77) наиболее распространен раствор хлористого железа (300...500 г/л) и соляной кислоты (2...3 г/л) в воде. Присутствие свободной HCl предупреждает образование гидроксидов, которые загрязняют электролит и снижают качество покрытия. Раствор хлористого железа готовят травлением стальной стружки в соляной кислоте в результате реакции



Для поддержания необходимой массовой доли ионов железа применяют растворимые аноды из армко-железа, площадь которых меньше площади катодов примерно в 2 раза. Аноды при работе помещают в мешки из стеклоткани для уменьшения загрязнения электролита.

Горячие электролиты (температура > 50 °С) требуют большого расхода энергии, частой корректировки концентрации электролита и эффективного удаления паров с помощью вентиляции. Однако они получили большое распространение как более производительные по сравнению с холодными электролитами.

3.77. Состав распространенных электролитов и режимы железнения

Компоненты и параметры режима	Номер электролита		
	1	2	3
Хлористое железо, г/л	300...350	400...600	150...200
Сернистое железо, г/л	—	—	200
Аскорбиновая кислота, г/л	—	0,5...2,0	—
Кислотность, pH	0,8...1,2	0,5...1,3	0,6...1,2
Температура электролита, °С	70...80	20...50	30...50
Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	20...50	10...30	20...25
Выход по току, %	85...95	85...92	85...92

Серноокислые электролиты по сравнению с хлористыми подвержены окислению и менее агрессивны по отношению к материалу заготовки. Хлористые электролиты отличаются повышенным содержанием железа и большей активностью ионов, что позволяет значительно повысить допустимую плотность тока (до 60 А/дм<sup>2</sup>). Доведение температуры электролита до 90...95 °С дает возможность получать пластичные покрытия с меньшими внутренними напряжениями.

Во время электролиза на электродах протекают следующие процессы: восстановление на катоде – разряд ионов железа  $\text{Fe}^{2+} + 2e = \text{Fe}$ , выделение водорода  $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$ , восстановление трехвалентного железа  $\text{Fe}^{3+} + e = \text{Fe}^{2+}$ ; окисление на аноде – растворение железа  $\text{Fe} - 2e = \text{Fe}^{2+}$ , окисление двухвалентного железа  $\text{Fe}^{2+} - e = \text{Fe}^{3+}$ , выделение кислорода.

Катодная плотность тока при железнении 5...15 А/дм<sup>2</sup>. Выход по току 85...95 %.

Электролитическое железо по составу приближается к малоуглеродистой стали с 0,03...0,06 % С, однако его кристаллическая решетка напряжена, а по своим физико-механическим свойствам осадки близки к закаленной стали.

Сплавы железа с никелем, хромом, марганцем и другими металлами обладают повышенной износо- и коррозионной стойкостью покрытий. Для получения сплава Fe–Ni, например, используют электролит состава (г/л):  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (120...200),  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (100),  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (30). Кислотность электролита  $\text{pH} = 2,5...3,0$ . Режим работы: температура электролита 70...80 °С, катодная плотность тока 20...30 А/дм<sup>2</sup>. Выход по току 80...90 %. Максимальную твердость (7000 МПа) имеют сплавы, содержащие в осадке 35...45 % Fe.

Легирование железа марганцем и фосфором значительно улучшает износостойкость осадка. С увеличением марганца в покрытии износостойкость и твердость последнего растут. Применяют электролит состава (г/л): хлористое железо (400...500), хлористый марганец (30...80), гипофосфит натрия (10...20). Режим процесса: температура электролита 40...60 °С, катодная плотность тока 40...50 А/дм<sup>2</sup>. Покрытия при этих условиях содержат до 4 % Р и 2 % Мп. Их отпуск при температуре 250...350 °С и выдержка в течение 1 ч способствуют образованию фосфидов железа в виде субмикроскопических выделений. Твердость осадков при этом увеличивается с 7500 до 9000 МПа, а их износостойкость в 2 раза превышает износостойкость закаленной стали 45.

### 3.11.6. Хромирование

Процесс применяют для восстановления наружных и внутренних поверхностей деталей с износами до 0,2 мм и с высокими требованиями к износостойкости.

При хромировании применяют универсальный электролит состава (табл. 3.78): хромовый ангидрид  $\text{CrO}_3$  (200...250 г/л), серная кислота (2...2,5 г/л) с выходом по току 12...14 %. Удовлетворительные хромовые покрытия получаются лишь в присутствии ионов  $\text{SO}_4$  или  $\text{SiF}_6$  в строго определенном соотношении и с применением нерастворимых свинцово-сурьмянистых анодов, в которых содержание сурьмы достигает 6 %. Постоянная массовая доля ионов  $\text{SO}_4$  поддерживается за счет присутствия в растворе труднорастворимого сульфата стронция  $\text{SrSO}_4$ . Такие электролиты называют саморегулирующимися. Добавление в раствор кремнефторида калия  $\text{K}_2\text{SiF}_6$  делает электролит саморегулирующимся как по

3.78. Состав электролитов и режимы хромирования

Компоненты и параметры режима	Номер электролита				
	1	2	3	4	5
Хромовый ангидрид, г/л	120...150	220...250	300...350	225...300	380...420
Серная кислота, г/л	1,2...1,5	2,2...2,5	3...3,5	—	—
Сернокислый стронций, г/л	Не применяются			5,5...6,5	
Кремнефтористый калий, г/л				18...20	
Углекислый кальций, г/л				—	40...60
Сернокислый кобальт, г/л					18...20
Температура электролита, °C	50...65	45...60	40...50	50...65	18...25
Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	30...100	20...60	15...30	40...100	100...300
Выход по току, %	15...18	12...14	8...10	18...20	35...40

ионам  $\text{SO}_4$ , так и по ионам  $\text{SiF}_6$ . Подобный электролит отличается повышенными стабильностью и выходом по току. Катодная плотность тока при хромировании в таких условиях 35...100 А/дм<sup>2</sup>, а выход по току 35...40 %. При использовании хлоридных электролитов выход по току достигает 55...60 %.

Малоконцентрированный электролит № 1 отличается лучшей рассеивающей способностью и удовлетворительным выходом по току. Покрытия, полученные в нем, характеризуются высокой твердостью и износостойкостью. Однако электролит нуждается в частом добавлении хромового ангидрида.

Электролит № 2 называют универсальным, с его помощью получают как твердые износостойкие покрытия, так и покрытия с хорошими защитно-декоративными свойствами.

Концентрированный электролит № 3 используют при защитно-декоративном хромировании деталей сложной формы. Ему свойственны низкий выход по току и плохая рассеивающая способность.

Электролит № 4 является саморегулирующимся, хотя он не получил широкого распространения.

Саморегулирующийся электролит № 5 обладает высоким выходом по току и скоростью осаждения хрома (0,18...0,50 мм/ч). Однако для поддержания указанной температуры при высокой плотности тока требуется мощный холодильный аппарат.

Во время хромирования на катоде одновременно протекают три процесса: восстановление шестивалентного хрома до трехвалентного  $\text{Cr}^{6+} + 3e = \text{Cr}^{3+}$ , выделение водорода  $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2$ , осаждение металлического хрома  $\text{Cr}^{6+} + 6e = \text{Cr}$ . На аноде выделяется газообразный кислород и окисляется трехвалентный хром до шестивалентного  $\text{Cr}^{3+} - 3e = \text{Cr}^{6+}$ .

Электролитический хром по внешнему виду бывает блестящий, молочный или серый. Блестящий хром имеет высокие твердость (6000...9000 МПа) и износостойкость, хрупкость и внутренние напряжения. На его поверхности видны под микроскопом мелкие пересекающиеся трещины. Молочный хром отличается повышенной износостойкостью, большой вязкостью и пониженной твердостью (4000...6000 МПа). Сетка трещин на нем отсутствует. Серый хром – очень твердый (9 000...12 000 МПа) и хрупкий металл, имеющий из-за хрупкости пониженную износостойкость. При восстановлении деталей используют блестящие и молочные осадки.

Получение осадков различных видов обусловлено условиями электролиза. Блестящие покрытия получают при температуре электролита 45...65 °С, а молочные – при температуре  $\geq 65$  °С в широком диапазоне плотностей тока. Серый хром получают при низкой температуре электролита и высокой плотности тока.

Пористые износостойкие хромовые покрытия получают в результате дополнительной анодной обработки после нанесения покрытия перед извлечением заготовок из ванны.

### 3.11.7. Цинкование

Цинковые покрытия характеризуются пластичностью и невысокой твердостью (500...600 МПа). Их применяют для защиты деталей из черных металлов от коррозии и для восстановления поверхностей отверстий малонагруженных деталей. Электролиты цинкования приведены в табл. 3.79. Аноды цинкования выполняют из цинка Ц0, Ц1 и Ц2.

3.79. Состав электролитов и режимы цинкования

Компонент и параметр режима	Номер электролита		
	1	2	3
Сернокислый цинк, г/л	200...30	–	–
Оксид цинка, г/л	–	12...15	10...20
Едкий натр, г/л	–	100...120	–
Сернокислый натрий, г/л	50...100	–	–
Сернокислый алюминий, г/л	30...50	–	–
Хлористый аммоний, г/л	–	–	200...300
Декстрин, г/л	8...10	–	–
Борная кислота, г/л	–	–	25...30
Мездровый клей, г/л	–	–	1...2
Полиэтиленполиамин, г/л	–	2...4	–
Тиомочевина, г/л	–	0,5	–
Кислотность, рН	3,5	–	5,9...6,5
Температура электролита, °С	15...25	18...25	15...30
Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	1...2	1...2	0,5...1,5



В восстановительном производстве применяют кислые (№ 1) и щелочные (№ 2 и 3) электролиты. В свою очередь, электролит № 2 является цинкатным, а электролит № 3 – аммиакатным. Для увеличения плотности тока электролит перемешивают. Кислые электролиты обладают плохой рассеивающей способностью, а покрытия, полученные из них, меньшей коррозионной стойкостью, чем полученные в щелочных электролитах. В то же время кислые электролиты более долговечны и допускают применение токов большей плотности с выходом по току, близким к единице. Сейчас чаще применяют щелочные цинкатный (№ 2) и аммиакатный (№ 3) электролиты. Они просты по составу, дешевы, обладают высокой электропроводностью и хорошей рассеивающей способностью.

При создании ремонтных заготовок распространено электроконтактное цинкование в электролите, содержащем 280...300 г/л сернокислого цинка и 20...40 г/л борной кислоты. Процесс начинают при плотности тока 30...50 А/дм<sup>2</sup>, которую постепенно доводят до 200 А/дм<sup>2</sup>. Скорость перемещения анодного тампона относительно восстанавливаемой поверхности 10 м/мин.

Мелкие крепежные детали цинкуют во вращающихся колокольных или барабанных ваннах. Частота их вращения 8...15 об/мин.

### **3.11.8. Гальванические композиционные покрытия**

Активно внедряется в восстановительное производство нанесение гальванических композиционных хромовых, никелевых и железных покрытий. Возможно получение композиционных слоев из многих известных электролитов в присутствии мелкодисперсных порошков полимеров, карбидов, оксидов, боридов и др. При максимальной концентрации порошков в электролитах можно получить до 30...40 % гетерогенности покрытий, что положительно сказывается на их физико-механических и эксплуатационных свойствах. Технология электроосаждения позволяет получать композиционные покрытия толщиной > 100 мкм с возможным регулированием их структуры и свойств.

При нанесении композиционных электрохимических покрытий на основе хрома используют ультрадисперсные алмазные добавки размером ~ 4 нм, массовая доля которых в покрытии достигает 2 %. Добавки обеспечивают большой эффект упрочнения. На режимах блестящего хромирования частицы модификатора внедряются в покрытие в виде скоплений размером 100...200 нм. Возможно, что это связано с агрегатированием частиц под действием ионных сил электролита.

На рабочие поверхности деталей, работающих в жестких условиях коррозионно-механического изнашивания, целесообразно наносить тонкие полимерные пленки. Это способствует снижению изнашивания на 45...48 % такого материала по сравнению с базовым покрытием при трении в условиях граничной смазки, износ контртела при этом уменьшается в 1,5...3,0 раза.

### 3.11.9. Микродуговое оксидирование

*Микродуговое оксидирование* основано на использовании особенностей электрохимических и микроплазменных процессов и позволяет получать на поверхности вентильных металлов (алюминия, титана, циркония, тантала и др.) оксидные покрытия.

В восстановительном производстве нашло применение микродуговое оксидирование деталей из алюминиевых сплавов (Д16Т, АМг, АМц и др.). На поверхности деталей формируются керамические покрытия, в состав которых входят оксиды  $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ . Толщина покрытий достигает 60 мкм, а шероховатость поверхности  $Ra$  0,63 мкм. В ряде случаев механическую обработку после нанесения покрытий не проводят.

При микродуговом оксидировании используют три вида электролитов:

- 1) растворы кислот или щелочей, в которых преобразование слоев металла направлено вглубь за счет его окисления;
- 2) растворы жидкого стекла, анионы которого формируют покрытие, растущее наружу;
- 3) смесь растворов первого и второго видов, где покрытие формируется как вглубь металла, так и наружу за счет окисления металла и осаждения анионов.

Наиболее перспективным оказался электролит третьего вида из щелочи КОН (0,5...3,0 г/л) и жидкого стекла  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (6...20 г/л). Температура электролита 40...50 °С, его кислотность  $\text{pH} = 7...12$ , плотность тока 10...25 А/дм<sup>2</sup>, а продолжительность процесса 1,5...2,0 ч. Анодная составляющая напряжения на третьей – восьмой минутах должна быть ~ 200 В, а катодная ~ 60 В. По мере протекания процесса анодная составляющая напряжения должна возрастать. В этом случае можно восстанавливать малоизношенные детали и упрочнять их большую номенклатуру. Микротвердость покрытий 5 000...11 000 МПа, а их износостойкость в несколько раз превышает износостойкость неупрочненных сплавов.

Для восстановления деталей из сплава АЛ9 применяют электролит состава: 0,9...1,1 КОН, 10...14 г/л  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . При плотности тока 25...

30 А/дм<sup>2</sup> скорость осаждения покрытия достигает 30...50 мкм/ч. Расстояние между электродом и деталью 10...15 мм. После 2 ч нанесения покрытия и снятия внешнего рыхлого слоя остается твердое покрытие толщиной 50 мкм.

По причине значительного тепловыделения при микродуговом окислении электролит может нагреться до кипения, поэтому ванну снабжают рубашкой водяного охлаждения. При испарении электролита его уровень повышают добавлением дистиллированной воды.

Механическую обработку покрытий ведут абразивным инструментом на эластичной связке.

### 3.11.10. Средства интенсификации процессов нанесения покрытий

Скорость электрохимической реакции определяется массой осажденного металла или ростом толщины покрытия в единицу времени. Последний показатель  $v$ , мм/ч, найдем, если разделим обе части выражения (3.47) на  $t$ :

$$v = \frac{h}{t} = \frac{CD_k \alpha}{10\gamma}. \quad (3.53)$$

Электрохимический эквивалент  $C$  и плотность  $\gamma$  зависят от природы осаждаемого металла и для каждого металла постоянны. Таким образом, производительность гальванического процесса будет тем выше, чем выше плотность тока и выход металла по току.

Имеются два основных направления повышения качества и производительности процесса:

- совершенствование и разработка новых электролитов и технологических процессов, способствующих повышению  $D_k$  и  $\alpha$ ;
- сокращение числа подготовительных и заключительных операций.

Как средство повышения производительности процесса (за счет повышения катодной плотности тока) и качества покрытий применяют: новые электролиты, принудительную циркуляцию электролита в зоне электролиза и повышение его температуры, нестационарные токи, наложение на зону осаждения покрытия ультразвуковых колебаний или электромагнитного поля (в том числе с переменной напряженностью), изменение давления на зеркало ванны, механическое и гидроабразивное активирование. В ряде случаев эти факторы позволяют более эффективно управлять формообразованием и получать покрытия с заданными свойствами.

Одним из эффективных путей снижения энергопотребления при осаждении покрытий является повышение концентрации солей металлов, что в сочетании с внесением различных добавок катионного и анионного типов обеспечивает высокий выход металла по току (для хромирования до 42 %) в широком интервале плотностей катодного тока (90... 200 А/дм<sup>2</sup>). Разработаны высокопроизводительные малоокисляющиеся электролиты железнения.

Применение периодических токов (реверсивного, асимметричного и импульсного) вместо постоянного тока (рис. 3.48, *a – в*) позволяет изменением параметров прямого и обратного импульсов значительно уменьшить ограничения по массовой доле составляющих электролита, повысить рабочую плотность тока и прочность соединения покрытия с основой, в широких пределах управлять их свойствами. При технологических расчетах используют эффективную силу тока  $i_{эф}$ , А, значение которой равно

$$i_{эф} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt, \quad (3.54)$$

где  $i(t)$  – текущее значение тока (А) в функции от времени  $t$ (с);  $T$  – период тока, с.

Для питания гальванических ванн асимметричным током служит приставка 0013-013 Ремдеталь. Она представляет собой шкаф с панелью управления. Приставка работает с выпрямителем серий ВАК. Шкаф включает: релейную часть, задатчик тока, органы управления и контроля. Принцип работы приставки основан на обратном включении одного из тириستоров питания сер. ВАК по отношению к другому. Приставка имеет три исполнения в зависимости от пределов регулирования тока. Первое – третье исполнения приставки обеспечивают регулирование анодной и катодной составляющих в пределах соответственно 0...30; 0...60 и 0...100 А.

Действие анодных импульсов обратного тока в зависимости от создаваемой ими поляризации заключается в частичном растворении покрытия и обогащении прикатодного слоя ионами металла или в пассивации осадка.

В первом случае катодный потенциал за время действия обратного импульса тока уменьшается до значения меньше стационарного потенциала, т.е. катодное пересыщение становится отрицательным, что приводит к растворению осадка. К тому же активизируются участки катода.

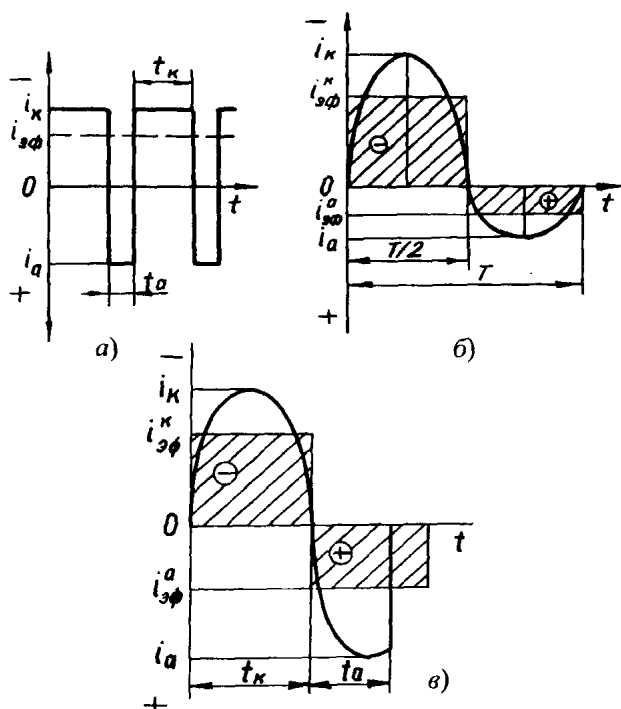


Рис. 3.48. Нестационарные токи при электролизе:

$i_k$  — катодный ток;  $i_a$  — анодный ток;  $i_{эф}$  — эффективная сила тока;

$i_{эф}^k$ ,  $i_{эф}^a$  — эффективные силы соответственно катодного и анодного тока;

$t_k$ ,  $t_a$  — длительность соответственно катодного и анодного импульса;

$T$  — период действия переменного тока;  $t$  — текущее время

Вследствие этого поверхность становится энергетически однородной и активной для появления новых центров кристаллизации и равномерного осаждения металла при последующем катодном импульсе. В этом случае снижаются число дефектов кристаллической решетки и содержание примесей в осадке. При относительно большой плотности тока в обратных импульсах ( $i_a > 0,5i_k$ ) и значительной длительности их протекания (скважность  $> 8$ ) растворяются не только грани растущих кристаллов, но и границы зерен. В результате осадки получают крупнокристаллическими, обладающими большой пластичностью и невысокими внутренними напряжениями.

Во втором случае катодное пересыщение за время действия анодного импульса падает до нуля (оптимальный случай) или до некоторого положительного значения.

Наиболее эффективны периодические токи при широтно-частотном их регулировании вместо амплитудного. При этом длительность обратного импульса не должна быть больше продолжительности разряда двойного электрического слоя, образующегося на границе металл – раствор [например, при холодном железнении длительность катодного импульса  $t_k = (21 \dots 30) \cdot 10^{-3}$  с, анодного  $t_a = (0,7 \dots 1,5) \cdot 10^{-3}$  с].

Резкий сброс тока до нуля позволяет фиксировать состояние, полученное за время действия катодного импульса. Образующиеся за время паузы оксидные и солевые пленки блокируют активные участки поверхности, затрудняя нормальный рост кристаллов. Продолжение последнего возможно при последующем повышении пересыщения до значения, при котором возникают новые зародыши и на неактивных местах. Все это приводит к формированию в осадках мелкокристаллической структуры с большой плотностью точечных и линейных дефектов и, соответственно, к повышенным значениям микротвердости и прочности на разрыв.

Интенсифицировать процесс и уменьшить время нанесения покрытия можно за счет движения электролита относительно покрываемой поверхности в турбулентном режиме (гальваномеханический способ). Такое движение электролита можно создать введением в межэлектродное пространство вращающейся пластмассовой перфорированной перегородки. При скорости движения обода перегородки 2...3 м/с в холодном электролите железнения при массовой доле хлористого железа 580...620 г/л и  $\text{pH} = 0,6 \dots 0,8$  можно достичь плотности тока 150...200 А/дм<sup>2</sup>, а скорости осаждения покрытия, равной 1,5...2,0 мм/ч. При этом уменьшаются дендритообразование и шероховатость покрытия, повышается его равномерность. Активирование восстанавливаемой поверхности и перемешивание электролита при хромировании позволяют повысить плотность тока до 1000 А/дм<sup>2</sup>, а скорость осаждения покрытий возрастает в 20...50 раз и достигает 3,6 мм/ч. Выход по току при этом 50...55 %.

Производительность процесса можно увеличить непрерывным обогащением прикатодного слоя ионами осаждаемого металла и исключением его защелачивания.

Различают подачу электролита в катодно-анодное пространство под напором, газолифтную и эжекторную (рис. 3.49).

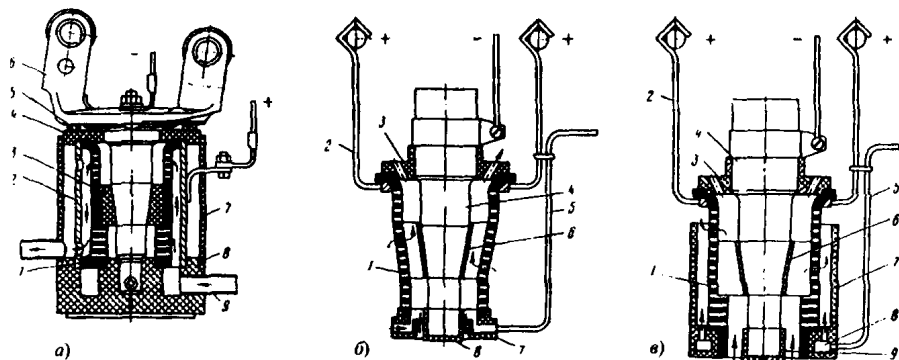


Рис. 3.49. Схема подачи электролита в электролитическую ячейку:

– под напором (1 – анод; 2 – гильза анода; 3 – втулка; 4 и 8 – центрирующие рышки; 5 – прокладка; 6 – деталь; 7 – кожух; 9 – воздухопровод); б – газолифтная (1 – анод; 2 – анодный контакт; 3 – центрирующая шайба; 4 – деталь; 5 – воздухопровод; 6 – втулка; 7 – воздухораспределительное устройство; 8 – колпак); – эжекторная (7 – экран; 8 – эжектор; 9 – колпак; остальные обозначения те же, что и на рис. 3.49, б)

Сущность подачи электролита *под напором*, которая реализуется при вневанных способах электролиза, состоит в том, что с помощью напорной установки электролит подается в катодно-анодное пространство груями через систему входных отверстий диаметром 2,4...2,6 мм, а отводится через систему выходных отверстий диаметром 2,8...3,0 мм, выполненных в аноде. Площадь всех отверстий составляет 4,8 % площади рабочей поверхности анода.

Система входных отверстий обеспечивает равномерный подвод электролита ко всей восстанавливаемой поверхности детали, а система выходных отверстий позволяет одновременно и равномерно отводить отработавший электролит и побочные продукты электролиза из анодно-катодного пространства. Такой характер циркуляции электролита способствует его обновлению и ускоренному отводу газов, повышению проводимости электролита и уменьшению наводороживания обрабатываемых деталей. Усталостная прочность снижается не более чем на 5 %. Обеспечиваются меньшие остаточные напряжения и небольшое наводороживание.

При *газолифтной* подаче электролита в зону электролиза создается принудительная циркуляция электролита в межэлектродном пространстве за счет всплывания пузырьков отфильтрованного воздуха. Проходя с

большой скоростью, воздух увлекает свежий электролит из ванны и перемещает его через отверстия в аноде в анодно-катодное пространство.

*Эжекторная* подача электролита в зону электролиза заключается в том, что интенсивная циркуляция электролита создается в результате перепада давлений в анодно-катодном пространстве. Это достигается пропусканием отфильтрованного сжатого воздуха снаружи перфорированного анода снизу вверх.

Проточные способы нанесения гальванопокрытий повышают производительность процесса в 3,5...4,0 раза, обеспечивают высокую равномерность и толщину покрытия до 1 мм без дендритов, допускают нанесение покрытия в размер, снижают содержание водорода в покрытии и повышают его качество (обеспечивают мелкую структуру, более высокую твердость и меньшие остаточные напряжения), снижают усталостную твердость только на 4...5 %.

Заслуживает возрождения *электроконтактный способ* нанесения покрытий (электронатирание). Способ обеспечивает меньший расход ресурсов, нанесение покрытий в размер с сокращением или исключением их механической обработки. Область применения способа – создание ремонтных заготовок при восстановлении корпусных деталей и крупногабаритных валов.

Разработана установка для электронатирания 0113-006 Ремдеталь, которая предназначена для восстановления поверхностей отверстий способом вневанного железнения. Установка включает в себя: вращатель; ванны для приготовления электролита, обезжиривания и железнения; электрический шкаф; насосный агрегат Х2/40 и выпрямительный агрегат ВАКР-630-12У4. Производительность нанесения покрытия при толщине слоя 1 мм составляет  $\geq 0,1 \text{ м}^2/\text{ч}$ .

Снижение трудоемкости процесса, уменьшение потребления энергии, химикатов и воды возможно за счет сокращения числа подготовительных и заключительных операций.

Применительно к железнению доказана возможность анодного травления стальных и чугунных деталей с одновременной очисткой их поверхности от травильного шлама непосредственно в хлористом электролите железнения. После операции детали не промывают водой. Эффективно обезжиривание заготовок венской известью вместо электрохимического обезжиривания с последующей промывкой в замкнутой системе водоснабжения.

Используется электролиз при пониженном давлении среды на зеркало ванны. Изменение кинетики взаимодействия металла и водорода в этом случае на поверхности осаждения покрытия уменьшает пористость



(трещиноватость) осадка, значительно увеличивает прочность соединения покрытия с основой и рассеивающую способность электролита. Над ванной исчезает туман, что улучшает экологическую обстановку.

Перспективно создание установок для нанесения гальванических покрытий, в которых заготовка помещается в агрегат гальванической обработки, а технологические среды и ток поочередно подаются в электролизные ячейки.

### 3.11.11. Свойства гальванических покрытий

При выборе режимов нанесения покрытий учитывают общие для большинства гальванических процессов положения: чем выше катодная плотность тока, тем больше скорость осаждения металла и производительность процесса; чем ниже температура и массовая доля составляющих электролита и выше плотность тока (жесткий режим), тем тверже покрытия и меньше достижимая их толщина; чем выше температура и массовая доля составляющих электролита, тем большую плотность тока можно допустить без ущерба для качества покрытий.

Поляризуемость восстанавливаемой поверхности, зависящая от температуры, концентрации и скорости электролита, плотности и формы тока, других факторов, оказывает определяющее влияние на структуру покрытий.

Служебные свойства деталей, восстановленных нанесением гальванических покрытий, определяются: прочностью соединения покрытия с поверхностью детали, твердостью, износостойкостью, внутренними напряжениями и усталостной прочностью. Наиболее критичны для указанных свойств следующие величины процесса: плотность и вид тока, вид и массовая доля составляющих электролита, температура и скорость перемещения электролита у поверхности катода.

Прочность соединения покрытия с деталью зависит от подготовки восстанавливаемой поверхности, условий нанесения покрытия, структуры покрываемого материала, внутренних напряжений в покрытии и др.

На твердость покрытий влияют: температура, массовая доля компонентов электролита и катодная плотность тока (рис. 3.50 и 3.51). Однако рост твердости с повышением плотности тока происходит до определенного предела.

Наиболее износостойки те покрытия, которые имеют достаточную твердость и вязкость. Мелкокристаллическое строение и наличие пор на поверхностях, служащих масляными резервуарами, повышают износостойкость покрытий.

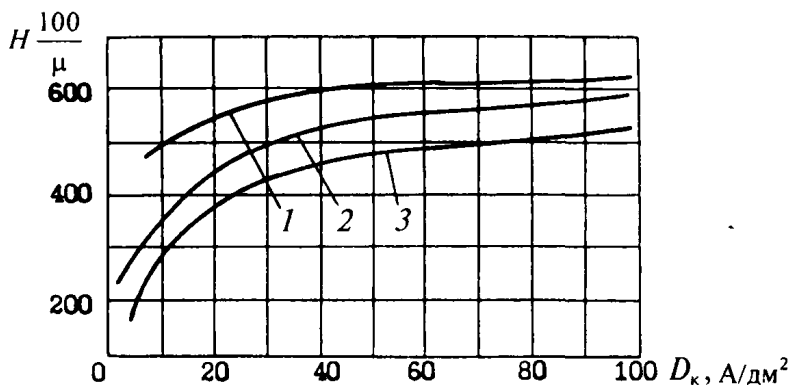


Рис. 3.50. Влияние плотности тока  $D_k$  и температуры электролита на твердость  $H_{\mu}^{100}$  железных покрытий. Температура электролита 60; 80 и 90 °С (соответственно кривые 1, 2, 3); массовая доля  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  равна 200 г/л

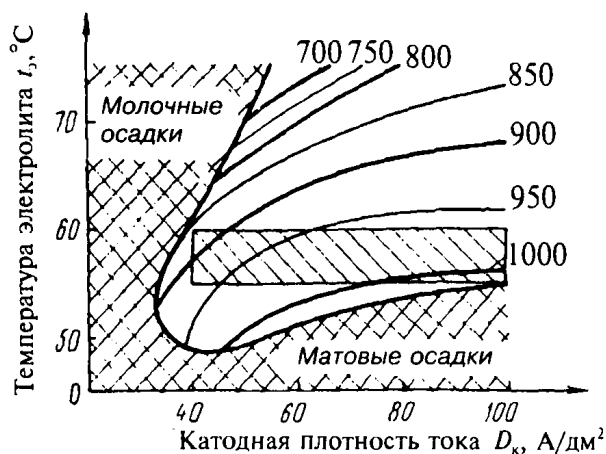


Рис. 3.51. График для выбора температуры электролита  $t$ , и катодной плотности тока  $D_k$  из саморегулирующегося электролита (цифры на кривых – микротвердость, кгс/мм<sup>2</sup>)

Внутренние напряжения в покрытиях оказывают большое влияние на твердость, усталостную прочность и прочность соединения с подложкой. На величине и знаке внутренних напряжений значительно сказывается режим электролиза. Покрытия, полученные при низкой температуре электролита, небольшой массовой доле его компонентов и высокой ка-

годной плотности тока, характеризуются напряженной структурой и большим запасом энергии, которая образуется из-за упругого смещения атомов от их равновесного положения. Силы, стремящиеся возвратить смещенные атомы в их равновесное состояние, и есть внутренние напряжения. Последние растут с увеличением толщины покрытий. Растягивающие внутренние напряжения приводят к уменьшению усталостной прочности.

### 3.11.12. Обезвреживание отходов гальванического производства

Сточные воды гальванического производства из ванн химической и электрохимической обработки и нанесения покрытий содержат различные токсичные химические вещества: свободные минеральные кислоты и щелочи, ионы тяжелых металлов, соединения шестивалентного хрома и др. Эти вещества представляют серьезную опасность окружающей среде (почве и воде).

Применяют ионообменные (катионитовые и анионитовые) фильтры для очистки стоков с созданием замкнутых систем водопользования. При этом не только достигаются нейтрализация кислотных или щелочных стоков и очистка их от ионов тяжелых металлов, но и значительно снижается общее солесодержание.

Наиболее эффективно отходы гальванического участка обезвреживаются в установке РВК 50-032М (рис. 3.52) с помощью коагулянта – гидроксида железа  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , который получают из стальных отходов и щелочи.

Обезвреживание отходов основано на их взаимодействии с гидроксидом железа с образованием смешанных кристаллов химических соединений, а также с протеканием сорбционных процессов.

Установка содержит блоки сбора сточных вод и концентратов, отделения загрязнений приготовления коагулянта, дозирования реагентов и безвреживания осадка. Блоки взаимодействуют друг с другом посредством трубопроводов и насосных агрегатов. Имеется пост управления. Основу установки составляет реактор-акселератор, в котором происходят осаждение шестивалентного хрома, перевод ионов тяжелых металлов в нерастворимые гидроксиды, нейтрализация кислот и щелочей, коагуляция гидроксидов из сточных вод.

Реактор-акселератор состоит из сборной 1, реакционной 2 и фильтационной 3 камер.

В камеру 1 подводятся сточные воды и реагенты. В камере 2 происходит основной процесс обезвреживания. Последняя камера разделена перегородкой 4 на две части: флокуляции *а* и отстойную *б*. В камере *а*

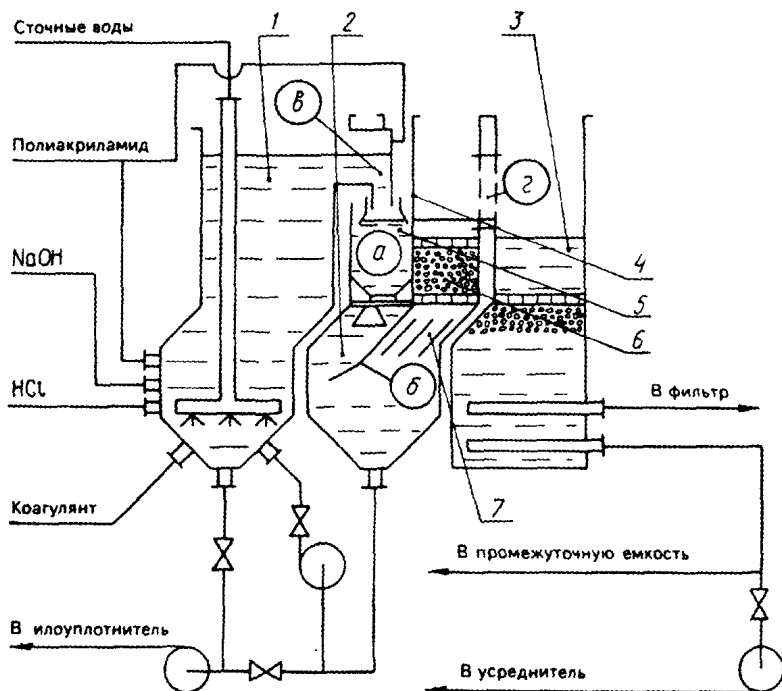


Рис. 3.52. Схема реактора-акселератора установки обезвреживания стоков гальванического участка

размещен флокулятор 5, а в камере 6 – отражательный фильтр 6 и тонкослойный отстойник 7. Пространство фильтра 6 заполнено вспененным полистиролом марки ПСВ или ПСВ-С. Через окно 2 предварительно отфильтрованные продукты реакции перетекают в фильтрационную камеру 3. Эта камера предназначена для финишного отделения взвесей гидроксидов из обезвреженной воды при прохождении ее через слой вспененного полистирола высотой 0,8...0,9 м.

Обезвреживание начинается в сливном трубопроводе сточных вод. При этом соединения шестивалентного хрома взаимодействуют с кислотными и щелочными отходами и преобразуются с помощью ионов двухвалентного железа в соединения трехвалентного хрома и гидроксидные соединения.

Сточные воды, реагенты и коагулянты подаются в камеру реакций 2, в которой составляющие при интенсивном перемешивании взаимодействуют между собой.

Щелочь или кислота применяется для корректирования pH, а 0,16%-ный раствор поликриламида используется как флокулятор.

Состав перетекает через патрубок в камеру 2. Ее содержимое поступает в камеру фильтрации 3, где взвеси гидроксидов отделяются от обезвреженной воды.

В производство возвращается до 70 % обезвреженной воды.

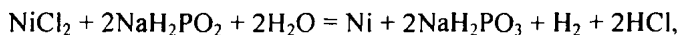
### 3.12. Нанесение покрытий химическим способом

*Химическим способом* наносят металлические покрытия на изношенные поверхности при их восстановлении и для коррозионной защиты, а неметаллические покрытия – для защиты поверхностей от коррозии и придания им диэлектрических и декоративных свойств. При нанесении покрытий используется химическая энергия исходных компонентов.

#### 3.12.1. Нанесение металлических покрытий

Металлические покрытия (меди, кадмия, никеля, олова и др.) можно получить путем осаждения на восстанавливаемые поверхности ионов металлов из водного раствора их хлоридов.

Основой, например, химического *никелирования* является реакция восстановления никеля из водных растворов его солей гипофосфитом натрия в результате окислительно-восстановительной реакции:



здесь степень окисления фосфора возрастает с +1 до +3, ионы никеля  $\text{Ni}^{+2}$  восстанавливаются до металлического никеля, а ионы водорода  $\text{H}^+$  восстанавливаются из воды до газообразного водорода.

Процесс химического никелирования ведут при температуре раствора 45...99 °С. При нижнем пределе температуры производительность осаждения покрытий весьма низкая (1...2 мкм/ч).

Покрытие приобретает полублестящий металлический вид, аморфную структуру и является сплавом никеля с фосфором. Для повышения защитных свойств никелевых покрытий применяют термоокислирование деталей в воздушной среде при температуре 900 °С в течение 1 ч. В результате процесса на поверхности никеля образуется слой  $\text{NiO}$  синезеленого цвета толщиной 5...7 мкм.

Для нанесения покрытий из никеля применяют как кислые (pH = 4...6), так и щелочные растворы (pH = 8...10). Состав некоторых растворов, применяемых для нанесения никель-фосфорных покрытий, приведены в табл. 3.80.

## 3.80. Растворы для химического никелирования\*

Состав раствора	Массовая доля, кг/м <sup>3</sup>	Значение pH	Содержание фосфора, мас. %
Хлористый никель	21	5,1...5,2	8,70
Гипофосфит натрия	24		
Уксусно-кислый натрий	10		
Хлористый никель	30	5,2	9,15
Гипофосфит натрия	10		
Муравьино-кислый натрий	10		
Серно-кислый никель	30	5,4	6,87
Гипофосфит натрия	10		
Уксусно-кислый натрий	10		
Хлористый никель	25	5,5	4,00
Гипофосфит натрия	30		
Янтарно-кислый натрий	15		
Хлористый аммоний	30		
Хлористый никель	30	8,0	3,40
Гипофосфит натрия	5		
Хлористый аммоний	25		
Лимонно-кислый натрий	50		
Хлористый никель	30	8,0	11,90
Гипофосфит натрия	20		
Хлористый аммоний	25		
Лимонно-кислый натрий	150		
Хлористый никель	25	7,5...10,0	13,60
Гипофосфит натрия	24		
Хлористый аммоний	30		
Уксусно-кислый натрий	45		
Хлористый никель	40...50	8,0...10,0	3,50...5,00
Гипофосфит натрия	17...20		
Хлористый аммоний	40...50		
Уксусно-кислый натрий	50...60		

\* Необходимое значение pH щелочных растворов достигается добавлением 25%-ного гидроксида аммония.

Для химического лужения поршней из высококремниевое алюминевого сплава при нанесении приработочного покрытия применяют водный раствор следующего состава: 45 г/л двуххлористого олова  $\text{SnCl}_2$ ; 30 г/л каустической соды  $\text{NaOH}$  и 20 мл/л пероксида водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Температура раствора в стационарных ваннах 50...60 °С, а время нанесения покрытия толщиной 5 мкм 3...5 мин.

### 3.12.2. Нанесение неметаллических покрытий

Оксидная пленка на поверхности стали или чугуна может быть получена одним из следующих способов: обработкой заготовок изделий в кислотных или щелочных растворах, электрохимической обработкой на аноде в хромовой кислоте или щелочи, термической обработкой при температуре 400...800 °С.

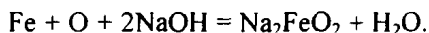
Кислотные растворы для химического оксидирования не обеспечивают стабильную скорость роста толщины покрытий. Этого недостатка лишены щелочные растворы, хотя скорость осаждения покрытий из них ниже, чем из кислотных.

Цвет оксидной пленки зависит от технологии ее получения и толщины, марки металла и вида механической обработки. Толщина пленки достигает 0,5...0,8 мкм при щелочном оксидировании и до 10 мкм при высокотемпературных процессах.

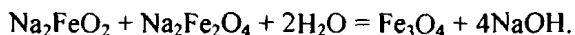
Наибольшее применение нашло химическое оксидирование путем погружения заготовок в горячий раствор щелочи с добавкой окислителей и выдержки в нем. Универсальный щелочной раствор для оксидирования стали и чугуна содержит (г/л): 500...550  $\text{NaOH}$ , 50...100  $\text{NaNO}_3$ , 200...250  $\text{NaNO}_2$ .

Раствор готовят следующим образом. Едкий натр загружают в емкость с отверстиями в стенках диаметром ~ 3 мм, которую завешивают в ванну с водой. Дожидаются полного растворения едкого натра. Затем в раствор вводят  $\text{NaNO}_3$  и  $\text{NaNO}_2$ . Раствор перемешивают до полного растворения компонентов. Состав оксидирующего раствора контролируют с помощью химического анализа.

В концентрированном растворе едкого натра при высокой температуре в присутствии окислителей железо растворяется с образованием соли  $\text{NaFeO}_2$ :



При большом содержании окислителя  $\text{Fe}^{2+}$  окисляется до  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Na}_2\text{FeO}_2$  переходит в  $\text{Na}_2\text{Fe}_2\text{O}_4$ . Эти две соли взаимодействуют с образованием оксида железа  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ :



Полученный оксид покрывает поверхность металла, кристаллизуется на ней и образует сплошную пленку. Полученная при этом черная пленка толщиной до 1,5 мкм является защитно-декоративным покрытием для работы в легких коррозионных условиях.

Режим оксидирования зависит от марок сталей (табл. 3.81).

Оксидирование проводят при температуре кипения раствора, поэтому по мере испарения воды температура в ванне повышается. Для высокоуглеродистых сталей начальная температура оксидирования ~ 135...137 °С, а для легированных сталей 140...145 °С.

Оксидные покрытия образуются только после накопления в растворе начального количества солей железа. Поэтому после приготовления раствора в ванну навешивают стальные полосы и выдерживают их в течение нескольких часов. Об изменении состава этого раствора во время работы ванны судят по температуре кипения раствора, которую непрерывно контролируют. Повышение ее свидетельствует о необходимости добавления воды, а понижение – об обязательном добавлении окислителей.

Вся обрабатываемая поверхность должна омываться оксидирующим раствором, при этом не должно быть полостей у поверхности, заполненных воздухом. В процессе оксидирования в стационарных ваннах детали через каждые полчаса ополаскивают холодной водой.

Постепенно в ванне накапливается осадок гидрооксида железа, который периодически удаляют с помощью скребков.

После оксидирования и тщательной промывки деталей от щелочи их рекомендуется промыть в нагретом до 90 °С растворе жидкого или ядрового хозяйственного мыла в течение 2 мин.

Защитную способность пленок повышают пропитыванием минеральным маслом или лаками.

**3.81. Режимы оксидирования сталей**

Марка стали	Температура, °С	Время, мин
Среднеуглеродистая сталь	135...145	30...50
Низкоуглеродистая сталь	145...155	40...60
Низко- и среднелегированные стали	145...155	60...90



Оксидные покрытия, полученные электрохимической обработкой, имеют лучшие свойства, чем химические покрытия. Пленки в этом случае толще и плотнее. В начале процесса ведут обезжиривание и анодную обработку в 5%-ном растворе  $K_2Cr_2O_7$  при температуре 45...55 °С, плотности тока 3...5 А/дм<sup>2</sup> в течение 10...15 мин. Оксидирование выполняют в щелочном или кислом растворах (табл. 3.82).

Электрохимическое оксидирование требует сложного оборудования, а трудоемкость их нанесения бо́льшая по сравнению с химическим оксидированием.

Оксидно-фосфатные пленки имеют антикоррозионные и адгезионные свойства, значительно превосходящие свойства обычных оксидных покрытий.

Поверхности перед нанесением покрытия обезжиривают, промывают, протравливают или обрабатывают дробью. Непосредственно перед нанесением покрытия поверхности промывают в разбавленном растворе фосфорной кислоты (8...10 г/л) при комнатной температуре.

Состав растворов для нанесения оксидно-фосфатных покрытий приведен в табл. 3.83.

Подготовку ванны начинают с растворения окислителя в воде. Нитрат кальция растворяют в холодной воде, а нитрат бария – в горячей при интенсивном перемешивании. Затем оксид марганца для предотвращения взмучивания насыпают в мешочки из хлопчатобумажной ткани, которые укладывают на дно ванны. Качество раствора определяет содержание в нем свободной кислоты и нитрата (кальция или бария).

### 3.82. Растворы и режимы при электрохимическом оксидировании

Щелочной раствор		Кислый раствор	
NaOH, г/л	350...600	CrO <sub>3</sub> , г/л	150...250
$i_a$ , А/дм <sup>2</sup>	3...5	HBF <sub>4</sub> , г/л	1...2
$t$ , °С	65...80	$i_a$ , А/дм <sup>2</sup>	5...10
$\tau$ , мин	10...30	$t$ , °С	40...50
		$\tau$ , мин	10...15

Условные обозначения:  $i_a$  – плотность анодного тока;  $t$  – температура электролита;  $\tau$  – время обработки.

## 3.83. Состав растворов и режимы нанесения оксидно-фосфатных покрытий

Компоненты раствора и режимы	Номер раствора			
	1	2	3	4
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , г/л	10...20	—	15...30	—
Ba (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , г/л	—	80...100	—	80...100
MnO <sub>2</sub> , г/л	—	11,8...12,2	0,5...1,5	10...15
H <sub>3</sub> NO <sub>4</sub> , г/л	1...3	0,5...2,5	0,5...1,0	4...5
t, °C	94...98	94...98	98...100	98...100

Углеродистые и легированные стали можно обрабатывать во всех растворах, чугун – в растворе № 2, а закаленные стали – в растворе № 4. Продолжительность обработки 40...60 мин. Уменьшение содержания фосфорной кислоты и снижение температуры раствора приводят к получению крупнокристаллических покрытий с пониженными защитными свойствами.

После оксидирования детали промывают последовательно холодной и горячей водой, а затем помещают на 2...3 мин в кипящий мыльный раствор. В заключение детали высушивают и промасливают.

*Фосфатирование* – процесс осаждения на поверхности металла нерастворимых в воде фосфорно-кислых соединений в результате взаимодействия металла с ортофосфорной кислотой. Процесс заключается в обработке поверхности металла подкисленными растворами однозамещенных фосфатов, в результате которой на поверхности заготовки образуется пленка фосфатов.

Фосфатные покрытия представляют собой мелкокристаллическую пленку, состоящую из фосфатов марганца и железа или цинка и железа. Фосфатная пленка толщиной 7...50 мкм имеет черный цвет и пористую структуру из-за растворения основного металла. Пленка прочно соединена с основой. На пленке хорошо закрепляются лакокрасочные материалы, она обладает большой электропробивной прочностью (до 1000 В). По твердости фосфатная пленка превосходит медь и латунь, но уступает стали.

Фосфатная пленка состоит из двух слоев. Первый слой, непосредственно примыкающий к металлу, прочно с ним связан и содержит монофосфаты железа. Второй, наружный слой состоит из монофосфатов марганца с незначительной примесью вторичных фосфатов железа, он хрупкий и имеет кристаллическое строение.

Для получения фосфатных покрытий применяют однозамещенные фосфаты двухвалентных металлов: марганца, железа, цинка и кадмия. Препарат Мажеф (по начальным буквам составляющих – марганца, железа и фосфорной кислоты) представляет собой смесь однозамещенных солей ортофосфорной кислоты:  $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MnHPO}_4$  – и имеет следующий химический состав (%): Fe (2,4...2,5); Mn (14); фосфатов в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$  (46...52);  $\text{SO}_4$  (1); CaO и Cl – следы; вода (1...2).

Холодное фосфатирование не получило широкого распространения по причине того, что растворы легко гидролизуются, свободная кислотность их растет, а полученные покрытия имеют пониженную защитную способность.

Наиболее эффективно фосфатирование протекает в растворе, содержащем 30...33 г/л препарата Мажеф при температуре 96...98 °С. Толщина пленки при этом достигает 7...50 мкм.

Обработка в препарате Мажеф имеет существенные недостатки: длительный процесс, высокую температуру и узкий рабочий отрезок температуры. Кроме того, обильно выделяется водород, что приводит к охрупчиванию стали. Разработан процесс ускоренного фосфатирования, устраняющий отмеченные недостатки. Состав и режим работы ванн в этом случае приведены в табл. 3.84.

Фосфатируют углеродистые и низколегированные стали, чугун, кадмий, медь и ее сплавы и алюминий. Высоколегированные стали плохо поддаются фосфатированию.

**3.84. Состав и режим работы ванн при фосфатировании**

Компонент раствора и режимы	Номер раствора	
	1	2
Препарат Мажеф	30...40	30...40
$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	50...65	50...70
NaF	2...3	–
$\text{NaNO}_3$	–	4...5
$\text{H}_3\text{PO}_4$	–	0,1...1,0
$t$ , °С	45...65	92...96
$\tau$ , мин	8...15	8...10

### 3.13. Техничко-экономический анализ способов создания ремонтных заготовок

#### 3.13.1. Структура затрат на создание ремонтных заготовок

Эффективность восстановления деталей оценивается его себестоимостью при выполнении ограничений по производительности и качеству, в том числе по надежности. Себестоимость восстановления деталей учитывает затраты живого и овеществленного труда, поэтому оценочный критерий мероприятий на восстановление деталей должен учитывать как затраты на собственно подготовку производства, так и затраты на обработку деталей с помощью созданных средств восстановления. Учет затрат только на подготовку производства может привести к неверным выводам: малые затраты на саму подготовку обычно приводят к большим текущим затратам на многократно повторяющиеся технологические операции.

Таким образом, затраты  $Z_{в.д.}$ , отнесенные к восстановлению одной детали, включают: расходы на материалы, заработную плату с начислениями за обработку этой детали, капиталовложения в СТО и в здания с амортизационными отчислениями, затраты на их эксплуатацию и ремонт СТО, затраты на создание необходимых условий труда на рабочем месте.

$$Z_{в.д.} = \sum_1^n (M_0 + M_в) + T_{ш-к} C (1 + k_1 + k_2 + k_3 + k_4) + \frac{K_0 (k_0 + A_0) + Э + K_3 (k_3 + P_3 + A_3) + ОТ + В + ОС}{NДk_n}, \quad (3.55)$$

где  $n$  – число технологических операций в процессе;  $M_0$  и  $M_в$  – стоимость основных и вспомогательных материалов;  $T_{ш-к}$  – штучно-калькуляционное время;  $C$  – тарифная ставка;  $k_1, k_2, k_3, k_4$  – коэффициенты соответственно отчислений средств на дополнительную заработную плату, социальное страхование, цеховые и заводские расходы;  $K_0$  и  $K_3$  – капиталовложения соответственно в СТО и здания;  $k_0$  и  $k_3$  – доля капиталовложений, относящихся к году эксплуатации соответственно СТО и зданий;  $A_0$  и  $A_3$  – норма амортизации соответственно СТО и зданий;  $Э$  – затраты на эксплуатацию и ремонт зданий;  $P_3$  – затраты на эксплуатацию и ремонт СТО;  $ОТ, В$  и  $ОС$  – затраты на отопление, вентиляцию и

освещение рабочего места;  $N$  – годовой объем ремонта машин;  $D$  – количество восстанавливаемых деталей данного наименования в машине;  $k_{п}$  – коэффициент повторяемости повреждений данного наименования на детали.

Неравномерная инфляция в экономике различных стран содружества независимых государств затрудняет сопоставление между собой абсолютных экономических результатов, полученных в разное время. Выбран такой подход: за единицу денежной величины принималась минимальная заработная плата (МЗП) или ее сотая часть 3 (0,01) – санти-МЗП. Для сравнения: 0,01 МЗП соответствует затратам на создание ремонтной заготовки поршневого пальца карбюраторного двигателя с рабочим объемом 4,8 л. Припуск на шлифование этой заготовки создается нанесением хромового покрытия.

По расчетам ВНИИТУВИД «Ремдеталь», ремонтное производство становится экономически эффективным при доле восстанавливаемых деталей 30 % от их применяемого количества. Эта доля может быть доведена до 70 %.

### **3.13.2. Анализ затрат на создание ремонтных заготовок**

Исследования затрат на создание ремонтных заготовок различных деталей показывают, что оптимальные области применения способов восстановления деталей зависят от вида и условий работы деталей, технического состояния исходных заготовок, цены материалов, объемов восстановления и технического уровня производства.

Рассматривались процессы создания ремонтных заготовок деталей различных классов, среди которых корпусные детали, детали – полые гела вращения, шатуны и валы. Выбирались только те способы, которые обеспечивают установленные ограничения по производительности и качеству восстановления.

Ремонтную заготовку корпусной детали – блока цилиндров в сборе с картером сцепления – получают в результате создания припусков на следующих поверхностях: коренных опорах (в том числе двух торцах одной из коренных опор), отверстиях под гильзы, отверстиях во втулках распределительного вала, отверстиях под толкатели, стыках фланца под картер сцепления, стыках и отверстиях в картере сцепления.

Применительно к восстановлению коренных опор сравнивались между собой основные способы создания припусков: использование поверхностного слоя материала после обработки стыков опор, проточное холодное железнение, пайка латуною, плазменное напыление, электро-

контактная приварка металлической ленты, установка ДРД. Нанесение полимерных композиций на поверхности коренных опор и их наплавка не рассматривались как не обеспечивающие необходимое качество восстановления. Припуски в отверстиях под гильзы и под толкатели создают запрессовыванием ДРД в расточенные отверстия. На наружную поверхность запрессовываемой ДРД наносят эпоксидную композицию или самовулканизирующийся герметик. Обломанные фланцы восстанавливают приваркой ДРД.

Рассматривались процессы создания припусков в отверстиях картера сцепления под коробку передач путем запрессовывания ДРД и наплавкой.

Варианты создания припусков на восстанавливаемых поверхностях сборочной единицы включали: установку и закрепление ДРД (способ 1), наплавку (способ 2), газотермическое напыление (способ 3), приварку металлического слоя (способ 4), а также использование поверхностного слоя металла (способ 5).

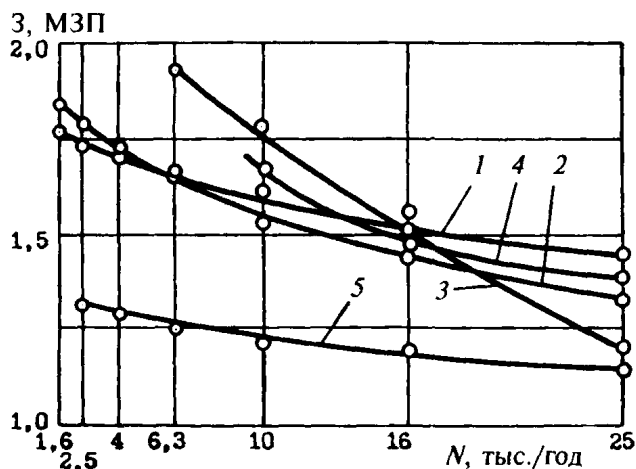
Наименьшие затраты на получение ремонтной заготовки дает способ 5 (рис. 3.53). Здесь отсутствует расход материалов, а затраты определяются лишь механической обработкой стыков крышек коренных подшипников (на 0,1...0,5 мм) и растачиванием отверстий.

Незначительно различаются по затратам между собой способы 1 и 2. Способ 1 включает: предварительную обработку восстанавливаемых поверхностей, изготовление ДРД, установку их и закрепление приваркой, заклепками или силами упругости. ДРД устанавливают на поверхностях коренных опор и их торцев, в отверстиях под гильзы и под коробку передач. Способом 2 наносят покрытие на поверхности отверстий в коренных опорах и в картере сцепления и их торцев.

Способ 3 применяют для нанесения покрытий на поверхности отверстий в коренных опорах и картере сцепления.

Сопоставление затрат дает такие результаты. При объемах ремонта 6300 блоков цилиндров в год затраты на способы 1 и 2 почти одинаковы, при меньших объемах ремонта предпочтительнее способ 1, а при больших – способ 2. При увеличении  $N$  сказывается трудоемкость способа 2, хотя стоимость материалов при способе 2 больше, чем при способе 1.

Способ 3 отличается большой производительностью нанесения покрытия, но требует применения дорогих и дефицитных материалов, однако небольшое машинное время их нанесения делает выгодным этот способ в сравнении со способом 1 начиная с  $N = 16$  тыс./год и более эффективным, чем способ 2, начиная с  $N = 18$  тыс./год.



**Рис. 3.53. Зависимости затрат  $Z$  (0,01 МЗП) от объемов восстановления  $N$  на создание ремонтных заготовок блоков цилиндров:**

1 — установкой и закреплением ДРД; 2 — наплавкой; 3 — газотермическим напылением; 4 — приваркой металлического слоя; 5 — использованием слоя металла на поверхности коренных опор

Ремонтную заготовку гильзы цилиндра, выполненную из чугуна СЧ-18 или ИЧГ-33, получают за счет создания припуска на внутренней и наружной цилиндрических поверхностях и на торце, касающемся блока цилиндров. При этом применяют следующие способы: нанесение композиции порошков индукционной центробежной наплавкой; термопластическое деформирование; установку ДРД в виде свертной ленты; нанесение гальванических покрытий путем осаждения хрома, железа, железо-фосфористых или железоникелевых сплавов; электроконтактную приварку стальной ленты. Следует отметить, что запрессовывание ДРД в гильзу создает ее напряженное состояние, в результате которого наружный диаметр центрирующего пояса увеличивается на 0,05...0,15 мм.

Торец гильзы восстанавливают его подрезкой на 1 мм. При узловой сборке блока цилиндров с гильзами между ними устанавливают компенсирующее кольцо.

Основная трудоемкость при создании ремонтной заготовки гильзы цилиндра приходится на формирование припусков на внутренней цилиндрической поверхности. Сравнивали между собой различные варианты создания припусков на этой поверхности (рис. 3.54).

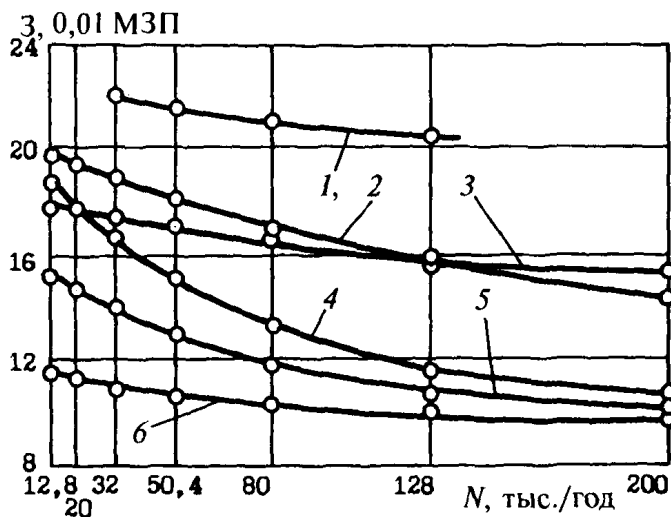


Рис. 3.54. Зависимости затрат  $Z$  (0,01 МЗП) от объемов восстановления  $N$  на создание припусков в отверстиях гильз цилиндров:

- 1 – хромирование; 2 – индукционной наплавкой металлических порошков; 3 – установкой ДРД; 4 – электроконтактной приваркой металлического слоя; 5 – термопластическим обжатием; 6 – использованием поверхностного слоя металла

Наибольшие затраты при всех объемах ремонта связаны с нанесением гальванических покрытий, а наименьшие – с использованием в качестве припуска поверхностного слоя металла (для обработки под ремонтный размер).

Сопоставление между собой других способов показало следующее. Затраты на электроконтактную приварку металлического слоя примерно в 1,3 раза превышают затраты на термопластическое обжатие материала гильзы. Еще большие затраты связаны с установкой ДРД и индукционной приваркой металлического порошка. При крупных объемах ремонта (160 тыс./год) предпочтение отдается способу 2.

При восстановлении шатуна необходимо создавать припуски на поверхностях отверстий в верхней и нижней головках.

Припуски на поверхностях нижней головки получают использованием поверхностного слоя металла (способ 1), газотермическим напылением (способ 2) и нанесением гальванических покрытий (способ 3), припуски в отверстиях верхней головки – нанесением гальванических покрытий.



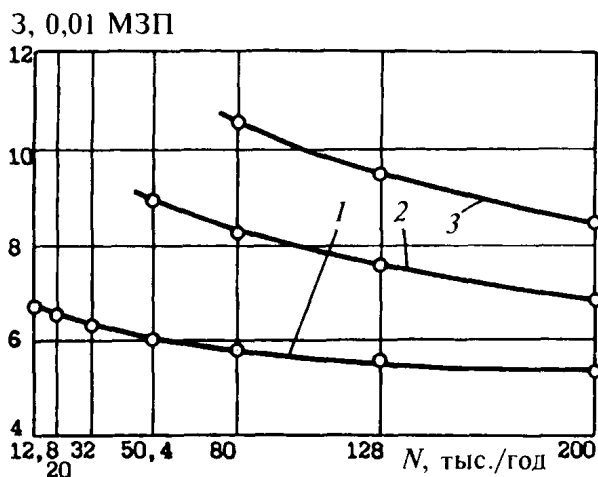
При всех объемах ремонта (рис. 3.55) наименьшие затраты приходятся на способ 1, а наибольшие – на способ 3. Нанесение газотермических покрытий соответствует промежуточным значениям затрат.

Припуски на обработку в процессе восстановления коленчатого вала создают на шейках, их торцах и на поверхности отверстия под подшипник ведущего вала коробки передач.

Большие технологические трудности представляет нанесение покрытий при ремонте коленчатых валов, изготовленных из высокопрочного чугуна. Наилучшие показатели по износостойкости и усталостной прочности шеек коленчатых валов обеспечивают способы нанесения плазменных покрытий и установки стальных закаленных ДРД.

Припуск на обработку отверстия под подшипник создают запрессовыванием ДРД или наплавкой.

Сравнивали между собой (рис. 3.56) следующие варианты: установку на шейки и закрепление сваркой стальных закаленных ДРД (кривая 1), наплавку всех поверхностей самозащитной проволокой Св-15ГСТЮЦА (кривая 2); плазменное напыление трущихся поверхностей (кривая 3).



**Рис. 3.55. Зависимости затрат  $Z$  (0,01 МЗП) от объемов восстановления  $N$  на создание ремонтных заготовок шатунов:**

1 – использованием поверхностного слоя металла;

2 – газотермическим напылением;

3 – нанесением гальванического покрытия (железнением)

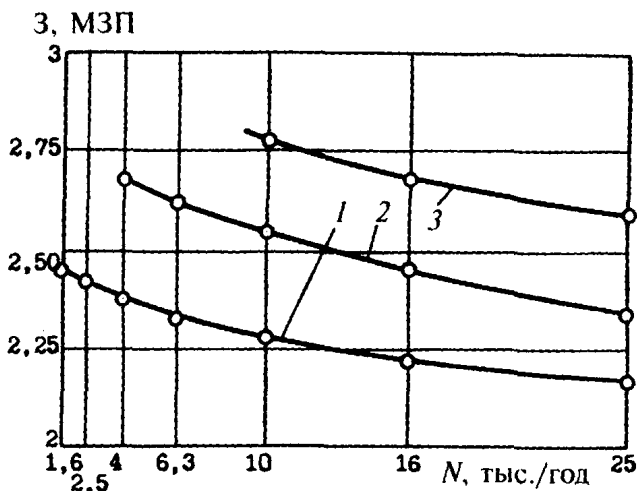


Рис. 3.56. Зависимости затрат  $Z$  (0,01 МЗП) от объемов восстановления  $N$  на создание ремонтных заготовок коленчатых валов

При всех объемах ремонта (с учетом установленных ограничений) выявлено однозначное соотношение затрат: самый дешевый способ создания ремонтных заготовок – установка и закрепление ДРД, а самый дорогой – газотермическое (плазменное) напыление.

### 3.13.3. Области применения ремонтных заготовок различных видов

Рассмотрение технико-экономических моделей затрат на создание ремонтных заготовок для различных деталей и сборочных единиц приводит к таким обобщениям.

Рекомендации ряда авторов о широкой области рационального применения способов создания ремонтных заготовок не подтверждаются. Рекомендации по применению способа должны завершаться наработочными испытаниями и оформлением сертификата способа с указанием области его применения, значений достигнутых физико-механических величин, характеризующих эксплуатационные свойства покрытий и гарантийных показателей наработки.

Наименьшие затраты на создание ремонтных заготовок обеспечивается использованием в качестве припуска поверхностного слоя металла. Это реализуется способом ремонтных размеров, а также приданием специальной формы поверхностям, образованным путем смыкания пар деталей после механической обработки стыков (например, тело шатуна – крышка,

блок цилиндров – крышка коренного подшипника). В первом случае целесообразно введение дополнительных ремонтных размеров, в том числе на элементы деталей, на которых они не предусмотрены. Во втором случае необходимо применение точного металлорежущего оборудования. Второе воздействие эффективно для деталей, поступающих на восстановление первый или второй раз.

Технологическую подготовку процессов создания ремонтных заготовок блоков и гильз цилиндров, коленчатых и распределительных валов следует начинать с использования ДРД, закрепляемых сваркой, пайкой, клеем и силами упругости. Эти способы эффективны при малых объемах ремонта (до 5000 агрегатов/год).

С ростом объемов ремонта агрегатов повышается эффективность создания ремонтных заготовок путем нанесения газотермических покрытий и электроконтактной приваркой металлического слоя, обеспечивающих высокую производительность процессов, хотя и использующих дорогие материалы. Трудоемкость создания ремонтных заготовок этими способами сокращается с внедрением производительного специализированного оборудования.

Большую экономическую эффективность обеспечивает термопластическая (ое) раздача (обжатие) заготовок – тел вращения, протекающая без расхода материалов. Широкое применение способов в производстве требует исследований стабильности восстановленных размеров при эксплуатации детали и влияния процессов на строение поверхностного слоя и его усталостную прочность и износостойкость.

Нанесение гальванических покрытий является самым дорогим процессом при всех объемах ремонта. Его следует применять обоснованно для восстановления деталей с небольшими износами. Способ необходимо совершенствовать в направлениях повышения производительности труда и уменьшения затрат на материалы.

Разница в затратах на восстановление одной детали различными способами большая при малых объемах восстановления, но она уменьшается при увеличении объемов ремонта.

Сопоставление затрат на восстановление изношенных деталей, исчерпавших ремонтные размеры и требующих трудоемкого восстановления ресурса, с затратами на изготовление литых заготовок гильз цилиндров, поршней, чугунных коленчатых валов, кронштейнов и других деталей показывает эффективность применения последних при объемах ремонта агрегатов более 16... 20 тыс./год.

## Глава 4

# МЕХАНИЧЕСКАЯ, ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА В ПРОЦЕССАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

### 4.1. Задачи и особенности механической обработки восстанавливаемых деталей

*Механическая обработка* ремонтных заготовок применяется для подготовки поверхностей под нанесение покрытий, обеспечения точности восстанавливаемых элементов, а также для упрочнения поверхностей. Эта обработка является основным средством достижения точности геометрических параметров деталей (их номинальных и ремонтных размеров, формы, взаимного расположения, шероховатости и волнистости поверхностей). На операции механической обработки приходится 40... 60 % общей трудоемкости восстановления деталей.

Примерное распределение числа восстанавливаемых поверхностей деталей по признаку формы следующее (%): цилиндрических 65, конических и сферических по 5, плоскостей 20 и резьб ~ 7. Наибольшее количество восстанавливаемых элементов приходится на цилиндрические и плоские поверхности. Среди цилиндрических поверхностей ~ 60 % отверстий и 40 % шеек. Эти распределения вместе с распределениями толщины, значений физико-механических свойств материала припусков и требуемой точности поверхностей дают представление о видах и количестве оборудования для механической обработки.

*Толщина* восстановительных покрытий состоит из двух составляющих. Первая составляющая соответствует расстоянию от окончательно обработанной поверхности до поверхности, на которую наносят покрытие. Вторая составляющая – это припуск на обработку. Значение толщины  $Z$  (мм) наносимого покрытия рассчитывают по дополненной формуле В.И. Кована:

$$Z = \left[ \frac{d_n - d_{из}}{2} (\text{вал}) \text{ или } \frac{D_{из} - D_n}{2} \right] + \sum_{i=1}^n \left( R_{zi} + T_i + \sqrt{\delta_{\pi i}^2 + \delta_{\phi i}^2 + \delta_{з i}^2 + \delta_{ф i}^2 + \delta_{пр i}^2} \right), \quad (4.1)$$

где  $d_n$ ,  $D_n$  – номинальные размеры элементов, мм;  $d_{из}$ ,  $D_{из}$  – размеры изношенных элементов, мм;  $i = 1, \dots, n$  – операции механической обработки;  $R_{zi}$  – высота неровностей слоя перед механической обработкой на  $i$ -й операции, мм;  $T_i$  – глубина поврежденного слоя, мм;  $\delta_{\pi i}$  – пространственные отклонения поверхности, мм;  $\delta_{\phi i}$ ,  $\delta_{з i}$  и  $\delta_{ф i}$  – соответственно погрешности базирования, закрепления и формы детали, мм;  $\delta_{пр i}$  – погрешность приспособления, мм.

Механическая обработка заготовок при восстановлении деталей отличается от изготовления деталей из отливок, проката или поковок. Это объясняется такими причинами: преднамеренным разрушением некоторых технологических баз в конце процесса изготовления деталей; износом или повреждением группы баз во время работы машины; деформацией деталей в эксплуатации; небольшими значениями толщины припусков, материал которых, как правило, отличается от материала основы; различием в свойствах припусков при изготовлении и восстановлении деталей; требованием обеспечения необходимой точности взаимного расположения поверхностей, обрабатываемых при восстановлении, и поверхностей, обрабатываемых при изготовлении, а при восстановлении остающихся необработанными.

Восстановительно-упрочняющие покрытия отличаются особыми свойствами. Наплавленные покрытия, например, имеют высокую твердость, неоднородны по строению и химическому составу, являются пористыми, а их наружная поверхность неровная. Ряд гальванических покрытий обладает высокой твердостью, и в них присутствуют гидроксиды, однако покрытия железнения, наоборот, мягкие и имеют значительную вязкость. Для многих газотермических покрытий характерны большая пористость и низкая прочность соединения с основой. Полимерные покрытия хрупкие, отличаются плохой теплопроводностью и низкой температурой плавления или начала разрушения. Эти причины объясняют назначение иных режимов обработки ремонтных заготовок, видов и геометрии инструмента, а также применяемых СОЖ.

Копирование технологии механической обработки деталей при изготовлении машин для их восстановления не дает оптимальных результатов.

Распространение современных материалов и нанесение покрытий из них требуют внедрения прогрессивных способов их обработки. Так, например, время механической обработки композитных покрытий и покрытий из оксидной керамики, нанесенных плазменным или детонационным напылением, в 5...10 раз больше, чем время обработки покрытий, полученных электродуговой наплавкой. Использование в таких случаях традиционных процессов обработки связано с большим расходом инструмента, снижением качества поверхностей и, как следствие, ставит под сомнение возможность применения прогрессивного способа создания ремонтной заготовки и процесса восстановления детали в целом.

Механическая обработка восстановительно-упрочняющего покрытия включает блоки таких операций: черновых, чистовых и отделочных. Восстанавливаемые поверхности в зависимости от толщины и твердости снимаемого слоя проходят лезвийную и (или) абразивную обработку.

#### **4.2. Технологические базы в процессах механической обработки восстанавливаемых деталей: назначение, применение и смена**

*Технологические базы* (по ГОСТ 21495–76) – это поверхности, линии, точки на поверхности заготовки, которые определяют ее положения в переходах установки и ориентирование при обработке и сборке. От обоснованного выбора технологических баз зависят правильность расположения контура детали в заготовке, точность взаимного расположения поверхностей в обработанной детали, сложность приспособлений, производительность и точность обработки.

В зависимости от числа и видов лишаемых степеней свободы технологические базы делятся на установочные, направляющие, опорные, двойные направляющие и двойные опорные. Установочная база лишает заготовку трех степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей. Направляющая база лишает заготовку двух степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси. Опорная база лишает заготовку перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси. Двойная направляющая база лишает заготовку четырех степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей. Двойная опорная база лишает заготовку двух степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей. Установочные базы долж-

ны иметь наибольшие габаритные размеры, направляющие – наибольшую протяженность, а опорные – небольшие размеры.

Технологический процесс обработки разделен на ряд установов. Технологическая база для первого установа заготовки обеспечивает правильное «выкраивание» из нее будущей детали. Эта база используется один раз, и в качестве нее выбирают основные поверхности, остающиеся при восстановлении необработанными и служащие для ориентации основных поверхностей.

Затем решают задачу обеспечения точности взаимного расположения поверхностей. Здесь учитывают принцип совмещения технологических и измерительных баз и в качестве баз выбирают поверхности наибольшей площади.

Точность взаимного расположения поверхностей в значительной мере обеспечивается выбором связного множества базирующих поверхностей.

По признаку направленности связей между поверхностями восстанавливаемой детали имеются два вида отношений. Подмножество отношений первого вида содержит поверхности, строго от которых проводят измерения. Такие отношения на графе поверхностей детали изображаются ориентированными дугами, выходящими из измерительных баз. Эти отношения включают например, параметр «биение поверхности». Подмножество второго вида изображается неориентированными ребрами. В паре поверхностей, связанных ребром, любая поверхность может быть выбрана в качестве измерительной базы.

Если с одной из обрабатываемых поверхностей необходимо снять небольшой припуск, то ее поверхность используют как предыдущую базу. При выборе этой базы решается также задача равномерного распределения припусков между последующими операциями обработки. При механической обработке поверхностей будет снят минимальный припуск, если за технологическую базу будет выбрана сама обрабатываемая поверхность.

Приведем *примеры* обработки восстанавливаемых деталей с использованием в качестве технологических баз обрабатываемых поверхностей: бесцентровое шлифование поршневого пальца или отверстия в гильзе цилиндра; растачивание отверстия в верхней головке шатуна с ориентированием этого отверстия перед обработкой центрирующей оправкой и закреплением детали в таком положении; подрезание торца картера сцепления с ориентированием его подвижным упором и закреплением детали в таком положении; шлифование шеек коленчатых валов по принципам адаптивного базирования; суперфиниширование шеек плавающими мелкозернистыми мягкими брусками; полирование шеек абразивной лентой.

Сущность *адаптивного базирования* заключается в поиске необходимого положения обрабатываемой детали относительно траектории режущего инструмента, обеспечивающего минимальный суммарный припуск на обработку, и закреплении детали в таком положении. При обработке шатунных шеек коленчатых валов осуществляют фиксированный поворот детали относительно коренных шеек до получения равных по величине, но противоположных по знаку максимальных отклонений относительно номинального углового расположения, по крайней мере, двух шатунных шеек. Реализация способа обеспечивает минимальный суммарный припуск со всех шеек коленчатого вала и повышает среднее число его восстановлений в 1,2...1,5 раза, хотя не гарантирует нормативной точности взаимного расположения шпоночного паза на носке вала и первой шатунной шейки.

В общем случае выбор технологических баз при механической обработке восстанавливаемых деталей подчиняется следующему правилу. *Во всех установках технологические базы, как правило, должны совпадать с измерительными, а обработанные поверхности на данном установе должны быть использованы в качестве измерительных баз для последующего установа.* Поверхности, которые будут применяться в качестве измерительных баз, обрабатываются первыми.

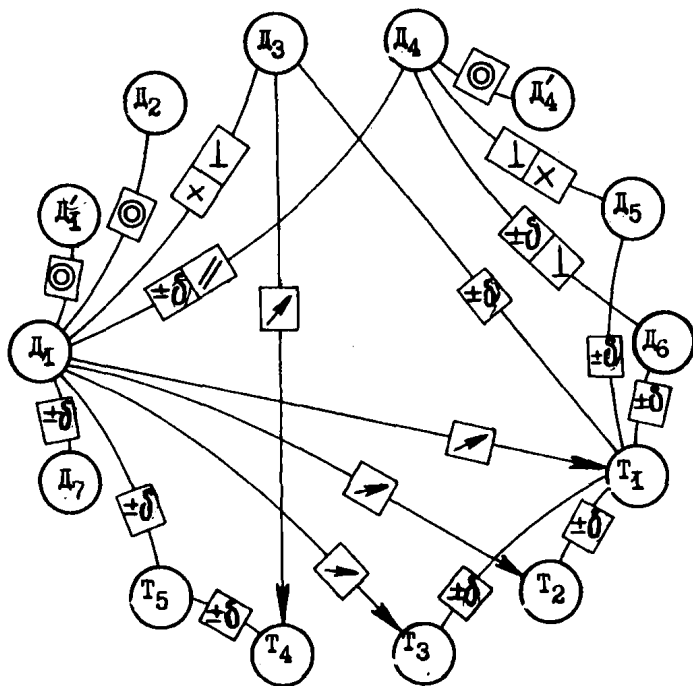
Надо учитывать, что при восстановлении деталей обеспечивают необходимую точность параметров взаимного расположения поверхностей двух групп. Первую группу поверхностей обрабатывают при восстановлении детали, а вторую группу обработали ранее, при ее изготовлении, и при восстановлении оставляют без изменения. С учетом направленности отношений пар поверхностей эти поверхности могут быть упорядочены.

Очередность использования поверхностей восстанавливаемой детали в качестве базовых при ее механической обработке выбирается из графа отношений основных поверхностей ремонтной заготовки путем выделения вершин, не имеющих предков.

Механическую обработку следует начинать, приняв за технологические базы поверхности, расположенные в первом слое упорядоченного графа. При обработке других поверхностей в качестве технологических баз применяют поверхности, находящиеся в предыдущих слоях этого графа. Использование принципа «кратчайшего пути» А.П. Соколовского обеспечивает наименьшее число операций механической обработки с минимальными погрешностями базирования, а при создании ремонтных заготовок – припуски наименьшей толщины.



Рассмотрим *пример* выбора и смены технологических баз при механической обработке блока цилиндров двигателя. Множество основных поверхностей блока цилиндров, участвующих в базировании и обработке, и их отношения представлены в виде графа на рис. 4.1. Матрица смежности этого графа приведена в табл. 4.1.



**Рис. 4.1. Граф основных поверхностей блока цилиндров и их отношений:**

$D_1$  и  $D_1'$  – соответственно отверстия в крайних и средних коренных опорах;  
 $D_2$  – отверстие в картере сцепления;  $D_3$  – отверстия под гильзы;  $D_4$  и  $D_4'$  – соответственно отверстия в крайних и средних втулках распределительного вала;  
 $D_5$  – отверстия под толкатели;  $D_6$  – отверстие под привод распределителя;  
 $D_7$  – отверстие под стартёр;  $T_1$  и  $T_2$  – соответственно передний и задний торцы первой коренной опоры;  $T_3$  – торец картера сцепления;  $T_4$  – торец под гильзу;  
 $T_5$  – поверхность под головку цилиндров; ◎ – соосность отверстий;  
 $\perp$  – неперпендикулярность осей (поверхностей);  $\pm\delta$  – линейное отклонение;  
 $\times$  – непересечение осей; ↗ – биение поверхностей; // – непараллельность осей

## 4.1. Матрица, представляющая граф, изображенный на рис. 4.1

	Д <sub>1</sub>	Д' <sub>1</sub>	Д <sub>2</sub>	Д <sub>3</sub>	Д <sub>4</sub>	Д' <sub>4</sub>	Д <sub>5</sub>	Д <sub>6</sub>	Д <sub>7</sub>	Т <sub>1</sub>	Т <sub>2</sub>	Т <sub>3</sub>	Т <sub>4</sub>	Т <sub>5</sub>
Д <sub>1</sub>		1	1		1				1	1	1	1		
Д' <sub>1</sub>														
Д <sub>2</sub>														
Д <sub>3</sub>	1									1			1	
Д <sub>4</sub>						1	1	1						
Д' <sub>4</sub>														
Д <sub>5</sub>														
Д <sub>6</sub>														
Д <sub>7</sub>														
Т <sub>1</sub>							1	1			1	1		
Т <sub>2</sub>														
Т <sub>3</sub>														
Т <sub>4</sub>														
Т <sub>5</sub>	1												1	
У <sub>0</sub>	2	1	1	0	1	1	2	2	1	2	2	2	2	0
У <sub>1</sub>	0	1	1	–	1	1	2	2	1	1	2	2	0	–
У <sub>2</sub>	–	0	0	–	0	1	2	2	0	1	1	1	–	–
У <sub>3</sub>	–	–	–	–	–	0	0	0	–	0	0	0	–	–

Обозначим через  $У_{Д_1}$ ,  $У_{Д'_1}$ , ...,  $У_{Т_5}$  векторы, являющиеся строками матрицы. Вычислим

$$У_0 = У_{Д_1} + У_{Д'_1} + \dots + У_{Т_5}$$

и припишем этот результат внизу таблицы. Этот вектор содержит два нуля, соответствующих вершинам  $Д_3$  и  $Т_5$ . Это значит, что эти вершины не имеют предков, они образуют нулевой слой.

Теперь найдем вектор

$$У_1 = У_0 - У_{Д_3} - У_{Т_5},$$

где появятся два новых нуля, отвечающих вершинам  $Т_4$  и  $Д_1$ , которые образуют слой 1.

Затем определим

$$V_2 = V_1 - V_{T_4} - V_{D_1},$$

где появятся пять новых нулей, соответствующих вершинам  $D'_1, D_2, D_4, D_7$  и  $T_1$ , которые образуют слой 2.

Наконец вычислим вектор

$$V_3 = V_2 - V_{D_1} - V_{D_2} - V_{D_4} - V_{D_7} - V_{T_1},$$

где также появятся пять новых нулей, соответствующих вершинам  $D'_4, D_5, D_6, T_2$  и  $T_3$ , которые образуют слой 3.

Результат упорядочения множества поверхностей имеется на рис. 4.2. Две вершины упорядоченного графа:  $T_5$  – плоскость под головку цилиндров и  $D_3$  – поверхности отверстий под гильзы цилиндров – находятся в верхнем нулевом слое графа. Эти поверхности при восстановлении не обрабатываются. В первом и втором слоях графа находятся три узловые вершины:  $D_1$  – поверхности коренных опор,  $T_1$  – передний орец первой коренной опоры,  $D_4$  – поверхности отверстий во втулках аспределятельного вала. Относительно трех последних узловых вершин ориентированы три группы поверхностей, находящиеся в предпоследнем

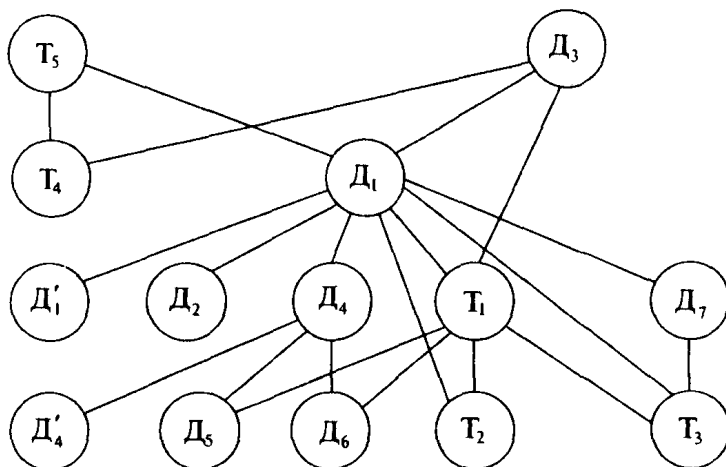


Рис. 4.2. Упорядоченный граф поверхностей блока цилиндров, полученный выделением вершин, не имеющих предков

и последнем слоях графа. В качестве технологических баз последовательно принимают вершины-поверхности  $T_5$  и  $D_3, D_1, D_4$  и  $T_1$ , находящиеся по отношению друг к другу и остальным вершинам в верхних слоях графа.

Реализация полученных результатов в производстве обеспечила следующую очередность механической обработки и базирования сборочной единицы «блок цилиндров» двухрядного восьмицилиндрового двигателя.

Коренные опоры, отверстия в картере сцепления и под стартер предварительно растачивают с базированием по стыковой плоскости к головке цилиндров (установочная база) и крайним отверстиям под гильзы цилиндров (направляющая и опорная базы). Затем предварительно обработанные отверстия вместе с начерно обработанными втулками распределительного вала растачивают окончательно с прежним базированием.

Торцы первой коренной опоры подрезают с базированием по обработанным коренным опорам (двойная направляющая база) и поверхности отверстия под гильзу первого цилиндра (опорная база). Торец картера сцепления подрезают с базированием по коренным опорам и обрабатываемой поверхности (опорная база). Последняя база обеспечивает снятие припуска наименьшей толщины.

Отверстия под толкатели разворачивают под ремонтный размер с направлением инструмента по обрабатываемой поверхности. Торец отверстия под гильзу цекуют ручным инструментом с базированием его по плоскости под головку цилиндров. Значения параметров расположения осей цилиндров и оси коренных опор зависят от точности обработки гильз цилиндров, которые восстанавливаются отдельно. Отверстия под гильзы цилиндров в результате эксплуатационных нагрузок принимают форму овала. Большая его ось расположена в плоскости качания шатуна и превышает меньшую ось до 0,07 мм. Гильзы, установленные в такие отверстия, принимают их форму. Точность указанных параметров обеспечивают следующим образом.

Гильзы цилиндров собирают с блоком, имея припуск на окончательное растачивание и хонингование. Их жестко фиксируют в отверстиях блока с помощью прижимов. Отверстия в гильзах растачивают с базированием блока цилиндров по обработанным коренным опорам (двойная направляющая база), переднему торцу первой коренной опоры и поверхности под головку цилиндров (опорные базы). Применяют позиционное растачивание с принудительным перемещением детали во время вспомогательного перехода на величину расстояния между осями цилиндров. Гильзы хонингуют также в сборе их с блоком цилиндров. Гильзы не

только не разукрупняют с блоком цилиндров, но и не изменяют их положение, приданное им при первоначальной установке.

Предложенный процесс обработки блока цилиндров в сборе с картером сцепления допускает нанесение покрытий в 2 раза меньшей толщины, чем при традиционных процессах восстановления, с достижением точности взаимного расположения поверхностей (как обрабатываемых, так и необрабатываемых при восстановлении), установленной заводом-изготовителем.

Усовершенствование механической обработки испытано на следующих операциях: позиционного растачивания зеркала цилиндров рядного блока цилиндров на оснащенной станке 2Е78П; хонингования цилиндров на станке 3М83; подрезки торцев передней коренной опоры на переоборудованном станке ОР-14572; подрезки торца картера сцепления на станке ОР-12068. Полное внедрение процесса требует переоснащения опорно-базирующими приспособлениями расточного оборудования 11А775, или ОР-14572, или РД-53 силами заводов – изготовителей этого оборудования.

На заключительных операциях обрабатываемым элементам придают правильную форму и точность размеров. На последней операции создают необходимую шероховатость поверхности без изменения достигнутых ранее значений параметров расположения и формы.

### 4.3. Лезвийная обработка

Заготовки с покрытиями точат (в том числе ротационным инструментом), фрезеруют, строгают и сверлят.

Точением и фрезерованием обычно обрабатывают относительно пластичные покрытия из малоуглеродистых сталей, алюминия, меди и их сплавов, а также из самофлюсующихся сплавов твердостью до 45 HRC. При обработке резанием необходимо обеспечить срезание частиц без их выкрашивания. Напыленные покрытия во время механической обработки не следует нагружать растяжением, изгибом или отрывом.

Лезвийная обработка покрытий из высоколегированных, нержавеющих сталей и самофлюсующихся сплавов выполняется резцами из быстрорежущих сталей или твердых сплавов в том случае, когда припуск на обработку  $> 0,25$  мм на сторону и твердость монолитного материала  $\leq 3000$  МПа (35...45 HRC). Механическую лезвийную обработку наплавленных и напыленных покрытий с твердостью до 35 HRC выполняют в несколько ходов. Скорость резания при черновом точении уменьшают на 30...60 %, а при чистовом на 20...40 % по сравнению со скоростью обработки нормализованной стали 45.

Наплавленные покрытия, имеющие твердость до 45 HRC можно обрабатывать резцами из твердого сплава T15K6. Обработку ведут в два хода: первый, черновой, по корке, второй – получистовой. Оставляют припуск на шлифование 0,3 мм на диаметр (при необходимости). Возможна лезвийная обработка наплавленных поверхностей твердостью 45...65 HRC инструментом из мелкозернистого твердого сплава BK6-OM. Задние и передние углы инструмента рекомендуется устанавливать в пределах 5...10°, скорость резания 30...60 м/мин, подачу 0,03...0,20 мм/об, а глубину резания 0,05...1 мм.

Электролитические железные покрытия точат резцами из твердых сплавов T5K10, T15K6 обычной геометрии.

Детали из пластмасс обрабатывают на больших скоростях резания. Термопласты обтачивают резцами, снабженными пластинками из твердых сплавов BK-6 и BK-8, со скоростью резания 300...600 м/мин и подачей до 0,4 мм/об. Термореактивные пластмассы обрабатывают теми же резцами, но со скоростью резания 200...500 м/мин и подачей до 0,3 мм/об.

Качество поверхностей и производительность обработки значительно повышаются при использовании инструментальных материалов в виде минералокерамики и *поликристаллических сверхтвердых материалов* (ПСТМ).

Термически обработанные стали и чугуны и наплавленные покрытия обрабатывают резцами, оснащенными пластинками из минералокерамики. Материалы ВО-13 применяют для чистового и получистового точения покрытий из порошков конструкционных и легированных сталей твердостью до 160...230 HB; ВОК-60 и ВОК-71 – соответственно для чистового и получистового точения покрытий из порошков сталей твердостью 30...64 HRC; В-3 и ОНТ-20 – для чистового и получистового точения покрытий из порошков на основе соответственно меди и сплава меди с никелем; силинит-Р – для чистового и получистового точения покрытий из порошков сталей твердостью 230...380 HB на основе никеля.

При точении сплавов ПГ-СР2, ПГ-СР3 и ПГ-СР4 может быть использована режущая керамика на основе  $Al_2O_3$  с незначительными добавками MgO и  $SiO_2$  или с добавками TiC и WC.

Применение в ремонтном производстве инструмента, оснащенного ПСТМ на основе кубического нитрида бора при содержании последнего 50...98 %, существенно улучшает технико-экономические показатели процесса резания наплавленных и напыленных покрытий. Для черновой обработки покрытий высокой твердости (в том числе и по корке) целесообразно применять ПСТМ киборит. Для чистовой и отделочной обработки служат инструменты с режущей частью из композитов: 01 (эльбор-Р),

02 (белбор), 05 и 09 (ПТНБ), 10 (гексанит-Р), 10Д (двухслойные поликристаллы) и др. Наиболее работоспособны из ПСТМ киборит и композит-10. Высокая теплопроводность киборита –  $> 50$  Вт/(м·К) обуславливает высокую износостойкость резцов при скорости резания до 200 м/мин.

Институт сверхтвердых материалов НАН Украины разработал и освоил выпуск сменных многогранных неперетачиваемых пластин из киборита. Пластины выпускаются пяти форм в соответствии со стандартом ISO 1832-1991E (R): трехгранной (Т), квадратной (S), ромбической (С) с углом при вершине  $80^\circ$  (D), с углом при вершине  $55^\circ$ , а также специальной формы для оснащения станков с ЧПУ. Пластины изготавливаются с задними углами 0 (N), 5 (B), 7 (C) и  $11^\circ$  (P) классов точности U, M и G без отверстий и канавок. Размеры цилиндрических пластин изменяются от диаметра 3,97 до 12,7 мм с высотой 2,38...4,76 мм. Применяют и другие формы пластин, вписанные в приведенные размеры. Композит выпускают в виде режущих зерен, впаиваемых в металлическую матрицу. Теплоустойчивость материалов на воздухе  $> 1200^\circ\text{C}$ , пределы прочности при растяжении  $> 0,3$  ГПа, при изгибе  $> 0,6$  ГПа, а модуль упругости 800 ГПа.

Наиболее изучены способы обработки материалов мартенситного класса, нанесенных вибродуговой наплавкой или наплавкой под слоем флюса, в том числе порошковыми проволоками и электродными лентами, а также напыленных покрытий из материалов системы Ni–Cr–B–Si и керамических покрытий из  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Большой эффект достигнут при точении покрытий из порошка ПГ-Н80Х13С2Р, полученных газопорошковой наплавкой, и покрытий из порошка ПГ-СР3, нанесенных плазменным напылением с последующим оплавлением. При точении покрытий из порошковых проволок типов ПП-АН106, ПП-АН125 и ПП-АН154М, имеющих аустенитную структуру, эффективность резцов из ПСТМ значительно ниже. При обработке наплавленных покрытий инструментом из киборита достигают производительности 5...10  $\text{см}^3/\text{мин}$ , а напыленных – 10...20  $\text{см}^3/\text{мин}$ .

В целом стойкость резцов и фрез из ПСТМ выше стойкости инструмента из твердого сплава Т15К6 в 20...30 раз. Стойкость инструмента из киборита по сравнению с эльбором в 2 раза, в производительность в 6...11 раз выше при практически одинаковой шероховатости обработанных поверхностей.

Точение покрытий резцами, оснащенными гексанитом-Р, выполняют при следующих режимах: скорости резания 60...100 м/мин, подаче 0,03...0,15 мм/об, глубине резания 0,1...0,3 мм. Углы заточки резцов при обработке наплавленных поверхностей приведены в табл. 4.2.

## 4.2. Геометрия резцов при обработке наплавленных поверхностей

Материал	Твердость покрытия, HRC	Вид точения	Материал режущей части	Углы заточки, °				
				$\gamma$	$\alpha$	$\lambda$	$\varphi$	$\varphi_1$
Нп-30ХГСА и флюс АН-348А	25...30	Черновое	T15K6, TT7K12, KHT-16, T5K10	-8	8	9	45	22
		Полу- чистовое	KHT-16, T15K10	-5		0		
		Чистовое	Гексанит-Р, T15K6	2	6	-7	40	20
Нп-30ХГСА и CO <sub>2</sub>	22...27	Черновое	KHT-16, T5K10, TT7K12, KHT-16	-7	8	9	45	22
		Полу- чистовое	KHT-20, KHT-16, T15K10	-3		0		
		Чистовое	T5K10, гексанит-Р	2	6	-7	40	20

Таким образом, основное назначение композитов – это оснащение режущего инструмента для лезвийной обработки высокотвердых сплавов на основе железа и никеля, закаленных сталей, отбеленных чугунов, наплавленных и напыленных износостойких покрытий. Наиболее эффективная область применения инструментов из ПСТМ – высокоскоростная обработка твердых покрытий (до 68 HRC) с малой толщиной срезаемого слоя (0,2...0,5 мм). Процесс резания характеризуется незначительными энергетическими затратами, небольшим нагревом детали, низкой шероховатостью и отличным качеством поверхностного слоя. Однако процесс предъявляет высокие требования к жесткости и техническому состоянию оборудования.

Лезвийная обработка инструментальными материалами из ПСТМ в ряде случаев заменяет шлифование и позволяет получить шероховатость поверхности  $Ra$  1,25...0,63 мкм, а при использовании жесткого обору-



дования и специального инструмента  $Ra$  0,20...0,18 мкм. Применение этих инструментальных материалов на финишных операциях будет непрерывно расширяться по мере их изучения.

Выбор лезвийного инструмента для обработки восстановительных покрытий ведут в три этапа. На первом этапе определяют отношение твердости инструментального и обрабатываемого материалов при рабочей температуре резания. Полагают, что при обработке покрытий инструментом из твердых сплавов эта температура равна 800 °С, а сверхтвердыми материалами 1000 °С. Выбирают тот инструментальный материал, который обеспечивает наибольшее отношение твердости. На втором этапе оценивают износостойкость режущего инструмента. На последнем этапе проводят экспериментальную проверку полученных результатов.

#### 4.4. Абразивная обработка

Если твердость ремонтной заготовки не позволяет применить лезвийную обработку или необходимо получить высокую точность детали с малой шероховатостью поверхностей, то применяют абразивную обработку.

Шлифование является основным способом обработки износостойких покрытий, отличающихся высокой твердостью. Шлифование обеспечивает должное качество поверхностного слоя. Покрытия на основе карбидов вольфрама и керамики могут быть эффективно обработаны только шлифованием.

При абразивной обработке применяют материалы, состоящие из зерен, обладающих высокими твердостью и режущей способностью. Абразивные материалы бывают природные (горные породы и минералы) и искусственные. Природных материалов мало, они недостаточно однородны и тверды. Из природных материалов используют корунд  $Al_2O_3$ , наждак (смесь корунда с оксидами железа, кремния, титана и др.), кремнь, кварцевый песок, пемзу. К искусственным абразивным материалам, применяемым при шлифовании, относятся карбид кремния – карборунд  $SiC$ , карбид бора, электрокорунд, крокус (содержащий до 75 % оксида железа), оксид хрома, оксид алюминия. Для полирования служат: крокус, трепел, доломит, технический мел, высокая известь (до 95 % оксида кальция), каолин, тальк.

Зерна шлифующих материалов имеют острые грани и при шлифовании, разрушаясь, образуют осколки с острыми гранями, тем самым самозатачиваются. Зерна полирующих материалов округлой формы, что способствует выравниванию обрабатываемой поверхности.

В соответствии с ГОСТ 3647–80 абразивные материалы подразделяются по крупности зерен на группы, номера которых обозначают размеры зерен в метрической системе (табл. 4.3). Для отделочного шлифования или полирования применяют в основном шлифо- и микропорошки.

Шлифовальный круг состоит из шлифзерен, связанных каким-либо веществом. Эти круги изготавливают прессованием или литьем абразивного материала. В качестве абразивного материала используют карборунд, корунд, наждак с размером зерен 250...1200 мкм; как связку – различные глины, полевой шпат, жидкое стекло, смолы, резины и др.

#### 4.3. Группы абразивных материалов в зависимости от их зернистости

Группа	Зернистость	Размер зерна, мкм
Шлифзерно	200	2500...2000
	160	2000...1600
	125	1600...1250
	100	1250...1000
	80	1000...800
	63	800...630
	50	630...500
	40	500...400
	32	400...315
	25	315...250
	20	250...200
	16	200...160
Шлифпорошок	12	160...125
	10	125...100
	8	100...80
	6	80...63
	5	63...50
	4	50...40
	3	40
Микропорошок	M40	40...28
	M28	28...20
	M20	20...14
	M14	14...10
	M10	10...7
	M7	7...5
	M5	5...3

Шлифовальные круги различаются по твердости. Твердостью шлифовального круга принято считать сопротивление его связки выкрашиванию зерен при работе. При шлифовании твердых материалов следует применять мягкие круги, в которых выпадение загупившихся зерен и оголение новых происходит быстрее. При шлифовании мягких металлов зерна тупятся медленнее и круг может быть твердым.

Шлифование и полирование ведут с помощью кругов или непрерывной гибкой абразивной ленты.

Абразивные зерна шлифовальных кругов чаще изготавливают из электрокорунда. В зависимости от содержания примесей и технологии производства электрокорунд делят на следующие виды: нормальный (12А...16А), белый (22А...25А), хромистый (32А...34А), титанистый (37А) и монокорунд (43А...45А). Круги нормального и белого электрокорунда применяют для обработки конструкционных и легированных сталей с невысокой износостойкостью и твердостью до 40 HRC. Для шлифования этих сталей в интенсивном режиме лучше зарекомендовал себя хромистый электрокорунд. Для обработки инструментальных, жаропрочных и других труднообрабатываемых сталей используют монокорунд.

Для обработки чугуна, цветных металлов и сплавов, титановых сплавов обычно применяют абразивные зерна из черного (53С...55С) и зеленого карбида кремния (63С...64С). Круги из карбида кремния (64С) пригодны для обработки покрытий средней и высокой износостойкости, однако в большинстве случаев эта обработка нерентабельна для покрытий твердостью 40...60 HRC.

Электрокорундовыми кругами хорошо обрабатываются покрытия с твердостью 24...36 HRC, нанесенные электродуговой наплавкой, а также порошковые неоплавленные покрытия из ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-10Н-04, ПГ-10К-01. Зернистость кругов несколько большая, чем при обработке компактных материалов, а связка – более мягкая.

При обработке оплавленных покрытий из никельборкремниевых сплавов рекомендуются круги 64С с зернистостью М28, М40, твердостью СМ...СТ1. Кругами из зеленого и черного карбида кремния хорошо обрабатываются неоплавленные порошковые покрытия типа ПГ-СР4, нанесенные плазменным или газопламенным способом, а также покрытия ПГ-12Н-01, ПГ-12Р-02, полученные детонационным способом. Гальванические покрытия шлифуют абразивными кругами из нормального или белого электрокорунда марок 12А...25А. Напыленные покрытия и поверхности деталей из алюминиевого сплава шлифуют кругами из хромисто-титанистого электрокорунда марок 91А...95А.

Ремонтные заготовки с твердым покрытием на основе железа, например Сормайт ( $У20Х15С2Н2$ ,  $У30Х28С4Н4$ ), шлифуют способом врезания. Применяют шлифовальные круги из хромистого электрокорунда марки 34А или из карбида зеленого кремния марки 64С. Шлифование хромоникелевых покрытий с высокой вязкостью гамма-твердого раствора на основе никеля с распределенными в нем карбидами и боридами высокой твердости резко увеличивают износ и затупление шлифовального круга вследствие налипания частичек металла на вершины абразива. Интенсивное обновление рабочей поверхности круга достигается применением мягких кругов, однако круги из корунда и карбида кремния в результате отжима не снимают заданную величину припуска, которая тем больше, чем труднее шлифуется покрытие.

Круги из эльбора обеспечивают высокие показатели шлифования оплавленных покрытий типов ПГ-СР3, ПГ-СР4 и 12НKB, а также неоплавленных ПГ-10Н-01, ПТ88Н12, НХ20Л, Полимак, Сормайт и других труднообрабатываемых покрытий. Зерна из эльбора выпускаются двух марок: ЛП – повышенной и ЛО – обычной прочности. Кроме того, этими кругами обеспечивается высокоэффективная и высококачественная обработка слоя, полученного микродуговым оксидированием деталей из алюминиевого сплава. Применение кругов из эльбора при обработке упрочненных поверхностей снижает затраты на шлифование в 1,7...5 раз по сравнению с электрокорундовыми кругами.

Опытный образец сегментного эльборового круга диаметром 900 мм прошел приемочные испытания на Лубенском станкостроительном заводе ОАО «Шлифверст» на специализированном станке 3Д423 для шлифования шеек коленчатого вала.

Шлифование покрытий типа ПГ-СР4 можно вести алмазными кругами АСКМ, АСК, АСВ с зернистостью 200/160 на металлической связке. Покрытия с наибольшей износостойкостью, которые обладают твердостью  $\geq 60$  HRC, обрабатывают только алмазными кругами. Наибольшая эффективность применения алмазных кругов обеспечивается при шлифовании покрытий на основе оксидов алюминия, хрома и титана, карбидов вольфрама, титана в сочетании с кобальтом, никелем или бором. Плазменно-напыленный Сормайт и оксид алюминия, нанесенный детонационным напылением, шлифуют также алмазными кругами с алмазами АС 4 100%-ной концентрации на связках М2-01, В2-08, В3-03-1. Для отделочной обработки применяют бесконечные алмазные ленты АЛШБ с алмазами АСМ, АС, имеющими зернистость 80/63, 40/28, 20/14, на связках В3-06, В3-02. При шлифовании покрытий круги правят чаще, чем при обработке компактных материалов.

С целью повышения стойкости алмазных кругов при обработке наплавленных покрытий рекомендуется применять алмазы, которые характеризуются высокой противоударной стойкостью, например из шлифпошковых АС 15, АС 20 и АС 32 (ГОСТ 9206–80).

Обладая высокими режущими свойствами, круги из алмаза и кубического нитрида бора (КНБ) – кубонитовые круги КР, КО работают практически без отжима. Высокая износостойкость таких кругов обуславливает повышенную точность их формы в течение длительного времени и, в свою очередь, экономичность процесса и точность шлифованных деталей. Круги из КНБ характеризуются стабильной режущей способностью. Преобладающим видом изнашивания является механическое разрушение зерен, имеющих развитый рельеф рабочей поверхности.

Алмазное шлифование применяется в ремонтном производстве и для заточки и доводки режущего и мерительного инструмента.

Обработку износостойких покрытий можно интенсифицировать путем введения в зону резания дополнительных видов энергии (механической, тепловой, электрической, химической и др.) или их сочетаний. Так, дополнительные термомеханические воздействия позволяют управлять стружкообразованием и качеством формируемой поверхности. Электромеханическое шлифование заключается в том, что на токопроводящий абразивный круг и деталь подают напряжение с последующим удалением продуктов анодного растворения электронейтральным шлифовальным кругом из электрокорунда.

Шлифование сопровождается выделением большого количества тепла и деформацией поверхностного слоя на глубину до 50 мкм, что способствует возникновению в этом слое значительных растягивающих напряжений. Неправильно выбранные режимы резания, затупленные зерна и «засаленный» круг приводят к структурным изменениям поверхностного слоя покрытия, образованию прижогов и шлифовальных трещин. В поверхностном слое недопустимо оставлять растягивающие остаточные напряжения, отпущенные участки и шлифовальные трещины. Прижоги при шлифовании снижают предел выносливости на 30 %, а шлифовальные трещины – до 3 раз. Поверхностное обезуглероживание и снижение твердости только на 5 HRC уменьшает долговечность, например, зубчатых колес в 2...3 раза. Поэтому при шлифовании покрытий значения режимов следует выбирать значительно меньшие, чем при обработке монолитных материалов.

Режим шлифования определяется материалом обрабатываемой детали, скоростью вращения круга и его давлением на поверхность детали. Качество шлифования и полирования кругами в значительной степени

зависит от окружной скорости круга. При отделке твердого металла необходима более высокая окружная скорость, чем при отделке мягкого. При шлифовании следует поддерживать определенную частоту вращения круга; увеличение ее равносильно применению более твердого круга. Частота вращения шлифовальных кругов, применяемых при обработке различных материалов, зависит от диаметра круга.

Финишные операции обеспечивают необходимые форму и размеры восстанавливаемых поверхностей, а также свойства поверхностного слоя. На этих операциях снимают незначительный слой металла, но уменьшают на один-два класса показатели шероховатости. Тонкое шлифование выполняют абразивным инструментом с зернистостью 12...25. Снимаемый припуск за один ход  $\leq 0,5$  мкм. В конце операции требуется выжигание в течение пяти-семи оборотов детали. Для тонкого шлифования применяют станки повышенной точности.

Режимы правки абразивных кругов обтачиванием алмазом и алмазно-металлическим карандашом приведены в табл. 4.4.

4.4. Режимы правки кругов обтачиванием

Способ шлифования	Шероховатость обрабатываемой поверхности $Ra$ , мкм	Правка			
		алмазом		алмазно-металлическим карандашом	
		$S_{\text{прод}}$ , м/мин	$S_{\text{поп}}$ , мм/дв.ход	$S_{\text{прод}}$ , м/мин	$S_{\text{поп}}$ , мм/дв.ход
Круглое наружное	0,32...1,2	0,3	0,02	0,4	0,03
Круглое внутреннее		1,0		1,5	
Плоское	0,08...0,32	0,2	0,01	0,3	0,02
Резьбошлифование	0,16...0,63			—	—
Профильное	0,16...0,32	0,1		0,2	0,02
Шлицешлифование		0,2		0,3	

Условные обозначения:  $S_{\text{прод}}$ ,  $S_{\text{поп}}$  – продольная и поперечная подача.

*Суперфиниширование и полирование* – процессы удаления разупрочненного на предыдущих операциях тонкого слоя и достижения необходимой шероховатости поверхности. Процесс суперфиниширования цилиндрических шеек протекает при вращении детали и осциллирующем движении мелкозернистых брусков вдоль оси шпинделя. Давление брусков на поверхность обработки  $\leq 3$  МПа, оно уменьшается к завершению операции. Шейки коленчатых валов, например, полируют на станках типа 3875 с применением абразивных лент из шлифовальной шкурки марки 15AM40BM433. Хотя лента обеспечивает большую площадь соприкосновения инструмента с заготовкой, более эффективное рассеяние тепла, хорошую приспособленность к форме поверхности и возможность обработки галтелей, но шероховатость рабочих поверхностей улучшает незначительно, а аморфный слой оставляет заполированным.

*Притирка* – процесс совместной обработки деталей, работающих в паре, для получения плотного контакта рабочих поверхностей. Притирают, например, клапаны двигателей к седлам, плунжеры топливной аппаратуры к гильзам, зубчатые колеса друг к другу. Обработка происходит при относительном возвратно-вращательном или поступательном движении притираемых деталей. В зону обработки подают зерна электрокорунда, карбида кремния, карбида титана, карборунда или алмазную пасту в индустриальном масле. Чтобы следы резания не налагались друг на друга, необходимо каждый последующий ход притирки начинать с нового относительного положения притираемых деталей. Эту функцию выполняет механизм углового смещения приводных шпинделей.

*Хонингование* – процесс доводки внутренних цилиндрических поверхностей абразивными брусками, которые закреплены в головке и вращаются с одновременным возвратно-поступательным движением. В процессе хонингования бруски постоянно прижимаются к поверхности детали с давлением 0,05...1,4 МПа. Хонингование дает возможность получать поверхность с точностью пятого-шестого качества и шероховатостью до 0,16 мкм. Погрешность обработанного отверстия 0,005...0,02 мм, а отклонения от круглости и конусности  $\leq 0,005$  мм.

В качестве инструментальных материалов применяют хонинговальные бруски из синтетических алмазов, закрепленные в металлической связке М1 (порошковый состав из 80 % Си и 20 % Sn). Существуют синтетические алмазы следующих марок ( в порядке возрастания прочности и снижения хрупкости зерен): АСО, АСП, АСВ, АСК, АСС. Для обработки восстанавливаемых деталей широко используют бруски из алмазов

марки АСВ (алмазный синтетический высокопрочный). Толщина алмазносного слоя в брусках 1...2 мм. Зерна практически не теряют своих режущих свойств до полного истирания брусков. Алмазное хонингование по сравнению с традиционным абразивным производительнее в 4...6 раз, улучшает шероховатость поверхности на два класса и повышает точность обработки в 1,5...2 раза.

Хонингование применяют для обработки стальных и чугуновых деталей, а также при чистовой обработке хромовых и железных покрытий. Скорость резания при хонинговании в 20 раз меньше, чем при шлифовании, поэтому деталь практически не нагревается, а ее поверхностные слои не претерпевают структурных изменений.

Устанавливают и закрепляют ремонтные заготовки при их механической обработке с помощью приспособлений, которые обеспечивают необходимую точность расположения обрабатываемых поверхностей. Применение приспособлений повышает производительность обработки. Шатунные шейки коленчатого вала, например, точат или шлифуют в центросместителях, которые обеспечивают совмещение осей шпинделя станка и обрабатываемой шейки и точный поворот детали относительно оси коренных шеек, равный нормативному углу между кривошипами.

#### **4.5. Смазывающе-охлаждающие жидкости при механической обработке**

Применение *смазывающе-охлаждающих жидкостей* (СОЖ) при механической обработке снижает изнашивание режущего инструмента, улучшает качество обрабатываемых поверхностей и повышает производительность. Основные функции СОЖ: охлаждение инструмента и детали, расклинивающее разделение частей материала заготовки, граничная и гидродинамическая смазка, адсорбция поверхностно-активных веществ на вновь образованных поверхностях для облегчения пластического деформирования при разрыве металла, снижение диффузионного изнашивания.

Характеристика наиболее применяемых прогрессивных СОЖ приведена в табл. 4.5. Масляные СОЖ – это минеральные масла с присадками (или без них) различного назначения. Эмульсионные (водосмешиваемые) СОЖ содержат минеральные масла, эмульгаторы, ингибиторы коррозии, биоциды, противоизносо-противозадирные присадки, антипенные добавки, электролиты, связующие и другие органические и неорганические вещества.



## 4.5. Характеристика СОЖ

Наименование	Область применения	Аналоги
<i>Синтетические СОЖ</i>		
Эфтол	Лезвийная и абразивная обработка стали и чугуна	Укринол-1, аквол 6,1 ОМ, НГЛ-205, эмульсол ЭГТ, автокат
Прогресс-13К	Лезвийная и абразивная обработка стали, алюминия и его сплавов	
Синтол	Лезвийная и абразивная обработка стали и чугуна	Сувар, конвекс
Аквахон	Хонингование стали	Керосин, керосино-масляные смеси, ОМС-1, ОМС-3
Аспарин	Шлифование, хонингование чугуна	ОСМ-1, керосино-масляная смесь
Асхон	Хонингование хромированных сталей, лезвийная обработка легированных нержавеющей жаропрочных сталей	ОСМ-2
<i>Полусинтетические СОЖ</i>		
Автокат, ивкат, эмулькат	Лезвийная и абразивная обработка стали, чугуна, алюминия и его сплавов	Укринол-1, аквол 6,1 ОМ, НГЛ-205, эмульсол ЭГТ, уверол, велс
<i>Эмульсионные СОЖ</i>		
Эмульсол Т	Холодная прокатка стали, лезвийная и абразивная обработка стали и чугуна	Эмульсол ЭГТ
Тафол	Лезвийная и абразивная обработка стали, чугуна, алюминия и его сплавов, холодная прокатка меди и ее сплавов	Укринол 1М, аквол 10М, аквол 11, эмульсол ЭГТ, эмульсол Т, технологическая смазка СП-3, НГЛ-205
<i>Масляные СОЖ</i>		
Режущее масло СП-4	Сверление, нарезание резьбы	МР-1У, МР-2У, минеральное масло
Концентрат режущего масла СП-44		МР-5У (концентрат)
Сульфогал	Вытяжка и высадка изделий из сталей, штамповка, нарезание резьбы	ХС-147, ХС-170, укринол 5/5

#### 4.6. Измерение линейных величин

При технологической подготовке процессов определения технического состояния и механической обработки заготовок решаются такие основные задачи: 1) выбор средств измерений в зависимости от вида и погрешности измеряемой величины; 2) обоснование уровня автоматизации процесса. Первую задачу решают по коэффициенту уточнения (запасу точности); на основе информационной теории измерительных устройств и по принципу *безошибочности контроля*.

Наиболее распространен последний метод, при котором средства измерений выбирают по известным значениям номинального размера  $d$ , допуска на изготовление  $IT$  и погрешности измерений  $\delta$ . Под погрешностью измерений понимают отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Допускаемые погрешности измерений при приемочном контроле на линейные размеры до 500 мм устанавливает ГОСТ 8.051–81. Здесь погрешности приняты равными 20...35 % от допуска на изготовление детали. Предельные погрешности измерения наиболее часто употребляемыми средствами контроля деталей приведены в табл. 4.6.

Средства измерений при механической обработке деталей с наиболее распространенными линейными размерами (6...120 мм) следующие.

4.6. Погрешности измерения деталей

Наименование приборов и инструментов	Класс применяемых концевых мер	Интервалы размеров, мм		
		1...10	150...80	300...500
		Предельные погрешности, мкм		
1	2	3	4	5
Оптиметры горизонтальный и вертикальный, измерительные машины для измерения наружных размеров	0	$\pm 0,35$	$\pm 0,6$	$\pm 1,8$
	1	$\pm 0,4$	$\pm 0,8$	$\pm 3,0$
	2	$\pm 0,7$	$\pm 1,3$	$\pm 4,5$
Оптиметр горизонтальный, измерительная машина с оптиметром и микроскопом для измерения внутренних размеров	0	—	$\pm 1,1$	—
	1	—	$\pm 1,3$	—
	2	—	$\pm 1,8$	—

Продолжение табл. 4.6

1	2	3	4	5
Миниметр с ценой деления 0,001 мм	0	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$	$\pm 1,8$
	1	$\pm 0,6$	$\pm 1,0$	$\pm 3,0$
	2	$\pm 0,7$	$\pm 1,4$	$\pm 4,5$
	3	$\pm 1,0$	$\pm 2,0$	$\pm 8,0$
То же, 0,002 мм	1	$\pm 1,0$	$\pm 1,4$	$\pm 3,5$
	2	$\pm 1,2$	$\pm 1,8$	$\pm 5,0$
	3	$\pm 1,4$	$\pm 2,5$	$\pm 8,0$
То же, 0,005 мм	2	2,0	2,5	5,0
	3	2,2	3,0	8,5
Индикаторы с ценой деления 0,01 мм при работе в пределах одного оборота стрелки:				
нулевого класса точности	3	$\pm 10$	$\pm 10$	$\pm 13$
первого класса	3	$\pm 15$	$\pm 15$	$\pm 16$
второго класса	3	$\pm 20$	$\pm 20$	$\pm 22$
Микрометр нулевого класса точности	—	$\pm 4,5$	$\pm 6$	$\pm 15$
То же, первого класса точности	—	$\pm 7,0$	$\pm 9$	$\pm 25$
То же, второго класса точности	—	$\pm 12$	$\pm 14$	$\pm 35$
Штихмас микрометрический первого класса точности		—	$\pm 18$	
Штангенциркули с ценой деления, мм:			$\pm 18$	
0,05	—	$\pm 40$	$\pm 45$	—
0,1	—	$\pm 75$	$\pm 75$	$\pm 90$

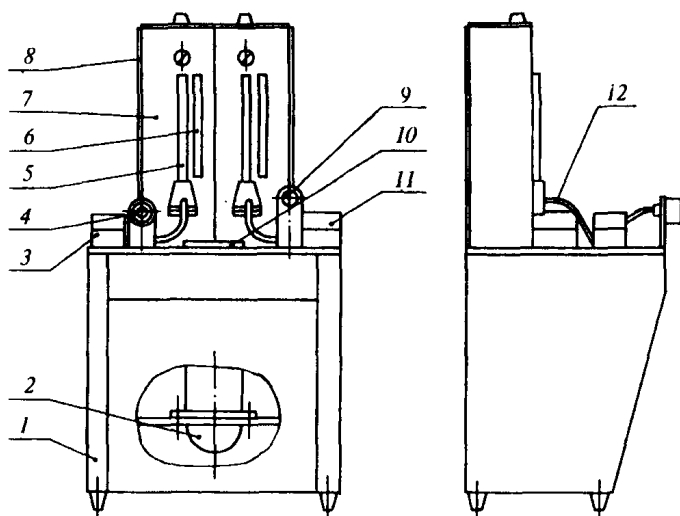
*Измерение наружных поверхностей.* При точности размеров 5–6 квалитетов применяют: рычажные микрометры типов МР и МРИ, рычажные скобы типа СР при использовании в стойке, рычажно-зубчатые головки типа ИГ с ценой деления 0,001 мм, вертикальные оптиметры типа ОВ-3 и горизонтальные типа ОГ-3, инструментальные микроскопы. При уменьшении точности измеряемых элементов до седьмого квалитета вводятся индикаторные скобы типа СИ при настройке на нуль по концевым мерам длины и гладкие микрометры типа МК. Детали, выполненные грубее квалитета 9 точности, измеряют штангенциркулем ШЦ-II с ценой деления 0,05 мм.

*Измерение внутренних поверхностей.* Измерения с точностью по квалитетам 5–8 предполагает применение инструментальных микроскопов типов МРИ-2, БМИ-1, горизонтальных оптиметров типа ОГ-3 и нутромеров с ценой деления 0,001 или 0,002 мм с настройкой по установочным кольцам. Размеры отверстий, выполненные с точностью по квалитетам 9–14, измеряют индикаторными нутромерами типа НИ с ценой деления 0,01 мм. При измерении отверстий диаметром > 80 мм могут применяться микрометрические нутромеры типа НМ. При более грубых измерениях используют штангенциркули типов ШЦ-I и ШЦ-II с ценой деления соответственно 0,05 и 0,1 мм.

Вторая задача – обоснование уровня автоматизации процесса измерений – актуальна при технологической подготовке операций определения технического состояния большого количества несложных деталей одного вида, например поршневых пальцев, клапанов и толкателей. Область эффективного применения автоматических средств для измерения линейных величин этих деталей начинается с объемов ремонта агрегатов 5...8 тыс./год.

Производительное измерение параметров отверстий (размеров, формы и расположения относительно базовых поверхностей) проводится пневматическим измерительным прибором (рис. 4.3). С помощью этого прибора также сортируют детали на размерные группы. Пневматический способ измерений основан на использовании зависимости между расходом или давлением сжатого воздуха и значениями зазора между деталью и калибром, через который воздух выходит в атмосферу.

Прибор снабжен вертикально расположенной конической стеклянной трубкой 5 с поплавком, который находится во взвешенном состоянии в струе сжатого воздуха, подаваемого под давлением 0,3...0,5 МПа. Верхняя плоскость поплавка служит указателем при считывании размера. Цена деления шкалы 6 составляет 0,2...2 мкм. Постоянство давления сжатого воздуха обеспечивают стабилизаторы давления 3 и 11.



**Рис. 4.3. Схема пневматического измерительного прибора:**

1 – корпус; 2 – баллон; 3 и 11 – стабилизаторы давления; 4 и 9 – пневматические калибры; 5 – трубка ротаметра; 6 – шкала; 7 – панель; 8 – щиток; 10 – плита; 12 – воздушная трубка

Высота, на которую поднимается поплавков, зависит от скорости течения воздуха, возрастающей при увеличении зазора между калибром 4 или 9 и деталью.

Для проверки отклонения формы и расположения поверхностей применяют средства контроля линейных размеров в сочетании с различными приспособлениями (табл. 4.7).

Приборы для измерения параметров формы и расположения восстановленных поверхностей имеют корпус с опорными элементами, индикаторы и эталон детали. В составе прибора может быть устройство для перемещения детали относительно опорных поверхностей или образцового перемещения индикаторов. Опорные элементы соприкасаются при работе прибора с измерительными базами детали. Индикаторы установлены на корпусе, скалке или другом устройстве. Измерения выполняются относительным методом, показания индикаторов при соприкосновении их щупов с поверхностями эталонов устанавливаются на нуль.

*Пример.* С помощью прибора (рис. 4.4) измеряют диаметральные размеры юбки поршня в двух сечениях с ручным поворотом детали относительно ее оси. Перед измерением детали на опорные элементы 2 прибора устанавливают эталон поршня, имеющий форму образцового цилиндра номинального диаметра, а стрелки индикаторов при этом

#### 4.7. Характеристика методов контроля и средств измерения формы и расположения поверхностей

Отклонение формы или расположения поверхностей	Рекомендуемые средства измерения	Метод контроля
1	2	3
Отклонение от круглости	Универсальные	Измерения в нескольких направлениях
	Индикатор на стойке легкого типа, призма	Измерение биения поверхности детали, установленной на призму
Отклонение профиля продольного сечения	Универсальные	Измерения в нескольких направлениях и сечениях
Отклонение от прямолинейности и плоскостности	Лекальные линейки, поверочные линейки, щупы	Проверка на просвет и измерение зазора щупом
	Поверочные линейки и поверочные плиты	Проверка на краску
Отклонение формы заданного профиля	Шаблоны (профильные калибры), щупы	Проверка на просвет и измерение зазора щупом
Отклонение от соосности относительно общей оси	Комплексный проходной калибр	Проверка калибром
Торцовое биение	Прибор ПБ с индикатором, угловой рычаг	Проверка биения торца при вращении детали в центрах
	Поверочные призмы, индикатор на универсальном штативе	То же, на призмах
Отклонение от параллельности плоскостей	Индикатор на универсальном штативе, поверочная плита	Проверка расстояния от одной плоскости до другой на заданной длине

Продолжение табл. 4.7

1	2	3
Отклонение от параллельности оси и плоскости	Индикатор на универсальном штативе, калиброванная скалка, поверочная плита	Проверка расстояния от верхней образующей скалки до плиты в двух положениях на заданной длине
Радиальное биение	Прибор ПБ с индикатором	Проверка стрелы прогиба при вращении в центрах
	Индикатор, призмы, индикатор на универсальном штативе	Проверка стрелы прогиба или относительно-го биения шеек при вращении детали в центрах
	Прибор ПБ с индикатором, оправка	Проверка биения наружной поверхности относительно внутренней на оправке при вращении детали в центрах
	Поверочные призмы, индикатор на универсальном штативе, прямой рычаг	Проверка биения внутренней поверхности относительно наружной при вращении детали на призмах

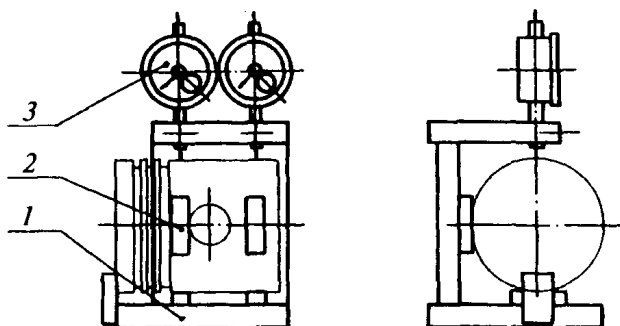


Рис. 4.4. Прибор для измерения размеров, эллипсо- и конусообразности юбки поршня

совмещают с нулевыми значениями шкал. Затем измеряют размеры детали сначала в том ее положении, когда ось поршневого пальца горизонтальна (положение 1), а затем в процессе поворотов детали вокруг ее оси в одну и другую сторону на угол примерно  $45^\circ$  (положения 2 и 3). Значение размера в правом сечении, отстоящем от ее торца на 5 мм, в положении 1 определяет диаметр юбки. Показания левого индикатора в этом положении детали определяют значения конусообразности юбки, а разность показаний каждого индикатора в положениях 1, 2 и 3 – ее эллипсообразность.

#### 4.7. Упрочнение при механической обработке

Механической обработкой в ряде случаев выполняют поверхностное пластическое деформирование. Внутренние поверхности, например, гильз цилиндров или отверстий в головках шатунов упрочняют шариковыми или роликовыми раскатниками (см. рис. 3.44). Инструмент во время обработки вдавливают и осаживают материал микронеровностей от предшествующей обработки поверхности и заполняют им впадины профиля. При этом высота микронеровностей существенно уменьшается, а новый микропрофиль отличается плавностью форм неровностей и их увеличенным шагом.

Обработка повышает несущую способность поверхности, уменьшает удельное давление в контакте трущейся пары, а образовавшийся рельеф с большими радиусами выступов и впадин способствует удержанию смазки между поверхностями. Давление на инструмент в зависимости от материала детали достигает 5...20 МПа, число ходов 2...4. Пластическое деформирование применяется и как отделочно-упрочняющая обработка в виде дорнования отверстий и алмазного выглаживания отверстий и шеек. В контакте детали и инструмента в этом случае имеет место трение скольжения.

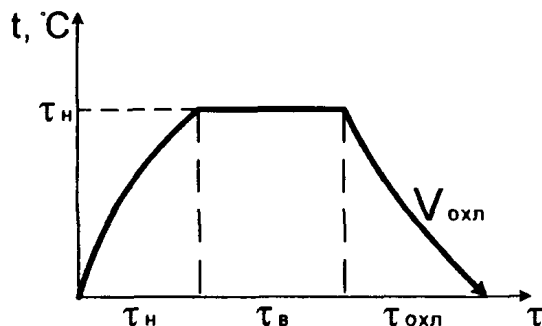
Отверстия калибруют перемещением в них с натягом деформирующего инструмента с подачей СОЖ. Инструмент имеет вид шарика. При первоначальной шероховатости  $Ra$  6,3...1,6 мкм получают шероховатость  $Ra$  0,8...0,1 мкм для стали и 1,6...0,4 мкм для чугуна. Если необходимо получить большую деформацию и высокое качество поверхности, то операцию делят на два перехода. На первом переходе деформируют 75...80 % припуска, на втором остальную часть. Скорость обработки 2...25 м/мин. Способы механического упрочнения по-разному влияют на шероховатость обработанной поверхности. Например, обкатка (раскатка) и дорнование во всех случаях улучшают шероховатость поверхности на один-два класса.



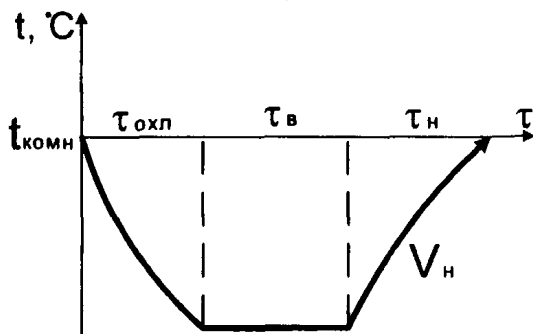
#### 4.8. Термическая и химико-термическая обработка в процессах восстановления деталей

##### 4.8.1. Задачи и особенности термической и химико-термической обработки восстанавливаемых деталей

Под *термической обработкой* металлов и сплавов понимают совокупность операций нагрева с заданной скоростью; требуемой выдержки и последующего охлаждения с регламентируемой скоростью. В координатах температура – время график любого вида термической обработки может быть представлен так, как показано на рис. 4.5.



а)



б)

**Рис. 4.5. График термической обработки:**

а – собственно термическая обработка; б – обработка холодом;  
 $t_n$  – температура нагрева;  $\tau_n$  – время нагрева;  $\tau_v$  – время выдержки;  
 $\tau_{охл}$  – время охлаждения;  $v_{охл}$  – скорость охлаждения

Целью термической обработки является получение необходимой структуры, а следовательно, и физико-механических или иных свойств металлов и сплавов. По степени воздействия на свойства металлов и сплавов термическая обработка значительно эффективней других воздействий, например механической обработки.

Процессы термической обработки принято подразделять на собственно термическую обработку, включающую только тепловое воздействие; термомеханическую, сочетающую тепловое воздействие с пластическим деформированием, и химико-термическую, подразумевающую тепловое воздействие с изменением химического состава поверхности металлов и сплавов. В свою очередь, собственно термическая обработка включает отжиг I рода (гомогенизационный, рекристаллизационный, для снятия внутренних напряжений, называемый иногда релаксационный), отжиг II рода, закалку с полиморфным превращением, отпуск, закалку без полиморфного превращения, старение.

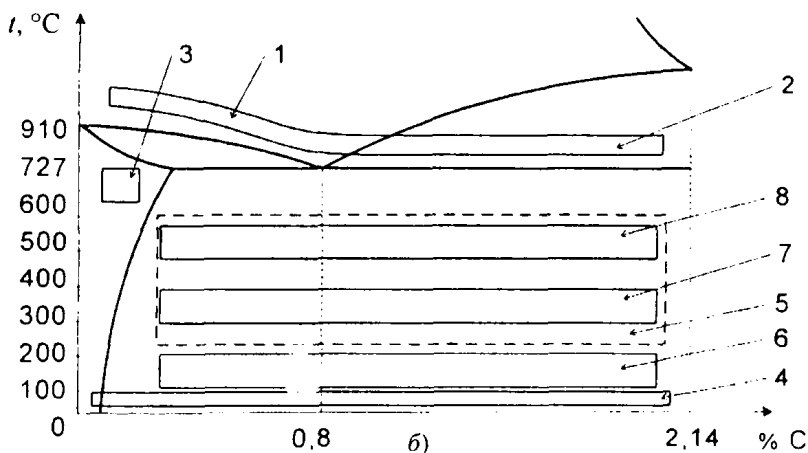
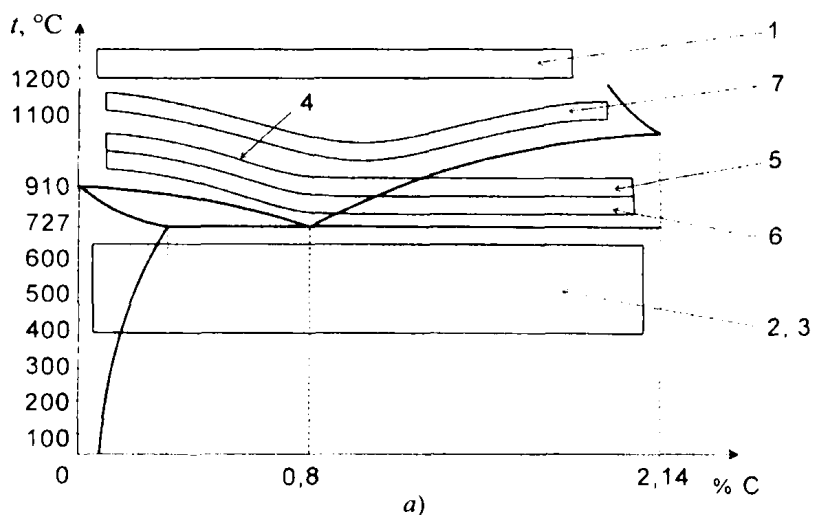
Выбор температур нагрева при любом виде термической обработки базируется на соответствующей диаграмме состояния. Так, например, для сталей – сплавов системы Fe–Fe<sub>3</sub>C температуры приведены на рис. 4.6.

*Отжиг I рода* позволяет устранить неоднородность, возникшую в металлах и сплавах в процессе предшествующей обработки.

Так, например, гомогенизационный (диффузионный) отжиг (см. рис. 4.6, а, 1) выравнивает и устраняет неоднородность химического состава (ликвации) отливок, слитков, наплавленного металла за счет протекания диффузионных процессов при высоких температурах. Чем сильнее неоднородность, тем более продолжительной должна быть выдержка при высокой температуре. Рекристаллизационный отжиг (см. рис. 4.6, а, 2), который включает нагрев металла выше температуры его рекристаллизации (примерно до 0,5 от температуры его плавления), дает возможность устранить структурную неоднородность (текстуру) и упрочнение (наклеп), вызванные предшествующей холодной пластической деформацией, и повысить пластичность.

Отжиг I рода позволяет также избегать трещинообразования за счет значительного снижения внутренних остаточных напряжений, возникающих при охлаждении отливок, сварных соединений, наплавов (см. рис. 4.6, а, 3).

Различают следующие разновидности *отжига II рода*: перекристаллизационный полный или неполный (для заэвтектоидных сталей неполный отжиг называют сфероидизирующим отжигом на зернистый перлит), изотермический, нормализационный отжиг (нормализация), графитизирующий.



**Рис. 4.6. Участок диаграммы состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C с нанесенными температурами для различных видов термической обработки углеродистой стали:**

*a* – отжиг I рода [1 – гомогенизационный (диффузионный); 2 – рекристаллизационный; 3 – для снятия внутренних напряжений (релаксационный)]; отжиг II рода [4 – полный; 5 – неполный (сфероидизирующий); 6 – изотермический; 7 – нормализация];

*б* – закалка, старение, отпуск: закалка с полиморфным превращением (1 – полная; 2 – неполная; 3 – без полиморфного превращения; 4 – естественное старение; 5 – искусственное старение; 6–8 – низкий, средний и высокий отпуск соответственно)

В случае перекристаллизационного отжига металл нагревают выше температуры фазового перехода (т.е. выше температуры полиморфного превращения). В результате при последующем медленном охлаждении протекают фазовые превращения и образуется мелкозернистая равновесная структура с улучшенными свойствами.

При нагреве стали несколько выше первой критической точки  $A_{c1}$  происходят неполная перекристаллизация и превращение только перлита в аустенит. Такой неполный отжиг (см. рис. 4.6, а, 5) для заэвтектоидных сталей вызывает сфероидизацию цементита (отжиг на зернистый перлит) и, как следствие, снижение твердости и улучшение обрабатываемости резанием. При полном отжиге (см. рис. 4.6, а, 4) нагрев стали осуществляют выше точки  $A_{c3}$ , образуется аустенитная структура и происходит полная перекристаллизация при охлаждении.

При изотермическом отжиге доэвтектоидную сталь нагревают на 30...50 °С выше  $A_{c3}$ , а заэвтектоидную – на столько же выше  $A_{c1}$  и выдерживают при этой температуре, быстро переохлаждают несколько ниже  $A_{c1}$  и выдерживают до полного распада аустенита, затем охлаждают с любой скоростью.

Изотермический отжиг часто заменяет для легированных и высокоуглеродистых сталей полный отжиг, он требует меньше времени.

Для сокращения продолжительности термической обработки стали часто охлаждают не с печи, а на спокойном воздухе – нормализация (см. рис. 4.6, а, 7). Нормализацией, например, исправляют структуру перегретой стали сварных конструкций.

Графитизирующий отжиг, применяемый и для сталей, и для чугунов, позволяет благодаря распаду при высоких температурах карбидной составляющей (цементита) получать свободный углерод в виде графита. Это повышает износостойкость материала, снижает коэффициент трения. Такая обработка широко распространена, например, для получения из белых ковких чугунов с хлопьевидной формой графита, а также получения графитизируемых сталей.

Закалка с полиморфным превращением реализуется в тех металлах и сплавах, в которых перестраивается кристаллическая решетка. Доэвтектоидные стали нагревают для превращения перлита в аустенит (полная закалка; см. рис. 4.6, б, 1) либо сохранения в заэвтектоидных сталях избыточного цементита (неполная закалка, см. рис. 4.6, б, 2). Во время ус-

коренного охлаждения со скоростью выше критической аустенит превращается в мартенсит. Твердость и износостойкость стали возрастают. Закалку с полиморфным превращением называют закалкой на мартенсит.

Закалка без полиморфного превращения происходит (см. рис. 4.6, б, в) в тех сплавах, в которых по мере нагрева и выдержки увеличивается растворимость второго компонента и избыточная фаза растворяется в матричной фазе. Последующее быстрое охлаждение фиксирует состояние неравновесного пересыщенного твердого раствора, не характерное для низких температур. Такая закалка широко применяется для алюминиевых, магниевых, никелевых, медных и других сплавов, некоторых легированных сталей.

Сильного упрочнения и снижения пластичности сплавов, подвергаемых закалке без полиморфного превращения, не наблюдается.

В последующем такая неравновесная система при комнатных температурах стремится к равновесию и выделению избыточной фазы (естественное старение, см. рис. 4.6, б, в, г). Некоторый подогрев закаленного сплава значительно ускоряет этот процесс (искусственное старение, см. рис. 4.6, б, г, д). Закалка и частичное старение обеспечивают повышение твердости, прочности, изменение других свойств. Полное старение приводит сплав к двухфазному равновесному состоянию и, следовательно, исходным свойствам.

В случае закалки с полиморфным превращением аналогично старению при нагреве (отпуске) закаленный сплав стремится к равновесному состоянию, что позволяет понизить напряжения и твердость, повысить пластичность. Отпуск включает нагрев закаленного сплава до температур не выше критических, выдержку и охлаждение с заданной скоростью. Различают низкий отпуск (150...200 °С; см. рис. 4.6, б, в, г), средний (300...400 °С, см. рис. 4.6, б, в, г, д) и высокий отпуск (~ 500...600 °С, см. рис. 4.6, б, в, г, д) стали.

Применительно, например, к углеродистым инструментальным сталям закалка с низким отпуском обеспечивает высокие твердость и износостойкость, сохраняя структуру мартенсита отпуска. Для среднеуглеродистых сталей закалка со средним отпуском дает максимальную упругость и достаточную твердость, что необходимо для рессор, пружин, деревообрабатывающего инструмента. При среднем отпуске мартенсит распадается на зернистую дисперсную ферритоцементитную смесь (троостит). Закалка с высоким отпуском для среднеуглеродистых сталей обеспечивает еще большее приближение к равновесному состоянию и получение более грубой зернистой ферритоцементитной смеси (сорбит),

имеющей достаточные прочностные свойства, высокую ударную вязкость и наилучшую обрабатываемость резанием. Поэтому закалку с высоким отпускком называют улучшением и применяют для ответственных деталей конструкций и машин.

Нагрев закаленной стали до температуры, близкой к  $A_{c1}$ , приводит к близкому к равновесному состоянию и распаду мартенсита на еще более грубую, чем сорбит, ферритоцементитную структуру зернистого перлита.

В зависимости от характера охлаждения при закалке различают следующие ее виды, представленные на рис. 4.7 с наложением на диаграмму распада переохлажденного аустенита: в одной среде (непрерывная), в двух средах, ступенчатую, изотермическую, с самоотпуском.

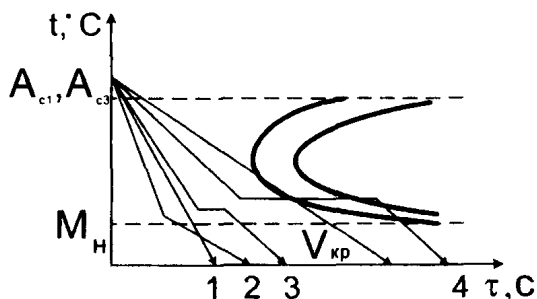
Непрерывная закалка ведется со скоростью выше критической в одном охладителе (см. рис. 4.7, 1). С целью уменьшения остающихся в детали после закалки напряжений перед началом мартенситного превращения закаливаемую деталь перебрасывают в другую среду, имеющую меньшую скорость охлаждения (закалка в двух средах, см. рис. 4.7, 2), например из воды в масло. Это обеспечивает меньшие внутренние напряжения после закалки. Взамен такой закалки для мелких деталей часто реализуют ступенчатую закалку (см. рис. 4.7, 3) с охлаждением и выдержкой деталей в расплаве солей, имеющих температуру на 20...40 °С выше точки начала мартенситного превращения, и последующим охлаждением в масле или на воздухе.

При изотермической закалке (см. рис. 4.7, 4) выдержку осуществляют до полного распада аустенита в среде с температурой, обеспечивающей получение требуемой структуры, например троостита, и, следовательно, требуемых свойств.

В ряде случаев, когда нужны твердая поверхность и способность воспринимать ударные нагрузки, выполняют закалку с самоотпуском.

При этом, не дожидаясь при закалке полного охлаждения, извлекают деталь из закалочной среды. Оставшееся внутри детали тепло обеспечивает самоотпуск закаленной поверхности, после чего следует окончательное охлаждение.

В зависимости от вида нагрева различают газопламенную, плазменную, лазерную, электронно-лучевую закалку, закалку с нагревом токами высокой частоты (индукционную), которая наиболее широко применяется в промышленности.



**Рис. 4.7. Виды закалки в зависимости от характера охлаждения (на примере эвтектондной стали):**

1 – в одной среде (непрерывная); 2 – в двух средах; 3 – ступенчатая; 4 – изотермическая;  $v_{кр}$  – критическая скорость охлаждения при закалке

При разработке и реализации любого из перечисленных видов термической обработки необходимо учитывать ряд факторов. Так, например, чем больше степень легированности стали, тем значительнее смещение критических точек, сильнее ее влияние на различные свойства стали. Поэтому при выборе температур нагрева значения критических точек следует брать из марочников сталей, сплавов. Продолжительность и скорость нагрева сплава до выбранной температуры зависят преимущественно от степени легированности, температуры нагрева, формы изделий, типа печи, характера укладки изделий в печи. В табл. 4.8 приведены примеры ориентировочных норм продолжительности нагрева стали для разных температур и типов печей.

**4.8. Ориентировочные нормы нагрева стальных изделий**

Тип нагревательного устройства	Температура нагрева, °C	Время нагрева, с. на 1 мм диаметра изделия	
		из углеродистой стали	из легированной стали
Пламенная печь	800...900	60...70	65...80
Электрическая печь	770...820	60...65	70...75
	820...880	50...55	60...65
Соляная ванна	770...820	12...14	18...20
	820...880	10...12	16...18

При нагреве стали под термическую обработку в наиболее распространенных электрических печах в зависимости от температуры нагрева и формы изделия можно руководствоваться такими данными, как, например, приведенные в табл. 4.9.

Продолжительность нагрева  $\tau_n$  под термическую обработку можно ориентировочно определить и с помощью эмпирических формул, например такой:

$$\tau_n = 0,1DK_1K_2K_3, \quad (4.2)$$

где  $D$  – размерная характеристика изделия – минимальный размер максимального сечения, мм;  $K_1$  – коэффициент нагревательной среды (для газа – 2, расплава соли – 1, расплава металла – 0,5);  $K_2$  – коэффициент формы (для шара – 1, цилиндра – 2, параллелепипеда – 2,5, пластины – 4);  $K_3$  – коэффициент равномерности нагрева (всесторонний нагрев – 1, односторонний – 4).

Время выдержки стальных изделий, например, при температуре нагрева под закалку для электрической печи можно принять также из расчета 1 мин на 1 мм условной толщины изделия. Условная толщина равна произведению фактической толщины на коэффициент формы.

При высоких температурах в результате взаимодействия металлов и сплавов с воздушной средой происходят нежелательные явления: окисление и обезуглероживание. *Окисление* – образование непрочных оксидов железа и других элементов с кислородом воздуха, *обезуглероживание* – выгорание углерода из поверхностных слоев. Чем выше

#### 4.9. Ориентировочное время нагрева деталей из углеродистой стали в электрической печи

Температура нагрева, °С	Время нагрева, с. на 1 мм диаметра или толщины изделия		
	круглого	квадратного	прямоугольного
600	120	180	240
700	90	130	180
800	45...50	55...60	70...75
900	40...45	50...55	65...70
1000	25...30	30...40	50...60



температура, тем интенсивнее протекают эти диффузионные процессы. Нагрев в среде инертных газов, специальных контролируемых атмосфер или в расплавах солей и металлов позволяет избежать этих нежелательных явлений. В табл. 4.10 приведен состав некоторых часто применяемых для нагрева под закалку солей.

При термической обработке важна роль охлаждающих сред. Так, например, при закалке используют воду, масло, водомасляные эмульсии, водные растворы солей. Наиболее простой закалочной средой является вода, однако она обладает высокой охлаждающей способностью в области мартенситного интервала и может вызвать повышенные внутренние напряжения и трещинообразование.

Для масла характерна более низкая охлаждающая способность, поэтому чаще оно применяется для легированных сталей, имеющих более высокую прокаливаемость, чем углеродистые стали.

Предпочтительны такие закалочные среды, которые обладают высокой охлаждающей способностью в области температур наименьшей устойчивости аустенита (500...650 °С) и пониженной – в области мартенситного превращения (< 300 °С). В табл. 4.11 приведены характеристики типичных охлаждающих сред.

#### 4.10. Состав соляных смесей, применяемых для нагрева изделий под закалку

Состав смеси	Температура плавления, °С	Рекомендуемые температурные интервалы применения, °С
По 50 % поваренной соли (NaCl) и кальцинированной соды (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	560	590...900
100 % хлористого бария (BaCl)	962	1020...1350
По 50 % поваренной соли (NaCl) и хлористого кальция (CaCl <sub>2</sub> )	595	630...850
100 % поваренной соли (NaCl)	800	850...920
100 % хлористого калия (KCl)	768	820...920
100 % сильвинита (NaCl, KCl)	700	780...950

## 4.11. Скорость охлаждения стали в различных охлаждающих средах

Охлаждающая среда	Скорость охлаждения, %с, при температуре, °С	
	650...550	300...200
Дистиллированная вода	250	250
Вода при температуре, °С:		
18	600	270
26	500	270
50	100	270
74	30	200
10%-ный раствор поваренной соли в воде при 18 °С	1100	300
10%-ный раствор серной кислоты в воде при 18 °С	750	300
Минеральное масло	100...150	20...50
Трансформаторное масло	120	25
Эмульсия масла в воде	70	200
Медные плиты	60	30
Железные плиты	35	15
Воздух под давлением	30	10

В ряде случаев весьма эффективным способом упрочнения является *термомеханическая обработка*, сочетающая эффекты упрочнения как от собственно термической обработки, так и от пластической деформации. Для сплавов, имеющих полиморфные превращения (сталей в том числе), наиболее подходят высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО), низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО), патентирование.

На рис. 4.8 приведены примеры типичных режимов термомеханической обработки.

Хотя при ВТМО пластическая деформация протекает выше температуры рекристаллизации, в аустенитной области с целью подавления разупрочняющих рекристаллизационных процессов осуществляют закалку.

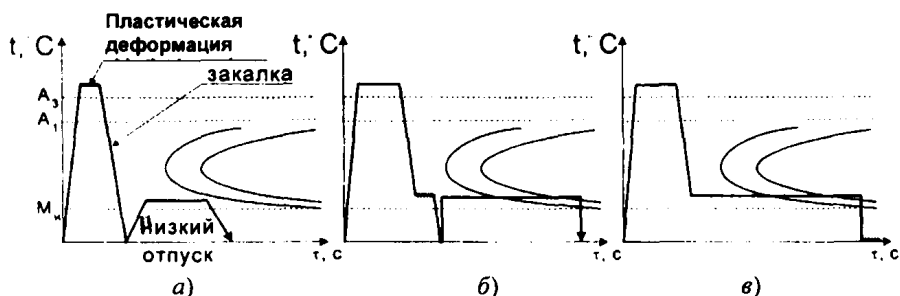


Рис. 4.8. Типичные режимы термомеханической обработки:  
 а – ВТМО; б – НТМО; в – патентирование

При НТМО упрочняющий эффект еще выше, поскольку пластическую деформацию проводят при температуре несколько ниже температуры рекристаллизации.

В случае патентирования холодную пластическую деформацию выполняют до нагрева и после закалки на троостит, что обеспечивает высокий комплекс механических свойств.

Химико-термическая обработка (ХТО), сочетающая тепловое воздействие с диффузионным насыщением поверхности металлов и сплавов одним или несколькими химическими элементами, позволяет получать в поверхностном слое изделия сплав практически любого состава, обеспечивая этим комплекс необходимых свойств. Диффузионное насыщение при нагреве возможно в тех случаях, когда насыщающий и насыщаемый компоненты взаимодействуют, т.е. образуют твердые растворы или химические соединения. Ответ на этот вопрос дает анализ соответствующей диаграммы состояния.

Повышение температуры ХТО экспоненциально повышает скорость диффузионных процессов, продолжительности ХТО – параболически, т.е. в меньшей степени.

*Науглероживание* (цементация) является одним из наиболее распространенных процессов ХТО. Насыщение поверхностного слоя стали углеродом с последующей закалкой и низким отпуском проводится с целью повышения ее твердости, износостойкости, усталостной прочности. Как правило, цементации подвергают углеродистые и легированные стали, содержащие до 0,25 % С (так называемые цементируемые стали: 10, 15, 20, 20Х, 20ХГТ и др.). После науглероживания содержание углерода в поверхностном слое достигает 0,8...1,4 %.

Науглероживание проводят в твердых, жидких и газообразных средах (карбюризаторах).

Наиболее проста в ремонтно-восстановительном производстве цементация в твердом карбюризаторе. В металлический ящик (контейнер) насыпают древесный уголь, укладывают детали так, чтобы расстояние между ними, а также стенками ящика было  $\geq 15$  мм, закрывают крышкой, герметизируют огнеупорной глиной и помещают в печь. Прогревают ящик до  $750\ldots 800$  °С, а затем повышают температуру печи до  $920\ldots 950$  °С. Обычно глубину науглероженного слоя получают  $\sim 1$  мм. В табл. 4.12 приведены параметры науглероживания.

Контроль науглероженного слоя проводят на образце-свидетеле. При цементации в пастах углеродсодержащий порошок (сажу, древесно-угольную пыль, соду и т.п.) разводят связующим (патокой, канцелярским клеем и др.) и наносят в виде суспензии, обмазки, шликера на цементуемую деталь, сушат. Толщина слоя пасты в  $6\ldots 8$  раз должна превышать требуемую толщину цементованного слоя.

При науглероживании в пасте, содержащей  $50\ldots 55$  % сажи,  $30\ldots 40$  % соды и  $10\ldots 15$  % щавелево-кислого натрия, при  $950$  °С за  $1,5\ldots 3$  ч формируется науглероженный слой  $0,6\ldots 1,0$  мм.

Цементацию в расплавленных карбюризаторах (например,  $75\ldots 85$  %  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 10\ldots 15$  %  $\text{NaCl} + 8\ldots 15$  %  $\text{SiC}$ ;  $t_{\text{хто}} = 950$  °С; толщина слоя  $1,2$  мм) осуществляют в расплавах солей металлов электролизным или безэлектролизным способом.

Наибольшее распространение в промышленности получила газовая цементация. Ее проводят в специальных печах или агрегатах при температуре  $920\ldots 950$  °С, подавая в печь каплями керосин, уайт-спирит, веретенное масло или газ (природный газ, пропан, бутан и др.). В течение  $8\ldots 12$  ч формируется слой толщиной  $1,0\ldots 1,8$  мм.

#### 4.12. Ориентировочная продолжительность выдержки при цементации в твердом карбюризаторе ( $t_{\text{хто}} = 900\ldots 950$ °С)

Размер наименьшей стороны ящика, мм	Продолжительность выдержки в печи (ч) для получения глубины цементованного слоя, мм							
	0,25	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4
100	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	7,5	8,0	8,5
150	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5
200	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5
250	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5

Участки стальных деталей, не подлежащие науглероживанию, меднят, покрывают специальными обмазками или защищают припуском, который снимают механической обработкой после цементации.

С целью придания поверхностным слоям максимальной твердости и износостойкости науглероженные стальные изделия подвергают затем закалке, а также низкому отпуску. В результате поверхность имеет структуру отпущенного мартенсита с твердостью  $\sim 60$  HRC, а в сердцевине сохраняет вязкость, пластичность.

*Азотирование* – диффузионное насыщение поверхности металла азотом с целью повышения твердости, износостойкости, усталостной прочности, коррозионной стойкости деталей.

Чаще всего азотируют среднеуглеродистые легированные стали типов 38ХМЮА, 38ХВФЮ (нитралои), в поверхности которых образуются твердые нитриды хрома, молибдена, алюминия. Твердость поверхности таких сталей после азотирования достигает 1200 HV, в то время как после азотирования среднеуглеродистой стали  $\sim 200$  HV.

Как правило, перед азотированием проводят закалку с высоким отпуском (улучшение).

Обычно азотирование проводят при температурах 480...530 °С в течение 20...40 ч в среде аммиака. Толщина азотированного слоя 0,4...0,8 мм.

*Цианирование* – одновременное насыщение поверхности металла углеродом и азотом с целью повышения твердости, износостойкости, усталостной прочности изделий.

Различают низко- (540...560 °С), средне- (820...860 °С) и высокотемпературное (920...960 °С) цианирование. При низких температурах идет преимущественное насыщение азотом, при высоких – углеродом.

Наиболее распространено цианирование в среде газов (смеси аммиака, природного газа, эндогаза и т.п.).

Цианированию подвергают чаще всего цементируемые легированные стали. После цианирования проводят закалку и низкий отпуск.

*Борирование* – насыщение металла бором с целью повышения твердости и износостойкости. Благодаря тому, что на поверхности сталей и чугунов формируется слой боридов FeB и Fe<sub>2</sub>B толщиной  $\sim 0,1$  мм, твердость ее составляет  $\sim 2000$  HV. Поэтому борированные изделия успешно противостоят абразивному изнашиванию.

Отличительными чертами термической обработки восстанавливаемых деталей является специфика задач. Так, например, как правило, для обеспечения хорошей обрабатываемости резанием стальные детали под-

вергают отжигу II рода или улучшению (закалке с высоким отпуском). Такие операции термической обработки восстанавливаемых деталей проводятся в том случае, если эксплуатировавшиеся детали подвергались упрочняющей обработке и имеют высокую твердость и плохую обрабатываемость резанием. После этой смягчающей обработки проводят обработку резанием в требуемый размер (протачивание, нарезание рваной резьбы и т.п.), последующие наплавку или напыление.

Как правило, после восстановления геометрии изношенной детали при необходимости ее подвергают упрочняющей обработке.

Для снятия внутренних остаточных напряжений и предотвращения образования трещин после операций восстановления изношенных деталей, если эти операции сопровождались значительными тепловложениями в деталь в неравновесных условиях (сварка, наплавка и т.п.), необходим отжиг I рода. При этом, особенно для легированных сталей, склонных к образованию неравновесных закалочных структур и повышенной хрупкости, отжиг I рода для снятия внутренних напряжений проводят безотлагательно после сварочных или наплавочных операций.

С целью полной или частичной релаксации внутренних напряжений осуществляют отжиг, уменьшающий напряжения после восстановления деталей осаждением металлов и сплавов электрохимическим способом.

#### ***4.8.2. Термическая обработка в процессах восстановления деталей***

В технологическом процессе, связанном с восстановлением деталей, может возникать необходимость в подготовке к механической обработке резанием, снятии напряжений с целью недопущения трещинообразования, упрочнении поверхности восстановленной детали.

Для обеспечения оптимальной обрабатываемости резанием в сталях необходимо получать наиболее целесообразные равновесные или близкие к ним структуры, содержащие зачастую зернистый, а не пластинчатый перлит. В табл. 4.13 приведены примеры режимов термической обработки, обеспечивающих оптимальную обрабатываемость резанием типичных конструкционных сталей.

При подготовке к обработке резанием сложнелегированных сталей и специальных сплавов имеется ряд особенностей.

Например, мартенситно-старееющая сталь H18K8M5 имеет наилучшую обрабатываемость резанием сразу после закалки на структуру пересыщенного твердого раствора. Последующее старение повышает твердость и снижает скорость резания в 5 раз. Аналогична закономерность для хромоникелевых аустенитных нержавеющей сталей, а также всех стареющих или дисперсионно-твердеющих сплавов.

**4.13. Режимы термической обработки, обеспечивающие оптимальную обрабатываемость резанием некоторых сталей**

Марка стали	Рекомендуемая обработка	Особенности структуры	Примечание
08сп, 10кп	Без термической обработки	Исходная ферритно-перлитная структура	—
20	Нормализация	Мелкая ферритно-перлитная структура	
40, 45, 40X, 40XH	Нормализация при 880...900 °С	Мелкая ферритно-перлитная структура	Допустимо улучшение (закалка с высоким отпуском) на феррит и перлит зернистый
18ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ, 25ХГТ, 25ХГНМТ, 25ХГНМЮА	Изотермический отжиг	Ферритно-перлитная структура с частично сфероидизированным перлитом	—
12ХН3А, 20Х2Н4А	Нормализация + высокий отпуск при 640...680 °С	Мелкая ферритно-перлитная структура (перлит частично – до 20 % – сфероидизирован)	
60С2	Нормализация + высокий отпуск при 650...680 °С	Мелкая перлитная структура (перлит частично сфероидизирован)	
65Г	Рекристаллизационный отжиг при 670...680 °С	Частично ( $\geq 30\%$ ) сфероидизированный перлит	При больших объемах фрезерования и сверления длительность термической обработки увеличивается в 1,5 раза
У8–У12, ШХ15	Маятниковый отжиг около критической точки $A_1$	Зернистый перлит	Для стали ШХ15 в сечениях до 100 мм – не более двух циклов

Применение в восстановительных технологиях сварки и наплавки приводит к возникновению остаточных напряжений, величина которых может достигать предела текучести. Поэтому необходимо снятие или уменьшение этих напряжений, поскольку они значительно повышают склонность изделий к хрупкому разрушению, коррозионному растрескиванию, снижают выносливость.

Термическая обработка позволяет снять или снизить уровень остаточных напряжений, а также восстановить или улучшить структуру и свойства металла в зоне термического влияния, на которую источник тепла при сварке или наплавке оказал неблагоприятное влияние.

Для низко- и среднеуглеродистых нелегированных и среднелегированных сталей, как правило, в этих целях используют высокий отпуск или нормализацию, для высоколегированной хромоникелевой аустенитной стали – аустенитизацию или стабилизирующий отжиг, для высоколегированных хромистых – высокой отпуск.

В табл. 4.14–4.16 приведены некоторые типичные режимы термической обработки сварных соединений.

Как правило, термическая обработка проводится сразу после сварки.

**4.14. Термическая обработка сварных соединений  
из сталей с мартенситом в зоне термического влияния**

Марка стали	Операция	Температура нагрева, °C	Выдержка, ч	Скорость нагрева, °C/ч	Скорость охлаждения, °C/ч
12Х1МФ,	Отпуск	710...740	2...3	200 (до 500 °C)	400 (до 500 °C)
20ХМФЛ	Нормализация,	950	0,5	300	Воздух
	отпуск	710...740	2...3		200
15Х5М	Отпуск	740...760	5	150...200	200...250
15Х5МФ	Нормализация,	950...980	1	300...350	300...350
	отпуск	740...760	3	300	300
30ХГСНА	Отпуск	550...640	2	250...300	250...300
	Закалка,	880...900	0,5		
	отпуск	260	3	150...200	Воздух



## 4.15. Термическая обработка сварных соединений из углеродистых и низколегированных сталей

Марка стали	Температура воздуха при сварке, °С	Толщина свариваемого металла, мм	Термическая обработка				НВ	
			Операция	Температура нагрева, °С	Выдержка	Способ охлаждения		
10	При всех температурах	45	Отпуск (местный, общий) или нормализация всего изделия	640...660	1	На воздухе	160	
				910...930	0,5			
20	630...650	1,5		180				
	900...920	0,5						
45	620...640	1,5		200				
	880...900	0,5			В теплоизоляции			
	620...640	1,5						
16ГС	До 0	25		Отпуск	630...650	1,5	На воздухе	180
15ХМ	Ниже -20	До 25			3	680...700		
		≥ 25						
40Х	Любая	До 25	Сразу после сварки отпуск	630...650	2	На воздухе	200	
		≥ 25				В теплоизоляции		

## 4.16. Термическая обработка сварных соединений из нержавеющей стали

Марка стали	Операция	Температура нагрева, °C	Выдержка, ч	HB
20X13, 30X13, 40X13	Отпуск	660...770	2	200
		200...300		500
12X17, 15X28	Отжиг с ускоренным охлаждением	760...780	0,5	200
08X17T 15X25T	Отпуск	700...750	1...2	
08X18H10, 08X18H12Б	Аустенизация	1000...1080	0,5...1	—

В тех случаях, когда в восстановительных технологиях для восстановления геометрии (размеров, формы) изделий используется пластическая деформация значительных объемов металла и в несколько переходов, требуется рекристаллизационный отжиг. Он снимает наклеп и восстанавливает пластичность металла, исключает трещинообразование. Теоретическая температура рекристаллизации металлов  $\sim 0,4 T_{пл}$  (температуры плавления). Для сталей температура рекристаллизационного отжига 600...770 °C. Чем выше степень легированности стали тугоплавкими элементами, тем выше температура рекристаллизационного отжига. Так, например, для стали 10X18H10T температура рекристаллизационного отжига составляет 1100...1150 °C.

При восстановлении изделий путем нанесения гальванических покрытий возникают внутренние I рода или остаточные напряжения, что может привести к растрескиванию или отслаиванию покрытий от основы.

Термическая обработка, включающая нагрев железных, хромовых, кобальтовых, никелевых, медных покрытий до  $0,20...0,25 T_{пл}$ , значительно снижает внутренние напряжения, а до  $0,30...0,35 T_{пл}$  — полностью их снимает.

С целью придания восстановленному изделию окончательных физико-механических свойств и в первую очередь необходимой прочности, твердости проводят окончательную термическую обработку. В табл. 4.17–4.19 представлены примеры режимов окончательной термической обработки для некоторых групп сталей.

#### 4.17. Режимы окончательной термической обработки изделий из конструкционных марок сталей

Марка стали	Закалка		Отпуск		Предел прочности, МПа	
	Температура нагрева, °С	Охлаждаю- щая среда	Температура нагрева, °С	Охлаждаю- щая среда		
0	870	Вода	250	Воздух	Не определяется	
0	840				1300	
5	830		450		550	
			350		1100	
			250		1150	
			160		Не определяется	
0	810		Масло		500	Вода или масло
0X	860	900				
0X		1000				
0X	830	520		1100		
0XГТ	880	200		900		
0XР				1400		
0XМ	860			1200		
0XТ	850			1500		
0С	900	540		Масло	1250	
0МА	880			Вода или масло	950	
0Н	820	Вода или масло	500		1000	
0НЗА		Масло			540	950
0НСА	880		620			1100
0НМА	850		640		Вода или масло	1000
0МЮА	940					

#### 4.18. Режимы окончательной термической обработки изделий из рессорно-пружинной стали

Марка стали	Закалка		Температура отпуска, °С	Твердость, HRC
	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда		
55	785...820	Вода	420...450	35...42
65	785...810	Масло	250	52...54
			400	45
			500	37
75	780...820		375	40...46
85	770...800		380...420	42...47
65Г	790...810			
50ХФА	840...870		375...420	42...50
60С2			400...475	43...48
60С2ВА	840...860		450	Не определяется
60С2Н2А	830...850		400...430	

#### 4.19. Режимы окончательной термической обработки нержавеющей стали

Марка стали	Закалка		Температура от- пуска, °С	Твердость, HRC
	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда		
10X13	950...1050	Масло	500...600	Не определяется
20X13				
30X13	1000...1050		500	48...50
40X13			200...225	
			200...300	50...55
		550...600	Не определяется	
12X18H9T	1050	Воздух	Не определяется	<18

Таким образом, улучшаемые углеродистые и легированные стали подвергают закалке и высокому отпуску. Охлаждение при закалке и отпуске легированных сталей предпочтительнее в масле, углеродистых ввиду их низкой прокаливаемости – в воде и на воздухе соответственно.

Для обеспечения максимальной упругости рессорно-пружинные стали чаще всего подвергают закалке и среднему отпуску.

Охлаждение при отпуске нержавеющей сталей проводится, как правило, на воздухе.

В табл. 4.20 приведены процессы упрочняющей термической обработки ряда типичных деталей машин (станков, автомобилей, тракторов).

**4.20. Материалы и методы упрочнения ответственных деталей станков, автомобилей, тракторов**

Наименование деталей	Твердость поверхности	Толщина упрочненного слоя, мм	Материал	Метод упрочнения
1	2	3	4	5
Валы, работающие при изгибе, кручении, контактных нагрузках	217...285 HB, 32...38 HRC, 45...52 HRC	Сквозная прокаливаемость	Стали 45, 40X, 40ХГТР, 40Х2НМА	Объемная закалка с высоким, средним и низким отпуском
	48...56 HRC	1,0...1,6	Стали 45, 40X, 50ХФА	Поверхностная закалка с индукционным нагревом
Втулки, направляющие, гайки передач	58...62 HRC	Сквозная прокаливаемость	ШХ15, ШХ15СГ	Объемная закалка
Винты передач скольжения	54...58 HRC		ХВГ, 7ХГ2ВМ	
Шпиндели, игольчатые подшипники, втулки	45...55 HRC	1,0...1,8	45	Поверхностная закалка с индукционным нагревом
Червяки силовых вспомогательных передач	45...52 HRC	Сплошная прокаливаемость	40X, 50ХН	Объемная закалка

Продолжение табл. 4.20

1	2	3	4	5
Зубчатые колеса средненапряженные	48...54 HRC	2...3 ниже впадины зуба	40X	Поверхностная закалка с нагревом ТВЧ
Чугунные базовые детали	45...50 HRC	1,2...1,8	СЧ21-40, СЧ28-48	
Втулки, болты, гайки, шпильки	35...42 HRC	Сплошная прокаливаемость	Сталь 35	Объемная закалка с 850...860 °С с отпуском 440 °С
	267...313 HB			То же, 600 °С
	187...241 HB			То же, 640 °С
Штифты, гайки, втулки	241...269 HB		45	Объемная закалка с 830 °С с отпуском 565 °С
	207...241 HB			То же, 625 °С
	313...347 HB			То же, 440 °С
Болты, винты, шпильки, гайки	347...406 HB		40X	Объемная закалка с 840 °С с отпуском 520 °С
	241...285 HB			То же, 630...680 °С
	267...313 HB			То же, 600...650 °С
Пружины	42...48 HRC		65Г	Объемная закалка с 820 °С с отпуском 390 °С
Бамперы	Не измеряют		60С2	Объемная закалка с 900 °С с отпуском 430 °С
Торсион капота автомобиля	50...54 HRC		45ХН2МФА	Объемная закалка с 870 °С с отпуском 300...350 °С

Продолжение табл. 4.20

1	2	3	4	5
Коленчатый вал	52...62 HRC	3,5...6,5	45	Закалка ТВЧ
Скользящие вилки кардана	42...56 HRC	2,6...4,6		Закалка с отпуском 190 °С
Поршневые кольца	60...62 HRC	3...5	55	Закалка ТВЧ
Шаровые кольца	≥ 56 HRC	2,0...2,5	55, 40X	Закалка сферы
Коромысла клапанов	56...62 HRC	≥ 2	45 (50 ПП)	Закалка бойка

Термическая обработка чугунных изделий во многом такая же, как и стальных.

#### **4.8.3. Химико-термическая обработка в процессах восстановления деталей**

В ряде случаев после операций восстановления геометрии и размеров деталей машин путем пластической деформации, наплавки, например низкоуглеродистой сварочной проволокой типа Св-08кп, гальванического железнения с целью придания поверхности максимальной твердости и износостойкости проводят ХТО, к примеру цементацию, цианирование или другие виды ХТО. В табл. 4.21 приведены такие примеры.

Как правило, после ХТО проводят термическую обработку, например закалку с низким отпуском, во избежание продавливания твердого диффузионного слоя.

В случае азотирования ХТО предшествует улучшение.

#### **4.9. Термическое оборудование**

Все оборудование, используемое для термической обработки, делят на две группы: основное и вспомогательное.

К основному относят нагревательные печи, печи-ванны, закалочные баки, с помощью которых выполняют основные операции термической обработки; к вспомогательному – правильные прессы, контрольно-измерительные приборы и аппаратуру, оборудование для очистки поверхности и т.п.

4.21. Типичные примеры применения ХТО и восстановленных деталей машин

Детали	ХТО	Термическая обработка	Материал	Твердость поверхностности. HRC <sub>3</sub> ,
Валы, пиноли и гильзы, шпиндели, зубчатые колеса, детали ручного тормоза (собачки, щеки, сухари и др.), кольца, вкладыши, золотники, детали передней подвески, ведомые и ведущие шестерни детали рулевого управления	Цементация	Закалка с низким отпускком (толщина упроченного слоя 0,8...1,6 мм)	Сталь 15, 20, 20Х, 18ХГТ, 12ХН3А, 20ХН3А, 15ХГТН2ТА, 20ХН2ТА, 25ХГТ, 30ХГТ, 25ХГНМ	56...62
Винты передач винт – гайка, гильзы, шпиндели, червяки, накладные направляющие, зубчатые колеса	Азотирование	Улучшение (закалка с высоким отпускком до азотирования)	20ХЗМВФ, 30ХЗМФ, 38Х2МЮА, 40ХФА	60...68
Зубчатые колеса, втулки, шайбы, детали тормозной аппаратуры, силовых агрегатов (червяки, шестерни), шаровые пальцы, вкладыши, золотники, крестовины, сателлиты, валы коробки перемены передач	Нитроцементация	Закалка с низким отпускком	08, 10, 20, 35, 25ХГТ, 25ХГМ, 20ХГНТР	58...62
Пальцы, втулки гусениц тракторов, втулки насосов, детали пресс-форм и др.	Борирование		Среднеуглеродистые и легированные стали с $\geq 0,4\% \text{ C}$	2000 HV



4.22. Буквенное обозначение печей для нагрева и термической обработки

Первая буква		Вторая буква		Третья буква		Четвертая буква
Обозначение	Вид нагрева	Обозначение	Основной конструктивный признак	Обозначение	Характер среды	Обозначение
Г	Газовый	А	Карусельная	А	Азот	А
С	Сопротивление	Б	Барabanная	В	Вакуум	Л
И	Индукционный	В	Ванна	Г	Металлы	В
Т	Пламенная	Г	Колпаковая	З	Защитная атмосфера	М
		Д	Выдвижной под	М	Масло	Н
		Е	Подвесной конвейер	О	Окислительная атмосфера	П
		И	Пульсирующий под	П	Пар водяной – вода	
		К	Конвейерная	С	Соль (селитра)	
		Н	Камерная	Ц	Цементационный газ	
		П	Протяжная			
		Р	Рольганговая			
		Т	Толкательная			
		Ш	Шахтная			
		Э	Элеваторная			

Среди основного оборудования различают:

- по назначению – универсальные печи для проведения основных операций термической обработки, цементационные, печи специального назначения;
- по величине температуры – низко-, средне- и высокотемпературные;
- по тепловому источнику – твердотопливные, мазутные, газовые, электрические, индукционные;
- по характеру загрузки-выгрузки – камерные, шахтные, с подвижным сводом, элеваторные, со съёмным сводом и т.п.

В принятых условных обозначениях буквы обозначают вид нагрева, тип печи, среду и агрегатность (табл. 4.22), а цифры – активные размеры рабочего пространства в дециметрах в числителе (ширину, длину, высоту или диаметр и высоту) и максимальную допустимую рабочую температуру в сотнях градусов Цельсия в знаменателе. Например, СНЗА-5,0.10.3,2/10 означает: буквы – сопротивления (электрический), камерный, с защитной атмосферой, цифры – агрегат с размерами печного пространства 500 × 1000 × 320 мм с рабочей температурой до 1000 °С.

Для отпуска, отжига, закалки могут использоваться электропечи типов СТО, СТЗ, СКЗА, универсальные камерные электропечи типов СНО, СИЗ, шахтные электропечи типов СШО, СШЗ, вакуумные типа СШВ, электрованны типов СВГ, СВС. Для ХТО широко используют шахтные безмуфельные электропечи типа СШЦ для газовой цементации, типа США – для газового азотирования. Для индукционного нагрева применяют, например, специальные ламповые генераторы и установки.

Выбор типа нагревательного устройства зависит от ряда отмеченных в буквенных и цифровых обозначениях факторов (требуемой температуры, габаритных размеров обрабатываемых изделий, требуемой чистоты поверхности, производительности, характера производства, экономичности, экологичности и безопасности выполнения работ и др.).

## Глава 5

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ

### 5.1. Восстановление размеров, расположения, формы и шероховатости рабочих поверхностей

Действительные поверхности и профили сечений деталей отличаются от номинальных значений. Образующиеся при этом отклонения классифицируют следующим образом:

- нулевого порядка (отклонение размера  $\Delta d$ );
- первого порядка (отклонение расположения поверхности  $\Delta П$ );
- второго порядка (отклонение формы поверхности  $\Delta Ф$ );
- третьего порядка (отклонения, имеющие форму волнистости);
- четвертого порядка (шероховатость поверхности).

В порядке следования технологического процесса восстановления детали в первую очередь восстанавливают параметры расположения элементов деталей и их форму, затем точность линейных и угловых размеров и в заключение – шероховатость поверхностей.

#### 5.1.1. Восстановление расположения и формы поверхностей

Погрешность формы выражается неравенством соответствующих размеров детали в одном и том же сечении.

*Точность формы* цилиндрических поверхностей определяется точностью формы контура в поперечном (перпендикулярном к оси) и продольном сечениях. Параметры отклонения формы – овальность, огранка, чко- и седлообразность (корсетность), изогнутость оси, конусообразность и нецилиндричность. В поперечном круглом сечении элементарными отклонениями будут овальность и огранка, а комплексным отклонением для данного сечения является некруглость.

Для деталей с плоскими сопрягаемыми поверхностями установлены параметры погрешности формы – непрямолинейность и неплоскостность.

*Погрешности взаимного расположения поверхностей следующие:*

- отклонение от соосности двух или более поверхностей, которое определяется параллельным смещением осей или их перекосом;
- радиальное биение – разность наибольшего и наименьшего расстояний от проверяемой поверхности тела вращения до оси вращения. Параметр включает величину несоосности и погрешности формы в поперечном сечении;
- торцовое биение – разность между наибольшим и наименьшим расстояниями от торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной к оси вращения. Параметр измеряют на заданном (чаще наибольшем) диаметре торцевой поверхности;
- отклонение пересекающихся осей от правильного расположения, выражающееся отклонением от заданного угла между осями и величиной непересечения (скрещивания), определяемой как кратчайшее расстояние между осями, которые номинально должны пересекаться;
- отклонение скрещивающихся осей от правильного расположения, подразумевающее отклонение угла между осями и базовыми поверхностями, а также отклонения заданного расстояния между осями;
- непараллельность оси вращения и плоскости – разность наибольшего и наименьшего расстояний между осью вращения и прилегающей плоскостью на заданной длине;
- неперпендикулярность плоскостей, осей или оси и плоскости – отклонение угла между плоскостями, осями или осью и плоскостью. Если плоскости, оси или ось расположены под углом к плоскости, отличным от прямого, то определяются отклонения от этого угла.

Выбранный комплект технологических баз должен обеспечить при механической обработке в первую очередь точность относительных поворотов восстанавливаемых поверхностей (их параллельность или перпендикулярность), а только затем – относительные расстояния.

Погрешности относительного расположения и погрешности формы подчиняются закону Рэлея. Точность формы обработанных поверхностей зависит от жесткости металлорежущего оборудования, оснастки, обрабатываемой детали и точности рабочих движений, а точность взаимного расположения поверхностей – от выбора и смены технологических баз.

### **5.1.2. Восстановление размеров поверхностей**

На точность размеров восстанавливаемых деталей действует множество факторов систематического и случайного характера. *Систематические погрешности* определяются причинами или процессами, знание ко-

горых позволяет прогнозировать точность обработки в любой момент времени протекания технологического процесса. *Случайные погрешности* возникают в результате действия большого числа не связанных между собой факторов. Прогнозировать точность обработки конкретной детали в данном случае невозможно. Наиболее полно случайная погрешность определяется законом ее распределения. Если интенсивность влияния большого числа факторов на процесс обработки примерно одинакова, то случайная величина погрешности обработки подчиняется нормальному закону. Параметры этого закона – математическое ожидание случайной величины  $M(A)$ , равное

$$M(A) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i \quad (5.1)$$

(где  $m$  – объем выборки;  $A_i$  – элемент вариационного ряда размеров  $A$ ), и стандартное отклонение  $S$ , величина которого определяется из выражения

$$S^2 = \sum_{i=1}^m \frac{[A_i - M(A)]^2}{m-1}. \quad (5.2)$$

Под *размерной настройкой* понимают расположение формообразующих элементов режущей кромки инструмента относительно технологических баз обрабатываемой заготовки и ограничение длины рабочего хода. При размерной настройке резцов в расточных борштангах применяют приборы типа «наездник» (рис. 5.1). В корпусе 3 прибора установ-

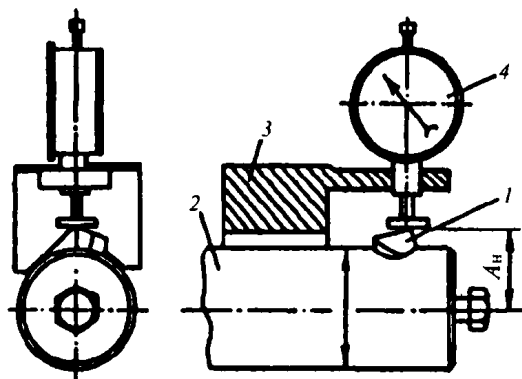


Рис. 5.1. Схема прибора для настройки резца на размер растачиваемого отверстия:

1 – резец; 2 – расточная борштанга; 3 – корпус; 4 – индикаторная головка

лена индикаторная головка 4 часового типа. Вылет резца корректирует его линейным перемещением после пробного растачивания отверстия его измерения.

Динамическая размерная настройка бывает единичной или на партию деталей.

*Единичная динамическая размерная настройка* ведется способом «пробных стружек» или «пробных проходов». В первом случае осуществляют обработку на длине детали, достаточной для измерения результата. После корректировки результата снова выполняют обработку на указанной длине и измеряют полученный размер. Если этот размер соответствует нормативу, то обрабатывают всю поверхность. Недостаток способа заключается в его низкой производительности и различии размеров детали на участке поверхности, где снимались пробные стружки, и остальной поверхности. Во втором случае обрабатывают не часть поверхности, а ее всю. И хотя при этом размер обработки одинаков по всей обрабатываемой поверхности, но существенно теряется производительность.

При *динамической размерной настройке* на партию деталей обеспечивают не только заданную точность, но и максимальную долговечность инструмента между коррекциями размерной настройки, которые выполняют несколько раз за период его стойкости. Основная причина, которая обуславливает эту коррекцию, – это изнашивание инструмента, из-за которого размер обработки систематически изменяется. Потребность в настройке такого вида возникает при обработке большого количества однотипных деталей (гильз, толкателей, пальцев и др.).

Размерная настройка ведется в три этапа: единичная настройка по первой заготовке; обработка первой партии из 5...10 заготовок; анализ результатов измерения деталей пробной партии и первая коррекция размерной настройки с целью так расположить в пределах поля допуска мгновенное поле рассеяния размера, чтобы получить максимальный запас на изнашивание инструмента.

При *статистическом регулировании точности* обработки на настроенном станке через определенные промежутки времени берут выборки деталей, обработанных последними в данном промежутке. Детали измеряют, а результаты измерений заносят в контрольную карту в виде точек. Если точки располагаются в заранее рассчитанных пределах, то технологический процесс протекает удовлетворительно. В случае выхода размеров за пределы контрольных границ необходимо корректировать размерную настройку. Таким образом, статистическое регулирование точности обработки дает возможность контроля и помогает избежать

брака при обработке, а также снизить трудоемкость контрольных операций, потому что вместо сплошного контроля применяют выборочный.

Условия применения статистического регулирования точности обработки следующие: массовое производство; наличие систематической нестационарной составляющей общей погрешности обработки; большой период размерной стойкости инструмента; достаточный запас точности операции, который характеризуется коэффициентом запаса точности  $K_{з.т}$ :

$$K_{з.т} = \frac{6\sqrt{D[X(i)]}}{TA}, \quad (5.3)$$

где  $TA$  – допуск на контролируемый размер;  $D[X(i)]$  – дисперсия.

Минимальное значение  $K_{з.т} = 1,2$ .

Стандартизован и применяется в промышленности *метод средних и размахов*. В этом случае готовят две точечные диаграммы (рис. 5.2), которые объединены в одну контрольную карту.

На точечной диаграмме средних отмечают верхнюю (ВТ) и нижнюю (НТ) технологические границы. При обработке шеек ВТ совпадает с наибольшим предельным размером, а НТ выше нижней границы допуска на

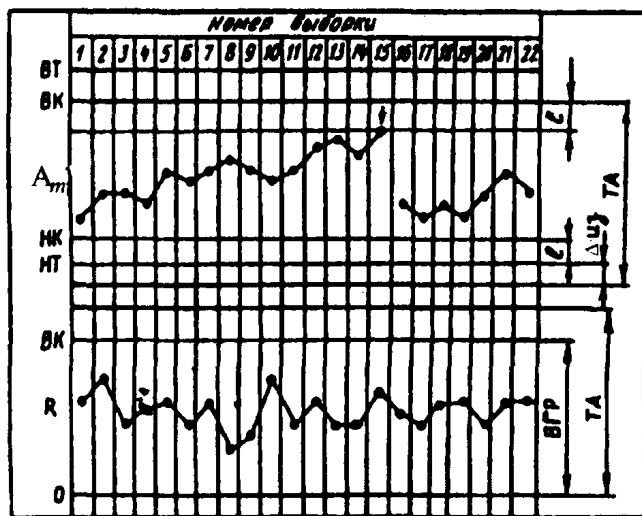


Рис. 5.2. Контрольная карта статистического регулирования методом средних и размахов

погрешность измерения. При обработке отверстий НТ совпадает с наименьшим предельным размером, а ВТ ниже верхней границы допуска на погрешность измерений  $\Delta_{из}$ . Обычно принимают  $\Delta_{из} = 0,1TA$ .

Допустимое поле изменения среднего арифметического  $A_m$  малой выборки ограничивается верхней (ВК) и нижней (НК) контрольными границами, которые отстоят от ВТ и НТ на одинаковом расстоянии  $l$ . В зависимости от значения  $K_{3,T}$  значение  $l$  выбирается по-разному. Если  $1,18 < K_{3,T} < 1,34$ , то  $l = KTA$ , где  $K$  – коэффициент, зависящий от размера выборки  $m$  следующим образом:

$m$ , ед.	4	5	6	7	8	9
$K$	0,25	0,276	0,296	0,311	0,322	0,334

Если  $K_{3,T} > 1,35$ , то значение  $l$  выбирается в зависимости от оценки мгновенного поля рассеяния, которая определяется в предварительных экспериментах.

На диаграмме размахов в пределах от нижней границы допуска до ВТ наносится одна верхняя граница размахов (ВГР), которая определяет допустимое значение размахов  $R = A_{max} - A_{min}$  в любой выборке. Если  $1,18 < K_{3,T} < 1,34$ , то ВГР =  $K_1TA$ , где  $K_1$  – коэффициент, зависящий от размера выборки следующим образом:

$m$ , ед.	4	5	6	7	8	9
$K_1$	0,780	0,815	0,840	0,860	0,875	0,890

Если  $K_{3,T} > 1,35$ , то значение  $l$  выбирается в зависимости от определенного заранее мгновенного стандартного отклонения размеров  $S$ . ВГР =  $K_2S$ , где  $K_2$  зависит от размера выборки:

$m$ , ед.	5	6	7	8	9
$K_2$	4,918	5,078	5,206	5,307	5,394

С позиций экономики выгодно увеличивать промежуток времени между взятием контрольных проб. Но при увеличении длительности межпроверочного периода возрастает вероятность брака. Оптимальное значение этого периода определяется экспериментально при внедрении технологического процесса со статистическим регулированием точности обработки.



### 5.1.3. Восстановление шероховатости поверхностей

*Шероховатость поверхностей* оказывает решающее влияние на износостойкость трущихся пар, сохранение зазора или натяга в сопряжениях, усталостную или циклическую прочность деталей при переменной нагрузке, коррозионную стойкость поверхностей и др.

Основные параметры шероховатости по ГОСТ 2789–81 – это среднее арифметическое отклонение профиля  $Ra$  и высота неровностей профиля по десяти точкам  $Rz$ . Параметр  $Ra$  дает более полную оценку шероховатости, так как для его определения измеряются и суммируются расстояния бесконечного множества точек действительного профиля до его средней линии, а при определении  $Rz$  измеряются расстояния только между вершинами и впадинами ограниченного количества точек. Параметр  $Ra$  применяют для измерения шероховатости со значениями 0,5...0,020 мкм включительно, а параметр  $Rz$  – 320...10 мкм включительно и 0,1...0,025 мкм включительно.

Все многообразие факторов, влияющих на шероховатость восстанавливаемых поверхностей, можно свести к трем группам – это причины, связанные: с геометрией процесса резания; пластической и упругой деформациями обрабатываемого материала; возникновением вибраций режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности.

Образование неровностей вследствие геометрических причин объясняют как копирование на обрабатываемой поверхности траектории движения и формы режущих лезвий и зерен. Форма и взаимное расположение неровностей в виде обработочных рисков определяются формой и состоянием режущих лезвий и теми элементами режима резания, которые влияют на изменение траектории режущих лезвий относительно обрабатываемой поверхности. В различных условиях обработки пластические и упругие деформации обрабатываемого материала и вибрации искажают геометрически правильную форму неровностей, нарушают их закономерное распределение на поверхности и в значительной мере увеличивают их высоту. В ряде случаев пластическое деформирование и вибрации вызывают продольную шероховатость, достигающую значительных размеров, и увеличивают поперечную шероховатость.

Увеличение подачи, главного  $\phi$  и вспомогательного  $\phi_1$  углов резца в плане приводит к росту высоты неровностей. При чистовом точении целесообразно пользоваться проходными резцами с малыми значениями углов  $\phi$  и  $\phi_1$ , при этом не следует без необходимости применять проходные резцы, возрастание радиуса закругления резца снижает высоту

шероховатости поверхности. Тщательная (желательно алмазная) доводка режущих поверхностей инструмента устраняет влияние его неровностей на обрабатываемую поверхность. Такая доводка заметно повышает стойкость инструмента.

При обработке пластичных материалов их поверхностный слой претерпевает пластическое деформирование, в результате которого значительно изменяются размеры (как правило, в большую сторону) и форма неровностей поверхностей. При обработке хрупких материалов наблюдается вырывание частиц металла, что также приводит к увеличению высоты и изменению формы неровностей.

Наибольшее влияние на развитие пластической деформации при точении оказывает скорость резания. Малые скорости резания (до 1 м/мин) приводят к небольшому повышению температуры и способствуют образованию элементной стружки. Неровности на обработанной поверхности незначительны. При скоростях резания 20...40 м/мин наблюдается наибольшая шероховатость за счет наростообразования на резце. В зоне скоростей  $> 70$  м/мин нарост не образуется, а шероховатость поверхности оказывается минимальной.

При шлифовании в режиме полного самозатачивания зерен параметр шероховатости  $Ra$  увеличивается пропорционально увеличению номера зернистости абразивного материала.

Различные виды механической обработки обеспечивают следующие значения параметров шероховатости.

**Обработка цилиндрических наружных поверхностей.** Обдирочное точение обеспечивают шероховатость  $Rz$  320...40 мкм, чистовое  $Rz$  40...20 мкм и  $Ra$  1,5...1,25 мкм и тонкое  $Ra$  1,25...0,32 мкм. При грубом шлифовании получается шероховатость  $Ra$  1,5...1,25 мкм, чистовом  $Ra$  0,63...0,32 мкм и тонком  $Ra$  0,32...0,08 мкм. Средняя притирка дает шероховатость  $Ra$  0,32...0,16 мкм, а тонкая  $Ra$  0,08...0,04 мкм и  $Rz$  0,1...0,05 мкм. Обкатывание роликом обеспечивает шероховатость  $Ra$  0,16...0,04 мкм. Чистовое суперфиниширование дает шероховатость  $Ra$  0,08...0,04 мкм, а тонкое  $Rz$  0,1...0,05 мкм.

**Обработка цилиндрических внутренних поверхностей.** Обдирочное растачивание обеспечивает шероховатость  $Rz$  320...80 мкм, чистовое  $Rz$  40...20 мкм и  $Ra$  1,5...1,25 мкм и тонкое  $Ra$  0,63...0,16 мкм: сверление  $Rz$  80...20 мкм. Черновое зенкерование дает шероховатости  $Rz$  80...20 мкм, а чистовое  $Rz$  20 мкм и  $Ra$  1,5...1,25 мкм. Чистовое развертывание обеспечивает шероховатость  $Ra$  1,25...0,63 мкм, а отде

лочное  $Ra$  0,63...0,16 мкм. При чистовом протягивании шероховатость  $Ra$  1,5...0,63 мкм, а отделочном 0,32...0,16 мкм. Внутреннее шлифование чистовое обеспечивает шероховатость  $Ra$  1,5...1,25 мкм, а тонкое  $Ra$  0,63...0,16 мкм. Калибрование шариком дает шероховатость  $Ra$  0,16...0,04 мкм. Средняя притирка дает шероховатость  $Ra$  0,32...0,16 мкм, а тонкая  $Ra$  0,08...0,04 мкм и  $Rz$  0,1...0,05 мкм. При предварительном хонинговании получается шероховатость  $Ra$  0,32...0,08 мкм, а окончательном  $Ra$  0,08...0,04 мкм.

**Обработка плоских поверхностей.** Обдирочное строгание обеспечивает шероховатость  $Rz$  320...80 мкм, чистовое  $Rz$  80...20 мкм и  $Ra$  1,5...1,25 мкм, тонкое  $Ra$  1,25...0,32 мкм. Цилиндрическое обдирочное фрезерование дает шероховатость  $Rz$  160...20 мкм и чистовое  $Rz$  40...20 мкм, торцовое обдирочное фрезерование  $Rz$  160...20 мкм и чистовое  $Rz$  40...20 мкм. Плоское грубое шлифование обеспечивает шероховатость  $Ra$  1,5...1,25 мкм, при чистовом и тонком  $Ra$  0,63...0,32 мкм. Средняя притирка дает шероховатость  $Ra$  0,32...0,16 мкм, а тонкая  $Ra$  0,08...0,04 мкм и  $Rz$  0,1...0,05 мкм.

Применяют качественный и количественный способы оценки шероховатости поверхности. Качественный способ основан на сравнении обработанной поверхности с образцом-эталоном или эталонной деталью. Количественный способ состоит в измерении шероховатости приборами контактного типа, которые делятся на *профилометры* и *профилографы*. Профилометры пригодны для измерения шероховатости  $Rz$  20...10 мкм и  $Ra$  2,5...0,02 мкм. У профилографа алмазная игла взаимодействует с зеркалом, на которое падает тонкий луч света. При перемещении по шероховатой поверхности игла и зеркало совершают колебания. Отраженный от зеркала луч света направляется через систему других зеркал на вращающийся барабан со светочувствительной бумагой, на которой записывается профилограмма, отображающая неровности с увеличением по вертикали в 200...100 000<sup>\*</sup> и по горизонтали в 0,5...2000<sup>\*</sup>. Записывающее устройство дает в прямоугольной системе координат значения параметров шероховатости  $Rz$  250...0,02 мкм и  $Ra$  60...0,05 мкм. Профилографы применяют для измерения шероховатости поверхностей ответственных деталей или образцов шероховатости в лабораторных условиях. Характеристики основных приборов для измерения шероховатости поверхностей, выпускаемых промышленностью СНГ, приведены в табл. 5.1.

### 5.1. Характеристики основных приборов для измерения шероховатости поверхностей

Тип	Параметр	Пределы измерения, мкм	Базовые длины, мм	Кратность увеличения	Условия контроля
Профилометр мод. 170621	$R_a$	0,02...10	1,5; 3; 6	—	Цеховые
		0,02...25	0,5; 1,25; 1,6; 4; 5		
Профилограф-профилометр мод. 280: профилограф профилометр	$R_a$ $R_a$ $R_z$	0,02...100 0,02...25 0,2...100	0,025; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5	По вертикали 500...200 000; по горизонтали 2...1000 (9 ступеней)	Цеховые и лабораторные
Профилограф-профилометр мод. 170311: профилограф профилометр	$R_a$ $R_a$ $R_z$	0,02...500 0,02...100 0,2...500	0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8; 10	По вертикали 100...100 000 (10 ступеней); по горизонтали 0,5...2000 (12 ступеней)	Лабораторные
Прибор светового сечения ПСС-2	$R_z$	0,8...40	0,25; 0,8; 2,5; 8	—	—
ОРИМ-1		0,4...40			
ПТС-1		40...320			
ТПС-4М		63...1600			

### 5.2. Восстановление износостойкости трущихся элементов

*Износостойкость* – это свойство покрытия (материала) оказывать в определённых условиях трения сопротивление изнашиванию. *Изнашивание* – это постепенное разрушение поверхностных слоев материала путем отделения его частиц под влиянием сил трения. Результат изнашивания называют *износом*. Его определяют по изменению размеров (линейный износ), уменьшению объема или массы (объемный или массовый износ).

Задача восстановления и обеспечения износостойкости детали решается рациональным выбором материала покрытия и способа его нане-

сения и обработки (разд. 3.2.2). При выборе покрытия необходимо учитывать, что износостойкость зависит не только от свойств материала покрытия, но и в значительной степени от условий работы детали. Условия работы (см. табл. 3.3) отличаются таким большим разнообразием, что не существует универсального износостойкого материала. Покрытие, устойчивое к изнашиванию в одних условиях, может катастрофически быстро разрушаться в других. Между износостойкостью и механическими свойствами материала (твердость, прочность и др.) нет прямой связи. Поэтому контроль только механических свойств поверхности восстановленной детали недостаточен.

Износостойкость покрытия в заданных условиях трения определяют экспериментальным путем. Триботехнические испытания материала покрытий и восстановленных деталей разделяют на лабораторные, стендовые и натурные. Наиболее полную и объективную информацию об износостойкости деталей дают производственные (натурные) испытания машин с восстановленными деталями.

Детали, подвергающиеся изнашиванию, подразделяются на две группы: 1) детали, образующие пары трения; 2) детали, изнашивание которых вызывает внешняя рабочая среда (жидкость, абразивные частицы, газ и др.). Требуемый уровень восстановления износостойкости деталей зависит от того, к какой группе принадлежит деталь.

Примерами деталей первой группы являются подшипники скольжения, детали цилиндропоршневой группы гидравлических, пневматических механизмов и двигателей внутреннего сгорания, а также зубчатые передачи. Характерные виды изнашивания деталей первой группы – абразивное (твердыми частицами, попадающими в зону контакта), адгезионное, окислительное, усталостное, фреттинг.

Деталь, работающая в трибопаре, является частью механизма. Ее износостойкость и ресурс должны быть согласованы с ресурсом всего механизма, т.е. ресурс детали должен быть кратен межремонтному ресурсу всего агрегата. Двукратное, а тем более трехкратное повышение износостойкости восстановленной детали по отношению к новой – чрезвычайно дорогая как технически, так и экономически задача. Целесообразным при восстановлении этих деталей является обеспечение износостойкости и ресурса, близких к новой детали.

Для деталей второй группы характерно отсутствие трибопары в традиционном понимании. Эти детали подвержены только разрушающему воздействию внешней среды. Для них типично абразивное изнашивание, например истирание почвой плужных лемехов, гидро- и газоабразивное

твердыми частицами, перемещаемыми жидкостью или газом; эрозионным потоком жидкости или газа; кавитационное от гидравлических удар жидкости. Интенсивность изнашивания этих деталей велика. Ресурс всего механизма лимитируется именно работоспособностью этой детали. Для этих деталей актуально не только восстановление, но и упрочнение. Степень повышения износостойкости восстановленных деталей будет равносильна повышению работоспособности всего агрегата.

Основными факторами, обеспечивающими износостойкость покрытия, являются:

- структура покрытия;
- геометрическое и физико-механическое состояния поверхностного слоя покрытия;
- совместимость материала покрытия с контртелом в паре трения.

Возможны два основных вида структур покрытий: однородные и гетерогенные. Наибольшее распространение в силу высоких эксплуатационных свойств получили гетерогенные покрытия и слои. Существуют следующие основные пути получения гетерогенных структур восстановительно-упрочняющих слоев и покрытий (см. рис. 3.3):

- создание эвтектических композиций;
- получение метастабильных пересыщенных твердых растворов и последующая гетерогенизация при термической обработке;
- сохранение исходного композиционного строения частиц в покрытии при отсутствии их полного расплавления;
- введение дисперсной упрочняющей фазы в осаждаемое на изношенной поверхности гальваническое покрытие.

Износостойкость гетерогенного покрытия зависит от механических свойств, соотношения и формы расположения структурных составляющих покрытия (см. разд. 3.2.3). Высокой износостойкостью обладают гетерогенные покрытия, структура которых состоит из частиц твердой карбидной, боридной или нитридной фазы, удерживаемых в высокопрочной стальной, никелевой или кобальтовой матрице (см. табл. 3.19–3.23).

Геометрическое состояние поверхностного слоя покрытия определяется шероховатостью и наличием смазочных карманов поверхности. Резервуары смазочных карманов или резервуаров могут выполнять поры покрытия или размерные углубления на поверхности.

Износостойкостью покрытий можно управлять, изменяя их *пористость*. Поры выполняют роль резервуаров для смазочного вещества, которое по мере износа покрытия выдавливается из его объема и попадает в зону трения, способствуя восстановлению граничной пленки. На

более эффективно получение пористых покрытий газотермическим напылением. Эти покрытия для улучшения износостойкости дополнительно пропитывают смазочными веществами. Роль смазочных резервуаров в ряде случаев могут выполнять дискретные или непрерывные углубления на поверхности трения, получаемые накаткой. Примером является накатка поверхностей поршней из алюминиевого сплава, работающего в паре с поверхностью стального цилиндра.

Эффективным способом повышения износостойкости деталей в паре трения является изменение физико-механического состояния поверхностного слоя. Наиболее целесообразным способом такого изменения является *финишная антифрикционная безабразивная обработка* (ФАБО). Сущность ФАБО состоит в том, что поверхность трения деталей покрывают тонким слоем латуни, бронзы или меди. Обрабатываемую поверхность обезжиривают, а перед нанесением покрытия покрывают глицерином или раствором на основе глицерина. Нанесение покрытия заключается во фрикционном натирании медного сплава на стальную поверхность (табл. 5.2). Натирают как металлические стержни и щетки, так и вращающиеся сферические или цилиндрические ролики. Толщина антифрикционного слоя латуни на стали при ФАБО 2...3 мкм, бронзы и меди 1...2 мкм. Шероховатость исходной поверхности должна быть около  $Ra$  2,5 мкм. Как правило, ФАБО несколько уменьшает шероховатость поверхности. При малых параметрах шероховатости поверхности ( $Ra$  0,63...0,08 мкм) ФАБО не изменяет их значений.

Покрытия, нанесенные способом ФАБО, обеспечивают положительный градиент механических свойств (мягкая пленка покрывает более твердую поверхность), увеличивают площадь фактического контакта и снижают силу трения, пластифицируют поверхность трения. Все это способствует лучшей прирабатываемости и более высокой износостойкости восстановленных деталей.

Важными составляющими физико-механического состояния поверхностного слоя являются значение и знак остаточных напряжений в поверхностном слое. Необходимо стремиться к получению сжимающих напряжений в покрытии.

Уровень и знак напряжений зависят от ряда факторов. Рассмотрим их.

1. Соотношение коэффициентов объемного расширения материала покрытия и основы. Для уменьшения растягивающих напряжений необходимо, чтобы коэффициент объемного расширения покрытия был не больше, чем у металла основы.

5.2. Параметры технологии нанесения покрытий способом ФАБО

Материал детали	Рабочая жидкость	Материал стержня	Параметры обработки				Область применения
			Давление прижима, МПа	Скорость обработки поверхности детали, м/с	Продольная подача, мм/об	Число ходов	
1	2	3	4	5	6	7	8
Сталь 30ХГСА		Латунь Л62	120...150	0,15...0,2	0,1...0,2	1...2	Малоподвижные тяжело нагруженные детали
Сталь 45	Глицерин	Мель, бронза БрОЦС 6-6-3, латунь Л62	80...100 60...80 40...70	0,15 0,2	0,2	3...4	
Сталь 12Х18Н9Т	10 мл орто-фосфорной кислоты + 10 мл анилина + 50 мл глицерина	Латунь	70	0,1	0,08	2...3	Шейки валов
Сталь 35 (нормализация)	Глицерин						
Сталь 30ХГСА, Х12М, ХВГ, 12Х18Н9Т	33 % глицерина + 67 % 10%-ного раствора HCl	Латунь Л62, бронза БрОФ-10-1	50...70	0,1...0,2	0,1...0,2	2...3	Прессовая посадка гребного винта
							Золотниковые и плунжерные пары топливной аппаратуры двигателей



Сталь 38Х2МЮА азотирующая; сталь с наплавочным слоем	40 % глицина + 60 % 10%-ного раствора HCl	Латунь Л63	80...120	0,5...0,6	0,22	1...2	Детали цилиндропоршневой группы двигателей
Сталь 35 (нормализация)	Глицерин с добавкой HCl		120	0,06	0,2		Резьбовые соединения
Высоколегированные стали, серый чугун	Глицерин	Латунь Л58	230...690	0,05...0,2	0,1...0,4	2...3	Гильзы цилиндров двигателей внутреннего сгорания
Стали 45, 40Х, 65Г		Медь, латунь	80, 100	0,2	0,1		Валы, штоки гидроцилиндров
Серый чугун		Латунь Л63	270	0,14	0,15	4	Валы двигателей
Перлитный чугун	Глицерин + активатор	Латунь	70	0,3	0,2	—	Гильзы цилиндров дизель-генераторов
Серый чугун	Глицерин	Латунь Л63	64...95	0,3...0,5	0,3...0,6	4	Гильзы цилиндров двигателей

2. Режимы окончательной механической обработки. Для уменьшения растягивающих напряжений требуется, чтобы нагрев детали при окончательной механической обработке был минимальным. В этом случае упрочнение от сил резания в поверхностном слое сформирует сжимающее напряжение в поверхностном слое покрытия.

3. Наличие поверхностной пластической деформации (ППД). Наклеп поверхности при ППД обеспечивает формирование сжимающих напряжений в поверхностном слое. Чем выше твердость, тем значительнее эффект от обработки ППД. Например, для поверхности детали из стали 45 при усилии обкатки 2250 МПа достигаются сжимающие напряжения 400...500 МПа на глубине до 1,0 мм.

Длительная устойчивая работа сопряженных деталей трения требует их совместимости. Под *совместимостью* понимают свойства материалов предотвращать схватывание при работе без смазочного материала или в условиях нарушения сплошности масляного слоя и обеспечивать высокую износостойкость пары трения. Совместимость деталей достигается рациональным подбором материала покрытия. Ниже приведены некоторые правила сочетания материала в паре трения (по Д.И. Гаркунову).

1. Сочетается твердый материал с мягким, который имеет температуру рекристаллизации ниже средней температуры поверхности трения при работе. Такое сочетание хорошо противостоит заеданию и высоконадежно. Поэтому при восстановлении шеек валов подшипников скольжения необходимо стремиться обеспечивать высокую твердость поверхности вала.

2. Сочетается твердый материал с твердым (сочетание пар из азотированной, хромированной и закаленной сталей). Такие пары трения обладают высокой износостойкостью из-за малого взаимного внедрения поверхностей. Нанесение приработочных покрытий повышает их надежность. Высокая жесткость этих пар трения требует повышения точности изготовления и сборки и минимальной шероховатости сопрягаемых поверхностей. Эффективным для этих пар трения является ФАБО.

3. Следует избегать сочетания мягкого материала с мягким, а также пар из одноименных материалов (незакаленная сталь по незакаленной стали, алюминиевые сплавы друг по другу, медный сплав по алюминиевому сплаву). Подобные пары имеют низкую износостойкость и ненадежны в работе. При незначительных перегрузках в парах образуются очаги схватывания и происходит глубинное вырывание материалов с взаимным налипанием на поверхности трения.

### 5.3. Восстановление прочности деталей и герметичности их стенок и стыков

#### 5.3.1. Восстановление прочности материала детали

Повреждения, приводящие к нарушению прочности стенок панелей и корпусных деталей, в том числе и в нагруженных их частях, представляют собой трещины, разрывы и пробоины. Применяют сварку трещин, установку и закрепление дополнительных ремонтных деталей, установку фигурных вставок.

При восстановлении *прочности* учитывают материал детали, размеры повреждения и другие факторы. Качество присадочного материала при газовой сварке в большой степени определяет прочность сварочного соединения. Металл присадочного прутка по своим химическим и физико-механическим свойствам должен быть примерно таким, как и металл детали, и отличаться в сторону увеличения легкоокисляющихся элементов.

#### 5.3.2. Устранение трещин и пробоин в стенках детали

Трещины устраняют расплавлением их стыков с нанесением расплавленного металла сваркой, установкой стяжных вставок и заклеиванием полимерными композициями. На пробоины стенок устанавливают накладки (металлические и стеклотканевые), которые закрепляют сваркой или клеем. Способы сварки и установки стяжных вставок были рассмотрены в разд. 3.9.3 и 3.9.4.

Нанесение клеевых полимерных композиций отличается простотой, небольшой трудоемкостью и не требует сложного оборудования. Эти композиции образуют с поверхностью восстанавливаемой детали прочное соединение.

Наибольшее распространение в ремонте получили *эпоксидные композиции* на основе эпоксидных смол. Под эпоксидными смолами понимают полимеры, содержащие в своих молекулах эпоксидные группы  $\text{CH}_2\text{—O—CH}$ , которые обладают высокой реакционной способностью. Сырьем для производства смол служат газы (дифенилонпропан и эпихлоргидрин) — продукты нефтепереработки. Эпоксидные смолы представляют собой вязкие жидкости, требования к ним регламентированы ГОСТ 10587–76 (табл. 5.3).

## 5.3. Основные виды эпоксидных смол

Марка	Средняя молекулярная масса, г/моль	Содержание эпоксидных групп, мас. %
ЭД-14	540...620	13,9...15,9
ЭД-16	480...540	16,0...18,0
ЭД-20	390...430	19,9...22,0
ЭД-22	≤ 300	21,1...23,5

Наибольшее применение получила смола ЭД-16. Смолы ЭД-20 ЭД-22 менее вязки и применяются для заделки тонких трещин. Последние смолы обладают большими прочностью на изгиб и ударной вязкостью, но имеют значительную усадку, что снижает прочность их соединения с металлом.

Неотвержденные эпоксидные смолы легко растворяются в органических растворителях (ацетоне, толуоле и др.) и в таком состоянии имеют ограниченное применение, например для стабилизации поливинилхлорида. Ценные физико-механические свойства эпоксидные смолы приобретают в отвержденном состоянии. При взаимодействии с аминами и к слотами эти смолы при затвердевании приобретают значительные теплостойкость и прочность.

*Отвердители* смол делятся на две группы: холодного (16...20 °С) горячего (100...200 °С) отверждения. К первой группе относятся: полэтиленполиамин (ПЭПА), этилендиамин, гексаметилентриамин и другие отвердители. Во вторую группу входят: ангидриды декарбоновых кислот (малеиновый, фталевый и др.), ароматические амины (триэтаноламин, метафенилендиамин и др.) и амины кислот (дициандиамин). Характеристика наиболее распространенных отвердителей для смолы ЭД-16 приведена в табл. 5.4.

*Пластификаторы* добавляют в эпоксидные смолы для придания композиции эластичности, так как отвержденные смолы довольно хрупкие, не выдерживают вибраций и ударов. Жидкие пластификаторы снижают начальную вязкость состава, повышают его жизнеспособность, облегчают введение в него наполнителей, снижают теплостойкость, склонность к старению. В качестве пластификаторов используют высокомолекулярные малолетучие жидкости: дибутилфталат (ДБФ), диметилфталат, трикрезилфосфат, низкомолекулярные полиамидные смолы Л-18, Л-19 и Л-20. Режимы отверждения некоторых эпоксидных составов приведены в табл. 5.5.

## 5.4. Характеристика отвердителей

Отвердитель	Содержание в композиции, мас. %	Температура плавления, °С	Температура отверждения, °С
ПЭПА	9...12,6	10	20...120
Гексаметилендиамин	9...13,5	42	20...120
Малеиновый ангидрид	27...40	63...64	120...150
Фталевый ангидрид	43...62	131,6	120...180
Дициандиамин	7...8	200...205	180...200

5.5. Режимы отверждения  
эпоксидных составов на основе эпоксидной смолы ЭД-16

Отвердитель	Температура отверждения, °С	Время отверждения, ч	
		минимальное	оптимальное
ПЭПА	20	24	70...160
	40	8...10	45...50
	60	2...3	20...24
	80	1...1,6	5
	100	1	3
Фталевый ангидрид	15	20	60
	30	15	45
	50	10	30
	100	7	20
	180	0,5	1
	200	0,5	0,7

*Наполнители* в виде тонкоизмельченных порошков вводят в эпоксидный состав для снижения внутренних напряжений из-за разности коэффициентов термического расширения составляющих материалов, уменьшения усадки, лучшего заполнения зазоров, регулирования вязкости, повышения электро- и теплопроводности и снижения стоимости состава. Виды и условия применения некоторых наполнителей даны в табл. 5.6.

**5.6. Рекомендуемое количество наполнителей (г на 1 г смолы)  
для приготовления эпоксидной композиции**

Наполнитель	ЭД-16	ЭД-20
Железный порошок	2,00	1,60
Графит	0,80	0,40
Алюминиевая пудра	0,25	0,20
Бронзовая пудра	1,30	0,80
Кварцевая мука	2,30	1,50
Портландцемент	2,00	1,20
Измельченный асбест	1,00	0,85
Белая сажа	Не содержится	0,35
Фарфоровая мука	1,50	1,45

Свойства основных составов эпоксидной композиции приведены в табл. 5.7.

Процесс приготовления эпоксидной композиции следующий. Смолу разогревают при температуре 60...70 °С до жидкого состояния и в нее вводят необходимое количество пластификатора. После тщательного перемешивания веществ в смесь добавляют наполнитель и непосредственно перед употреблением – отвердитель. В течение 25...30 мин после введения отвердителя композиция должна быть использована. Эпоксидные композиции относятся к термореактивным пластмассам, которые при нагревании переходят в неплавкие и нерастворимые вещества. Токсичная во время приготовления композиция становится безвредной после ее полного отверждения.

Области применения эпоксидных композиций следующие (табл. 5.8). Составы 3, 4 и 8 применяют для заделки трещин и пробоев на стенках корпусных деталей, трещин на стенках емкостных деталей (баков, радиаторов) и герметизации мест сварки или пайки. Внутренние трущиеся поверхности втулок и вкладышей восстанавливают составами 5, 6 и 7. Изношенные шейки валов или опоры подшипников в корпусных деталях ремонтируют посредством составов 6, 7 и 8. Износ наружных поверхностей втулок и резьб устраняют составами 1, 2, 3 и 9. Трещины и пробоевы в аккумуляторных батареях и электроизолирующих деталях заделывают составом 3.

## 5.7. Физико-механические свойства эпоксидных составов

Компонент	Массовая доля	Предел прочности, МПа		Твердость по Бринеллю, МПа	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	Теплостойкость по Мартенсу, °С
		Сжатие	Изгиб			
ЭД-16 ДБФ Железный порошок ПЭПА	0,351 0,053 0,561 0,035	54...60	40...45	120...150	4,0...5,0	60
ЭД-16 ДБФ Портландцемент ПЭПА	0,400 0,080 0,480 0,040	45...60	30...35	110...130	1,5...3,0	50
ЭД-16 ДБФ Графит ПЭПА	0,690 0,069 0,172 0,069	46...57	25...32	130...170	2,0...3,0	59
ЭД-16 Полиэфир Графит Малеиновый ангидрид	0,540 0,054 0,190 0,216	110	46,4	130...160	4,0	68
ЭД-16 ДБФ Каолин Малеиновый ангидрид	0,546 0,055 0,180 0,219	156	65,5	130...160	2,0	56
ЭД-16 ДБФ Титановые белила Малеиновый ангидрид	0,654 0,065 0,216 0,065	200	80	213	4,5	85
ЭД-16 ДБФ Цемент-500 ПЭПА	0,422 0,042 0,506 0,030	45...60	35...50	110...130	2,0...3,5	50

## 5.8. Составы композиций на основе эпоксидных смол

№ п/п	Количество компонентов, мас. части				Свойства	
	Эпоксидная смола		ДБФ	ПЭПА		Наполнитель
	ЭД-16	ЭД-20				
1	100	—	15...20	10...11	—	Маловязкая композиция
2	—	100	10...15	12...13		
3	100	—	15...20	10...11	Молотая слюда 40	Высоковязкие композиции, не стекающие с наклонных поверхностей
4			20		Молотая слюда 40; алюминиевая пудра 5; белая сажа 35	
5			15		Графит 40...50	
6			15...20		Железный порошок 120; графит 20	
7	—	100	10	12...13	Стальной порошок 150; графит 25	Хорошая теплопроводность, низкий коэффициент трения, высокий модуль упругости
8	100	—	15...20	10...11	Железный (чугунный) порошок 150	Высокий модуль упругости
9			45	9	—	Высокая адгезионная и когезионная прочность

Порядок устранения пробоин следующий. Изготавливают металлическую накладку толщиной 0,5...0,8 мм из расчета, чтобы она перекрывала границы пробоины на 15...20 мм со всех сторон. Вырезают также лоскуток стеклоткани, размеры которого соответствуют размерам накладки. Зачищают поверхность накладки и восстанавливаемой детали, чтобы



границы зачищенной поверхности детали выходили за контур накладки. На зачищенной поверхности детали делают насечки зубилом и обезжиривают соприкасающиеся поверхности.

На мазеобразную пластмассу, покрывающую трещину, накладывают полосу стеклоткани, которую закрывают накладкой из стали с нанесенным компаундом. Накладку прикатывают роликом и оставляют соединение до затвердевания состава.

### 5.3.3. Клеевые композиции

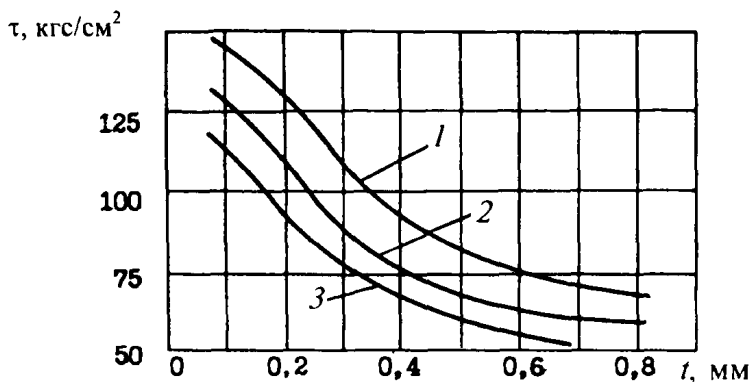
Клеи в ремонтном производстве применяют для склеивания металлов как между собой, так и с другими материалами. Клеевой слой является изолирующей прокладкой, поэтому склеивание металлов с различными электродными потенциалами не вызывает возникновения очагов контактной коррозии.

Адгезия поверхностей при склеивании обеспечивается главным образом силами притяжения друг к другу полярных молекул и возникновением двойного электрического слоя на границе материалов. Молекулы стремятся занять такое положение, чтобы положительные и отрицательные заряды их были нейтрализованы. При этом условии потенциальная энергия на поверхности соприкосновения материалов минимальна и всякое изменение этого положения требует значительных усилий. Для большинства синтетических клеевых материалов наиболее распространена ковалентная связь. Кроме того, длинные полимерные молекулы проникают в трещины и поры металла, это явление ускоряется при нагревании материала и сближении соединяемых поверхностей.

Прочность клеевого соединения зависит от толщины его слоя (рис. 5.3). Прочность тем выше, чем тоньше клеевая пленка. Такое повышение прочности склеивания объясняется ориентирующим влиянием твердой поверхности на формирование клеевых волокон. Для большинства клеев оптимальная толщина пленки 0,05...0,25 мм.

При ремонте машин для склеивания металлов, неметаллов и их сочетаний широко применяют следующие клеи:

- фенольно-поливинилацетальные – БФ-2, БФ-4, в том числе с кремнийорганическими и другими добавками – ВС-10Т и ВС-350;
- фенольно-каучуковые – ВК-3, ВК-4, ВК-13, ВК-32-200;
- кремнийорганические – ВК-2, ВК-8, ВК-10, ВК-15, К-300;
- эпоксидные – ВК-32ЭМ, ВК-1, ВК-1МС, ВК-9, К-153, КЛН-1, эпоксиды П и Пр;
- полиуретановые – ПУ-2, ВК-5;



**Рис. 5.3.** Зависимость прочности клеевого соединения  $\tau$  при сдвиге (клей ПУ-2 на дюралюминии) от толщины  $l$  клеевой прослойки:  
1 – 3 – при 60; 20 и  $-60$  °C соответственно

- метилполиамидно-фенольный – МПФ-1;
- фенольно-формальдегидный – ВИАМ-БЗ;
- на основе наиритового каучука и фенольной смолы – 88 ПН.

Клеи выпускают в готовом к использованию виде или в форме компонентов, смешиваемых перед употреблением.

Для склеивания металлов между собой и с неметаллами применяют клеи: БФ-2, БФ-4, ВС-10Т, ВС-350, ВК-3, ВК-4, ВК-13, ВК-32-200, ВК-2 ВК-8, ВК-10, ВК-32ЭМ, ВК-1, ВК-1МС, ВК-9, К-153, КЛН-1, эпоксиды П и Пр, ПУ-2, ВК-5, МПФ-1.

Для склеивания тканей и приклеивания различных материалов к металлам используют клеи ВК-32-200, 88 НП. Резину к металлам приклеивают клеями 88 НП и лейканат.

Процесс склеивания деталей включает такие операции: подготовку склеиваемых поверхностей, нанесение клея, выдержку поверхностей в открытом положении, сборку, выдержку под давлением, выдержку вне прессы, обработку шва, проверку качества.

Подготовка склеиваемых поверхностей заключается в подгонке их друг к другу, очистке и придании им необходимой шероховатости. Плотная подгонка поверхностей делается с целью создания условий для молекулярного взаимодействия между клеем и склеиваемыми поверхностями при оптимальной толщине клеевой пленки. Грязь, масло и жиры тщательно удаляют с поверхности органическими растворителями. Это создает условия для повышенной адгезии с металлом промежуточных слоев клеевой композиции. Фактическую площадь склеивания увеличивают

механической обработкой (резанием лезвийным инструментом или абразивной шкуркой, дробеструйной обработкой) или травлением в водных растворах кислот и их солей.

Качество клеевого шва в значительной степени зависит от условий нанесения клея. Исходное состояние клеев различно: жидкое, пастообразное, твердое, в виде пленки, порошка, прутка, а поэтому и способы их нанесения на склеиваемые поверхности различные.

Качество склеивания контролируется выборочно путем измерения механических характеристик шва.

#### 5.3.4. Уплотнение стыков

Для уплотнения стыков деталей применяют *герметизирующие пасты и прокладки*.

Невысыхающие пасты и замазки УН-01 и У-20 выпускают на основе полиизобутилена. Герметики 14НГ-1 и 14НГ-2 изготовляют на основе этиленпропиленового каучука. Материал У-20А применяют для герметизации резьб, заклепочных соединений, резины со стеклом, сопряжений типа водяной патрубков – впускная труба и корпус водяного насоса – крышка. Материал УН-25 повышает маслостойкость прокладок. Уплотняющие материалы обладают противозумными и антикоррозионными свойствами.

Эластосил 137-83 вулканизируется при контакте с влагой воздуха, при этом образуется резиноподобный материал (диапазон рабочих температур  $-60...+30$  °С). Средство применяют для неподвижных соединений, работающих в водяной, воздушной и масляной средах.

Посадку гильз в блоке цилиндров уплотняют силиконовым герметиком КЛТ-30Б. Использование эластомера ГЭН-150 перспективно для восстановления натягов и герметизации соединений.

Для уплотнения стыков в узлах машин служит новый вид герметизирующего материала – жидкие уплотняющие прокладки. Применение их повышает надежность соединений при одновременном снижении расхода традиционных прокладочных материалов. Они представляют собой вязкие массы или пасты на основе полимеров (полиэтилена, полиизобутилена, поливинилхлорида, поливинилбутираля, силиконовых или бутадиен-акрилонитрильных каучуков), содержащих необходимые добавки. Прокладки обладают высокой стойкостью к вибрациям и ударам, они могут применяться в широком диапазоне температур и давлений, не вызывая коррозии в процессе эксплуатации.

прокладки ГИПК (Государственного института полимерных клеев, ) не прикипают к уплотняемым соединениям, а после разборки легко удаляются с поверхности разъема. Удельный расход материала составляет 200...400 г/м<sup>2</sup>.

Жидкие прокладки по сравнению с твердыми свободно меняют форму и легко заполняют все микродефекты уплотняемых поверхностей, тем самым обеспечивая полную герметизацию стыка. Это снижает требования к пригонке сопрягаемых поверхностей, износ соединений и удоемкость их восстановления.

Жидкая уплотняющая прокладка ГИПК-242 предназначена для герметизации неподвижных соединений стыков деталей, работающих в водяной, пароводяной и воздушной средах.

Жидкая уплотняющая прокладка ГИПК-244 применяется для герметизации неподвижных соединений деталей и узлов, работающих в воздушной, водяной, пароводяной, щелочной, кислотной и маслобензиновой средах. Прокладка ГИПК-244А служит для герметизации фланцевых соединений с рабочим давлением до 0,6 МПа и штуцерных соединений с рабочим давлением до 4 МПа. Прокладка ГИПК-244Б уплотняет соединения, работающие под давлением 8...15 МПа; при этом рабочие поверхности могут иметь коррозионный износ и неустраняемые зазоры > 0,2 мм.

Жидкие прокладки вначале разогревают до температуры 80 °С, а затем их наносят тонким слоем на одну из сопрягаемых поверхностей с помощью шпателя. Составы наносят слоем до 0,5 мм.

Жидкая прокладка ВАТТ-3 (промышленная марка КЛТ-75), разработанная на основе самовулканизирующегося низкомолекулярного силоксанового каучука, затвердевает в течение 10 мин. Агрегат, в котором герметизировано соединение с помощью этого материала, допускается к работе через 20...30 мин после его нанесения. Работоспособность этой прокладки сохраняется в течение 3 лет, а длительность хранения > 5 лет. Она заменяет картонные, паронитовые и резиновые прокладки, а в отдельных случаях асбестовые, пробковые и фибровые материалы. Жидкая прокладка ВАТТ-3 позволяет восстанавливать поврежденные металлоасбестовые прокладки, шланги и изоляцию электрических проводов.

Для уплотнения стыков, резьб и пропитки стенок с течами применяют Локтайт сер. 500. Локтайт 510 служит для уплотнения плоских поверхностей, Локтайт 542 – для уплотнения соединений гидравлических трубопроводов, Локтайт 573 – универсальный материал для уплотнения различных поверхностей, а Локтайт 577 – для уплотнения трубных резьб.

#### 5.4. Восстановление усталостной прочности элементов детали

Знакопеременную нагрузку воспринимают вращающиеся валы, детали подвесок и кузовов. Среди вращающихся деталей наиболее подвержены усталостному разрушению коленчатые валы. Усталостные повреждения в них накапливаются из-за кратковременных перегрузок двигателя, неравномерного износа шеек, неравномерной подачи топлива в цилиндры и несоосности коренных опор блока цилиндров, что приводит к нагрузкам на детали, превышающим расчетные. Усталостные повреждения вначале проявляются в виде микротрещин, которые превращаются в макротрещины.

Усталостные разрушения развиваются с поверхностного слоя. Поэтому предел выносливости в отличие от других прочностных характеристик (жесткости, пределов упругости, текучести и прочности) во многом зависит от состояния поверхности детали. Уменьшение шероховатости контактирующих поверхностей повышает предел выносливости детали, а также снижает удельные нагрузки в сопряжении, а значит, и изнашивание трущихся поверхностей.

Предельно изношенные коленчатые валы по сравнению с новыми деталями имеют следующие значения относительного *остаточного предела выносливости*: Д-240; СМД-14; ЯМЗ-236 (238) и СМД-60 соответственно 0,79; 0,75; 0,70 и 0,83. Значения этой величины для деталей, шлифованных последовательно под ремонтные размеры, находятся в пределах 0,77...0,94. Новые коленчатые валы двигателя Д-50, шлифованные сразу под четвертый ремонтный размер, теряют 9,7 % предела выносливости. Следовательно, в большей степени усталостная прочность коленчатого вала снижается при эксплуатации в связи с накоплением усталостных повреждений в опасных сечениях.

Влияние способа восстановления коленчатых валов на усталостную прочность коленчатых валов Д-240, СМД-14 и А-41 приведено в табл. 5.9.

Как правило, усталостные трещины у дизелей находятся в зоне перехода галтелей щеки вала в плоскости кривошипа, а у карбюраторных двигателей – в центральной части шеек в зоне маслопроводных отверстий. Опасную нагрузку у дизеля создает изгибающий момент, а у карбюраторного двигателя – крутящий. Более половины трещин расположено на шатунных шейках.

5.9. Коэффициент выносливости  $k_B$  стальных коленчатых валов

Техническое состояние, технологические способы	$k_B$
Новые:	
– упрочненные обкаткой роликом	1,21
– после холодной правки	0,89
Предельно изношенные	0,81
Наплавленные порошковой проволокой ПП-3Х2В	0,77
Наплавленные проволокой Нп-30ХГСА под слоем флюса с последующими нормализацией, закалкой ТВЧ, отпуском, упрочнением галтелей ППД*	1,09
То же, без упрочнения галтелей	0,90
Наплавленные проволокой Нп-65Г с последующими нормализацией, закалкой ТВЧ, низким отпуском, упрочнением галтелей ППД	0,98
То же, без упрочнения галтелей	0,83
* Поверхностное пластическое деформирование.	

Трещины в зависимости от места их расположения оказывают разное влияние на предел выносливости коленчатого вала дизельного двигателя. *Опасны трещины*, находящиеся: на галтелях шеек и на их цилиндрической части на расстоянии  $< 6$  мм от торцев шеек; на кромках отверстий масляных каналов при длине  $> 15$  мм, расположенные под углом  $30^\circ$  к оси шейки; на расстоянии  $< 10$  мм друг от друга. Детали с перечисленными повреждениями подлежат выбраковке. *Неопасными* являются: продольные трещины (не более трех) длиной  $> 5$  мм на поверхности каждой коренной шейки; не выходящие в зону галтели и находящиеся на расстоянии  $> 10$  мм друг от друга; расположенные под углом  $< 30^\circ$  к оси вала.

Шлифование шеек карбюраторных двигателей удаляет поверхностные слои с усталостными повреждениями, а нанесение покрытий разгружает наиболее напряженные слои металла. Все это способствует восстановлению их ресурса. Однако полностью снять шлифованием разрушенные слои металла коленчатых валов дизельных двигателей в зоне галтелей затруднительно, поэтому их ресурс целиком восстановить не удастся.

Трещины, отнесенные к разряду безопасных, подлежат разделке абразивным кругом по всей длине для образования канавки радиусом 1,5 мм и глубиной 0,2...0,4 мм, т.е. заведомо меньшей, чем глубина залегания трещины. Острые кромки следует притупить по периметру. Трещина не появится вновь при эксплуатации детали, если в зоне канавки будет создан наклеп. Ложе канавки у разделанной трещины упрочняют виброударным инструментом в течение 5...8 с для создания сжимающих напряжений. Наклеп проводят с помощью пневматического инструмента (марок 57, КМП14М, КМП-2М) с энергией удара 2,5...5 Дж. Местное упрочнение является эффективной мерой по восстановлению нарушенного упрочненного слоя после снятия уставшего металла в зоне концентраторов напряжений.

*Усталостная прочность* зависит от поверхностной прочности, наличия в поверхностных слоях остаточных напряжений сжатия и микрогеометрии поверхности.

Для повышения усталостной прочности восстанавливаемой шейки рекомендована наплавка ее цилиндрической части и галтели проволоками разного химического состава. Так, галтель наплавляют проволокой Св-08 под флюсом АН-348, а цилиндрическую часть – проволокой Нп-30ХГСА под смесью флюсов (30 % АН-348 + 70 % АНК-18). При этом твердость металла имеет значения соответственно 20...24 и 50...56 HRC. Предусмотрена наплавка цилиндрической части шейки вала, исключая галтель. В этом случае применяют порошковую проволоку ПП-АН-122 или ПП-АН-128, проволоку Нп-30ХГСА и смесь флюсов АН-348 и АНК-18. После наплавки зону галтелей шлифуют по радиусу, равному радиусу скругления у нового вала, с углублением в тело шейки на 0,4...0,5 мм. Полезно зону галтелей после шлифования обработать дробью. Перед установкой и приваркой дополнительной ремонтной детали в виде стальных закаленных полуколец на шейки коленчатого вала из высокопрочного чугуна необходимо нанести разгружающие выточки на галтелях в плоскости, перпендикулярной плоскости кривошипа.

Усталостную прочность восстанавливаемых деталей повышают наклепом, который создает в поверхностном слое металла сжимающие остаточные напряжения. Применяют следующие виды механического упрочнения поверхностей деталей: обкатывание, дробеструйную и центробежную обработку, чеканку, выравнивание.

Механическое упрочнение рекомендуется и для повышения усталостной прочности элементов деталей, восстановленных наплавкой, гальваническими покрытиями и напылением. В ходе поверхностного пластического деформирования значительное число трещин, находящихся

ся в поверхностном слое, смыкается, а объем этого слоя становится цельным. Поверхностный наклеп выравнивает значения физических свойств различных участков поверхности, местные возникающие напряжения подавляются вновь созданными сжимающими напряжениями, которые повышают предел выносливости материала. Это логично влияет на поверхность выжигание при шлифовании. Его можно заканчивать раньше, чем будет снят натяг в технологическом слое от действия сил шлифования.

Наибольшее применение нашло обкатывание роликами. В качестве оборудования служат станки, имеющие механические продольную и поперечную подачи. Приспособление устанавливают на суппорте станка. Инструмент (накатник) обычно подпружинен и прижимается к детали усилием поперечной подачи. При обкатывании поверхностей в контакте между инструментом и деталью имеет место трение качения.

Повышения предела выносливости коленчатого вала двигателя Д-50 в 1,57...1,67 раза достигают в результате обкатывания галтелей профильным подпружиненным роликом, изготовленным из твердого сплава Т15К6. Усилие упругости 7,5...11 кН, ось ролика составляет угол 36° к оси детали.

Дробеструйная обработка применяется для увеличения усталостной прочности сложных элементов деталей (шатунных, деталей сварных соединений). В качестве оборудования для обработки дробью используют механические или пневматические дробеметы. В механических устройствах дробь выбрасывается со скоростью 60...100 м/с за счет центробежной силы вращения барабана с лопатками. В пневматических устройствах дробь переносится струей сжатого воздуха под давлением 0,4...0,6 МПа. Применяют стальную или чугунную дробь диаметром 0,4...2 мм. Время наклепа 3...10 мин, а его глубина  $\leq 1$  мм. Распространение получили механические установки, которые обеспечивают более высокую производительность при меньшем расходе энергии и позволяют регулировать скорость полета дроби. Основным недостатком обработки дробью заключается в опасности перенаклепа. Процесс состоит в разрыхлении поверхностного слоя, его шелушении, появлении трещин и отслаивания при превышении установленного времени обработки. Увеличение частоты вращения ротора, диаметра дроби и продолжительности дробеструйной обработки ухудшает шероховатость поверхности.

Упрочнение пневматическим молотком еще больше ухудшает шероховатость обрабатываемой детали. В этом случае на поверхности возникают значительные неровности, соответствующие профилю бойка.



Дробеструйной обработке подвергают также основания зубьев шестерен, коромысла клапанов, звенья цепей, поворотные кулаки и другие детали. Упрочнение дробеструйным наклепом увеличивает срок службы сварных швов в 4 раза, крупномодульных зубчатых колес в 15 раз.

Наклеп ротационным упрочнителем применяют, например, для упрочнения коленчатых и торсионных валов. Процесс ведут на токарном станке с помощью приспособления (см. рис. 3.45). Усталостная прочность в результате наклепа повышается на 30...60 %. Этому способствует увеличение нормального давления (силы удара) и продолжительности упрочнения, однако до определенного предела.

Эффективным способом упрочнения галтелей на коленчатых валах является их чеканка. Наклеп на упрочняемых поверхностях в этом случае создают при помощи бойков, которые приводятся в движение от вращающегося кулачка. Глубина наклепа при использовании чеканки больше в несколько раз, чем при обкатке.

Структура и твердость поверхностного слоя в результате механического упрочнения изменяются в среднем на глубину 0,1...0,7 мм. Структура в этом случае приобретает направленное строение (текстуру), а твердость среднеуглеродистых незакаленных сталей увеличивается на 30...40 %. Термически обработанные стали, имеющие твердость 40...45 HRC, в процессе наклепа увеличивают ее всего на 5...10 %.

Алмазное выглаживание придает восстанавливаемым поверхностям высокие износостойкость и усталостную прочность. С увеличением силы выглаживания высота микронеровностей уменьшается до определенного предела, а затем может несколько возрасти за счет перенаклепа поверхности и ее разрушения.

Поверхность под алмазное выглаживание предварительно шлифуют или растачивают. Усилие выглаживания  $\leq 300$  Н. В зону обработки подают индустриальное масло И-20А. Скорость выглаживания для сталей с твердостью 35...67 HRC 200...280 м/мин, а подача 0,02...0,05 мм/об. Качество выглаживания определяется формой и радиусом рабочей части инструмента, величиной радиального усилия, числом ходов, подачей и скоростью выглаживания. Рабочая часть иглы имеет радиус сферы 0,8...3 мм. Крепление инструмента пружинное. Шероховатость обработанной поверхности достигает  $Ra$  0,1...0,05 мкм, микротвердость увеличивается на 50...60 %, глубина наклепанного слоя достигает 400 мкм, на поверхности остаются значительные напряжения сжатия. Алмазное выглаживание рекомендуется для упрочнения наплавленных и гальванических покрытий. Усталостная прочность при этом повышается более чем в 2 раза.

После алмазного выглаживания поверхностные слои приобретают более однородное строение, резко сокращается число поверхностных дефектов и концентраторов напряжений.

Предел выносливости деталей с электролитическими и детонационными покрытиями повышают электронно-лучевой обработкой при нагреве до 1100...1300 °С. Этот показатель повышается до 140 против 80 МПа для детали с покрытием без обработки.

Одно из перспективных направлений повышения усталостной прочности деталей основано на использовании неравновесной термодинамики. Самоорганизующиеся технологии обработки материалов связаны с обеспечением условий, при которых создается, воспроизводится или совершенствуется структура материала в процессе обмена системы энергией и веществом с окружающей средой. Материалы, полученные в этих условиях, имеют однородные структуру и химический состав.

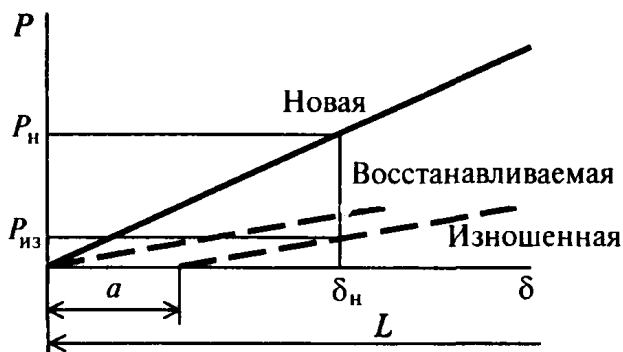
Основы теории самоорганизации заложены в 30–40 годах прошлого века применительно к живой природе. Развитие кибернетики, а затем синергетики как теории самоорганизующихся структур предопределило универсальность механизма самоорганизации, являющегося общим как в живой, так и в неживой природе. В основе этой теории лежит принцип минимума производства энтропии, объясняющий процессы самоорганизации диссипативных структур с реализацией обратной внутренней связи. Роль этих связей играют структурные элементы, контроль за которыми позволяет управлять свойствами материала.

Примером материалов подобного типа являются сплавы с памятью формы (или сверхупругие сплавы). В них структурным элементом, служащим обратной связью, является термоупругий мартенсит. При деформации сплава подводимая энергия расходуется на мартенситное превращение, а при снятии нагружения ввиду обратимости превращения она диссипируется. Созданные сплавы с памятью формы составляют основу для получения на базе неравновесной термодинамики «неуставаемых» материалов, способных бесконечно долго работать в условиях циклических нагрузок.

## **5.5. Восстановление жесткости деталей**

### **5.5.1. Содержание процесса восстановления жесткости**

Характерные повреждения упругих элементов – изменение геометрических размеров и жесткости. Определяющий геометрический размер, например, винтовых пружин – это их длина в свободном состоянии. Уменьшение жесткости, например, клапанных пружин двигателя приво-



**Рис. 5.4. Зависимость осевой деформации  $\delta$  новой, восстанавливаемой и изношенной пружины от силы  $P$ :**

$P_n$  и  $\delta_n$  — нормативные значения силы и деформации;

$P_{из}$  — сила, необходимая для придания изношенной пружине деформации  $\delta_n$ ;

$a$  — уменьшение длины изношенной пружины;  $L$  — начальная длина пружины

дит к уменьшению его мощности и перерасходу топлива. Жесткость  $\psi$  определяется отношением силы или момента, приложенных к детали, к величине создаваемой деформации:

$$\psi = \frac{P}{\delta} \quad \text{или} \quad \psi = \frac{M}{\varphi}, \quad (5.4)$$

где  $P$  — сила, Н;  $M$  — момент, Н·м;  $\delta$  — осевая деформация, м;  $\varphi$  — угловая деформация, рад.

Значение жесткости  $\psi$  численно равно тангенсу угла наклона графика жесткости к оси деформаций.

Формально восстановление винтовой пружины заключается в совмещении начальной точки графика жесткости с началом координат (рис. 5.4), т.е. в растяжении пружины на величину  $a$ , а затем в повороте линии графика относительно начала координат до совмещения ее с линией графика новой пружины, т.е. придания первоначальной жесткости.

Сущность *восстановления жесткости* заключается в повышении модуля упругости материала путем его объемного пластического деформирования. Для этой цели применяют механическую, химико-термическую и термомеханическую обработку. Тепловые и химические воздействия способствуют распространению структурных превращений вглубь материала восстанавливаемого элемента.

### 5.5.2. Способы восстановления жесткости

Основные виды механической обработки заготовок при восстановлении жесткости – дробеструйная обработка, обкатывание и ультразвуковая обработка.

Дробеструйная обработка применяется для восстановления жесткости пружин, торсионов и рессорных листов. Сущность ее заключается в том, что поток дроби (стальной, чугуновой, стеклянной) диаметром 0,6...1,2 мм направляется на обрабатываемую деталь со скоростью до 100 м/с, в результате чего поверхностный слой наклепывается. Вследствие пластической деформации в поверхностном слое детали возникают не только параллельные, но и ориентированные в разных плоскостях и направлениях несовершенства кристаллического строения – дислокации. Повышение плотности дислокаций служит препятствием к их перемещению, от этого возрастает реальная прочность материала. Кроме того, образуется большое количество линий сдвига, дробятся блоки мозаичной структуры, что упрочняет поверхностный слой металла на глубину 0,2...0,6 мм. Шероховатость поверхности при этом достигает значений  $R_z$  40...20 мкм. Предварительная химико-термическая обработка и закалка ТВЧ повышают глубину наклепа в 2,0...2,5 раза, что обеспечивает объемное воздействие механической обработки на материал детали.

Для дробеструйной обработки пружин клапанов и подвески применяют стальную дробь диаметром 0,6...0,8 мм, продолжительность наклепа 4...12 мин. Листовые пружины и торсионы обрабатывают стальной дробью диаметром 0,8...1,2 мм. Упрочнение дробеструйным наклепом увеличивает срок службы спиральных пружин в 2,4 раза, а рессор в 6 раз.

Однако обработка сухой дробью имеет и существенные недостатки: высокие локальные температуры (до 650 °С); сравнительно высокую шероховатость обработанной поверхности; активный перенос материала дроби на обрабатываемую поверхность, уменьшающий коррозионную стойкость некоторых материалов; нестабильность режима упрочнения из-за интенсивного износа дроби.

Указанные недостатки устраняет гидродробеструйное упрочнение поверхностей стальными шариками диаметром 0,6...1,0 мм в потоке СОЖ (например, трансформаторного масла). Данный способ в отличие от дробеструйного сухого наклепа обеспечивает более стабильное качество. В поверхностном слое детали остаточные сжимающие напряжения, равные 400...500 МПа, не имеют послойного максимума, а глубина их распространения составляет 180...200 мкм. Малая шероховатость ( $R_a$  1,25...

0,16 мкм) сохраняется, а большая ( $Ra$  10...2,5 мкм) улучшается до  $Ra$  2,5...1,25 мкм. Площадь опорной поверхности возрастает, а предел выносливости повышается на 15...20 %. Исключено газонасыщение в связи со снижением температуры в зоне контакта и наличием защиты поверхностного слоя детали от влияния воздуха. Срок службы витых пружин после гидродробеструйной обработки увеличивается до 4 раз, а релаксационная стойкость в 2...3 раза.

Поверхности обкатывают установленными на осях вращающимися роликами, рабочий профиль которых копирует профиль обрабатываемой поверхности. Ролики прижимают к поверхности нормальной силой, которая вызывает в точке контакта преимущественно напряжения сжатия.

Сущность ультразвуковой обработки заключается в воздействии на упрочняемую поверхность стального или твердосплавного шара, прижатого к ней и вибрирующего с частотой  $2 \cdot 10^4$  Гц. В контакте инструмента и детали возникают высокие локальные напряжения. Ультразвуковой инструмент пластически деформирует поверхность импульсно и многократно незначительной статической силой при отсутствии трения качения. Среднее давление, создаваемое в поверхностном слое детали, в 3...9 раз меньше, чем при обкатывании шариком. Большая доля энергии непосредственно затрачивается на искажение кристаллической решетки. По сравнению с другими способами поверхностного пластического деформирования ультразвуковая обработка дает наибольшее изменение свойств поверхностного слоя: упрочнение на 40...180 %, изменение шероховатости  $Rz$  0,8...0,4 мкм при исходной  $Rz$  20...6,3 мкм и остаточные напряжения до 1100...1200 МПа. После ультразвукового упрочнения закаленных сталей У10А, Х12 шероховатость поверхности уменьшается, поверхностная твердость возрастает на 30...40 %, глубина наклепа составляет 0,30...0,65 мм.

Термическая обработка восстанавливаемых упругих элементов как самостоятельный способ их восстановления сводится к их закалке и отпуску.

Химико-термический способ восстановления упругости пружин, обеспечивающий их сквозную прокаливаемость, заключается в их нагреве со скоростью 225...275 °С/с до температуры 880...920 °С в порошковой смеси дисперсностью 20...50 мкм, содержащей компоненты в следующем соотношении, мас. %: феррованадий, ферросилиций, феррохром, ферромарганец и ферромolibден по 10...14; ферротитан и алюминий по 2...8; графит остальное, с последующим охлаждением в масле.

Применяют комбинированную обработку нагревом и пластическим объемным деформированием путем обкатывания.

Термомеханическое восстановление упругих элементов впервые разработаио в Беларуси в 1964 г. Высокотемпературная механическая обработка, связанная с температурой нагрева выше температуры рекристаллизации, приводит к деформированию аустенита, а низкотемпературная происходит при температуре ниже температуры рекристаллизации, что вызывает деформирование мартенсита.

На шлифе витка восстановленной пружины видны две зоны: мелкодисперсного мартенсита твердостью 65 HRC и сорбита отпуска твердостью 45 HRC. Наличие на поверхности восстановленной пружины мелкодисперсного мартенсита снижает тенденцию развития усталостных трещин, а также замедляет развитие сдвиговых и диффузионных процессов релаксации напряжений. До глубины поверхностного слоя 0,8 мм формируются остаточные напряжения сжатия.

Контроль жесткости упругих элементов заключается в измерении осадки или угла поворота при приложении заданного усилия или момента соответственно.

### **5.6. Восстановление массы детали и ее распределения относительно осей вращения и инерции**

Отремонтированный агрегат считается уравновешенным, если во время его работы равнодействующая всех сил, действующих на опоры, остается постоянной по величине и направлению. Динамические нагрузки на опоры работающего агрегата создают поступательно движущиеся и вращающиеся детали, в том числе и восстановленные. Агрегат будет уравновешенным в том случае, если он собран из одноименных деталей с одинаковой массой, движущихся поступательно, и отбалансированных деталей, которые участвуют во вращательном движении.

Неуравновешенность деталей в эксплуатации возникает в результате их неравномерного изнашивания и деформирования. Это приводит к дополнительным нагрузкам в кинематических парах и накоплению усталостных повреждений в шейках валов, что, в свою очередь, снижает долговечность агрегатов.

#### **5.6.1. Восстановление массы детали**

Поступательно движущиеся детали с большой массой создают большие инерционные нагрузки в кинематических парах, а детали с малой массой утрачивают прочность. Для деталей одного наименования, прошедших восстановление, устанавливают наибольшую  $m_{\max}$  и наименьшую  $m_{\min}$  предельные массы. Допуск массы  $\Delta m_d$  (в граммах) равен

$$\Delta m_d = m_{\max} - m_{\min} . \quad (5.5)$$

Однако комплект деталей одного агрегата формируют из деталей с существенно меньшим допуском на их массу  $\Delta m_{d.k}$  (в граммах):

$$\Delta m_{d.k} \approx (0,1 \dots 0,2) \Delta m_d . \quad (5.6)$$

*Например*, массы деталей поршневой группы (поршня, поршневого пальца, поршневых и стопорных колец), входящих в комплект двигателя внутреннего сгорания, должны отличаться друг от друга не более как на 2...4 г. Эти сборочные единицы взвешивают на весах НПВ-1-2.

В конце процесса восстановления отбирают детали, масса которых укладывается в допуск [см. формулу (5.5)]. Затем эти детали рассортировывают на массовые группы, число которых  $n_m$  равно

$$n_m = \Delta m_d / \Delta m_{d.k} . \quad (5.7)$$

На операции образования комплектов деталей будущих агрегатов подбирают детали с разбросом масс  $\Delta m_{d.k}$ , т.е. входящих в одну массовую группу.

Если масса детали оказывается за пределами допуска [см. формулу (5.5)] или невозможно подобрать комплект деталей с допуском  $\Delta m_{d.k}$ , то прибегают к срезанию лишней массы или закреплению недостающей. Последний случай встречается редко. Лишнюю массу поршневого комплекта убирают, например с нижнего объема бобышек поршня.

Имеются детали типа шатунов, части которых участвуют в двух движениях, одно из которых поступательное. В таком случае одновременно на двух весах взвешивают верхнюю и нижнюю головки шатунов. Лишнюю массу металла фрезеруют с приливов на головках.

### **5.6.2. Восстановление распределения массы детали относительно осей вращения и инерции**

Вращающаяся деталь является полностью уравновешенной, если результирующие сила инерции и момент инерции равны нулю. Условия толикой уравновешенности такой детали:

$$Mr_s = \sum_{i=1}^{i=k} m_i r_i = 0 \quad \text{или} \quad r_s = 0 ; \quad (5.8)$$

$$J_{lr} = \sum_{i=1}^{i=k} m_i l_i r_i = 0, \quad (5.9)$$

где  $M$  – масса детали;  $r_s$  – расстояние от центра масс детали до оси ее вращения;  $J_{lr}$  – центробежный момент инерции;  $m_i$ ,  $r_i$  и  $l_i$  – соответственно масса элемента детали, расстояние от центра его масс до оси вращения детали и плечо действия центробежной силы элемента относительно оси, проходящей через центр масс детали;  $i = 1, \dots, k$  – число конструктивных элементов детали.

Первое условие соблюдается, если ось вращения детали совпадает с одной из главных ее осей инерции. Первое и второе условия выполняются, если ось вращения детали совпадает с одной из главных центральных осей инерции детали, т.е. главной осью инерции, проходящей через центр ее масс. Деталь является уравновешенной статически, если удовлетворено первое условие, и уравновешенной динамически, если соблюдено только второе условие.

В реальных условиях различают статическую, динамическую и смешанную неуравновешенность вращающихся деталей.

*Статическая неуравновешенность* (рис. 5.5, а) наблюдается у дискообразных деталей малой длины (маховиков, нажимных и ведомых дисков сцеплений, чугунных шкивов и др.). Способы статической балансировки состоят в совмещении центра масс детали с осью ее вращения путем снятия излишнего металла или установки противовеса. Определяют направление дисбаланса – линию, которая проходит через ось вращения детали и центр неуравновешенной массы. Затем излишний металл снимают в удобном месте на этой линии, по одну сторону с неуравновешенной массой от оси вращения, или добавляют металл, если неуравновешенная масса находится по другую сторону от оси вращения детали. Масса  $m$  (в граммах) снимаемого (добавляемого) металла определяется по формуле

$$m = M r_s / R, \quad (5.10)$$

где  $R$  – расстояние от оси вращения до снимаемого (добавляемого) металла, м.

Балансировку ведут на роликах, горизонтальных призмах, качающихся дисках и станках.

Устройства для статической балансировки деталей на роликах и горизонтальных призмах приведены на рис. 5.6 и 5.7. Деталь 1 устанавливают без зазора на оправку 2, которую, в свою очередь, ставят на ролики



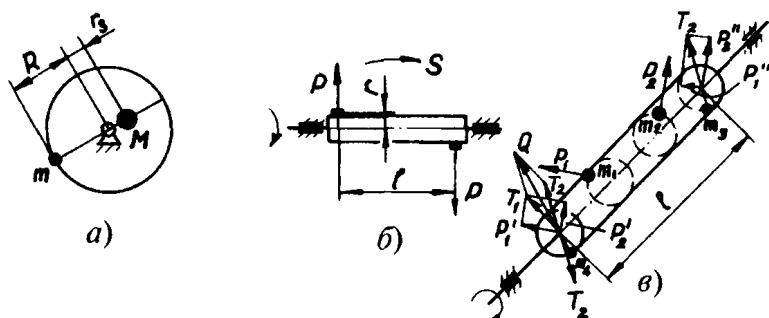


Рис. 5.5. Виды неуравновешенности деталей:  
а – статическая; б – динамическая; в – смешанная

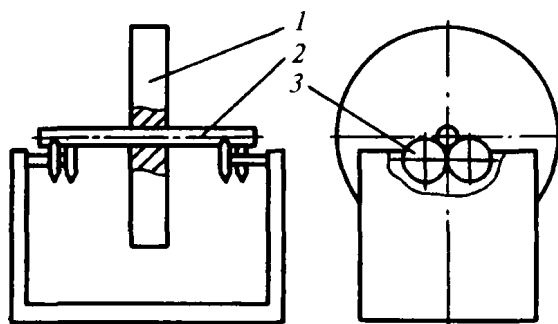


Рис. 5.6. Схема устройства для статической балансировки деталей на роликах:

1 – деталь; 2 – оправка; 3 – ролики

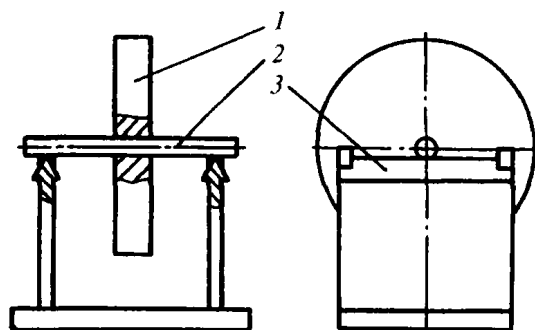
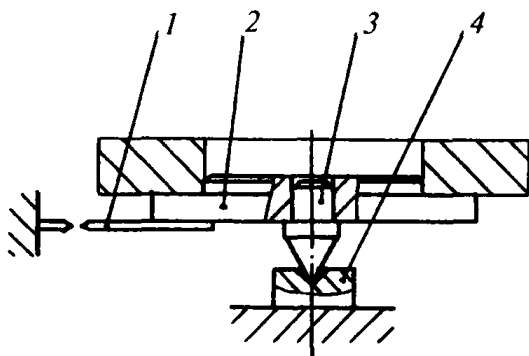


Рис. 5.7. Схема устройства для статической балансировки деталей на призмах:

1 – деталь; 2 – оправка; 3 – призмы



**Рис. 5.8. Схема устройства для статической балансировки деталей на качающейся площадке:**  
 1 – стрелки; 2 – площадка; 3 – острие; 4 – опора

баланса, определение его значения затруднено и требует практического навыка.

Устройство для статической балансировки деталей на качающемся диске (рис. 5.8) лишено указанного недостатка. Его статически отбалансированная дискообразная площадка 2 имеет опорно-установочные элементы (цилиндрическую поверхность и плоскость) для балансируемой детали. Соосно с цилиндрической поверхностью установлено острие 3, которое соприкасается с опорой 4 ответным коническим углублением. Две стрелки 1 диска расположены во взаимно перпендикулярных направлениях. Балансируемую деталь устанавливают на диск и ориентируют центрирующим пояском. Если диск с деталью наклонились, то их приводят в горизонтальное положение путем перемещения по поверхности детали компенсирующего груза. Место нахождения груза и его масса показывают величину и направление дисбаланса.

Статическую балансировку деталей в динамическом режиме выполняют на станке мод. 9765.

*Динамическая неуравновешенность* (см. рис. 5.5, б) наблюдается в том случае, когда центр масс находится на оси вращения детали, а во время ее вращения возникает статический момент  $S$  от двух равных сил  $P$  на плече  $l$ . Статический момент  $S$  вызывает переменные нагрузки на опоры детали при ее вращении. Динамическую неуравновешенность устраняют добавлением или снятием двух равных масс в плоскости действия момента  $S$ , чтобы появился новый момент, уравновешивающий первый. Динамическая неуравновешенность выявляется при вращении детали.

или призмы. Неуравновешенная деталь провернется вокруг своей оси, при этом ее тяжелая часть окажется внизу. Балансировка на призмах дает более точные результаты, однако в этом случае требуется, чтобы рабочая поверхность призм располагалась горизонтально. Эти устройства показывают только направления дисбаланса, требует практического

*Смешанная неуравновешенность* (см. рис. 5.5, в) наиболее часто встречается в реальных условиях, когда имеются сила инерции от неуравновешенной массы и статический момент центробежных сил. Этот вид неуравновешенности характерен для длинных сборочных единиц типа коленчатого или карданного вала. Система любого числа неуравновешенных сил сводится к двум силам, которые расположены в двух произвольно выбранных плоскостях, удобных для уравнивания. Например, у коленчатого вала эти плоскости проходят через крайние коренные шейки.

Пусть имеются неуравновешенные массы  $m_1$  и  $m_2$ . Разложим центробежные силы  $P_1$  и  $P_2$  на их составляющие  $P'_1$ ,  $P''_1$  и  $P'_2$ ,  $P''_2$ , приложенные на плече  $l$ . Сложим эти составляющие в каждой плоскости по правилу параллелограмма и получим равнодействующие  $T_1$  и  $T_2$ . В точке приложения силы  $T_1$  приложим две равные между собой, но противоположно направленные силы  $T_2$ . В результате получим две неуравновешенные силы  $T_2$  и  $Q$  в плоскостях коррекции. Сила  $Q$  является векторной суммой сил  $T_1$  и  $T_2$ . Момент  $T_2 l$  определяет динамическую неуравновешенность, а сила  $Q$  статическую. Полное уравнивание детали достигается установкой противовесов  $m_3$  и  $m_4$  на линиях действия сил  $T_2$  и  $Q$ .

Направление и величину дисбаланса на каждом конце вала определяют на балансировочных станках, например мод. БМ-4У, 4274 или МС-9716. Динамической балансировке подвергают сборочные единицы, вращающиеся при работе агрегата в двух и более опорах.

Характеристика сборочных единиц, например автомобильного двигателя, требующих балансировки, приведена в табл. 5.10.

Перспективна балансировка V-образного двигателя в сборе путем снятия металла с маховика (задняя балансировочная плоскость) и со шкива коленчатого вала (передняя балансировочная плоскость). Балансировку ведут на обкаточном стенде, укомплектованном балансировочным прибором, с принудительным вращением коленчатого вала от приводного электродвигателя при вывернутых свечах зажигания.

Минский завод им. Октябрьской революции выпускает приборы ПСБ-2 для определения направления и величины дисбаланса на обкаточных стендах. В комплект прибора входят вибродатчик, датчик опорного сигнала и электронный блок. Прибор предназначен для измерения в одной плоскости коррекции.

### 5.10. Сборочные единицы и детали двигателя с рабочим объемом 4,8 л, требующие балансировки, и их характеристика

Сборочные единицы, детали	Вид балансировки	Допустимый дисбаланс, г·см
Ротор фильтра центробежной очистки масла со стаканом в сборе	Д	10
Диск сцепления ведомый	С	18
То же, нажимной		36
Маховик		
Коленчатый вал	Д	30
Коленчатый вал с маховиком и сцеплением		
Двигатель в сборе		40

Условные обозначения: С и Д – соответственно статическая и динамическая балансировка.

### Технические характеристики прибора ПСБ-2

Диапазон рабочих частот при измерении параметров дисбаланса, Гц .....	5...45
Полоса пропускания фильтрующей части измерительного пульта, Гц .....	0,1
Максимальное время, необходимое для измерения параметров дисбаланса в одном масштабе измерения, без учета времени разгона, с .....	15
Число масштабов измерения (коэффициент масштабирования 10) .....	2
Форма представления параметров коррек-тирующего дисбаланса при измерении .....	полярная или прямоугольная система координат
Потребляемая мощность, Вт .....	60
Габаритные размеры, мм .....	520×275×340
Масса, кг .....	36

### 5.7. Основы упрочнения элементов восстанавливаемых деталей

Восстанавливаемая деталь входит составной частью в отремонтированный агрегат, который, в свою очередь, входит в более сложную систему – машину. Ресурсы этих элементов должны быть сопоставлены между собой с позиции совпадения целей подсистемы, системы и надсистемы. Нормативные документы на отремонтированную технику ориентируют на достижение 80%-ной послеремонтной наработки изделий. Эти документы определяют соответственно состояние деталей, поступающих на сборку; значения замыкающих размеров в сопряжениях и параметров работоспособности машин. Другие значения указанных величин могут быть выбраны из расчета достижения наработки, кратной ранее установленной, и должны стать ограничениями при выборе способа восстановления деталей, а также при разработке технологических процессов на стадиях технологической подготовки восстановительного производства.

Если наработка детали меньше нормативной и отстает от наработки деталей агрегата, то возникает потребность в упрочнении элементов этой детали за счет повышения износо-, жаро- и коррозионной стойкости, твердости, усталостной прочности и других свойств.

В общем случае под упрочнением материала понимают повышение значений его физико-механических свойств, которые являются определяющими для обеспечения надежности ремонтируемого объекта.

*Упрочнение* как повышение значений свойств детали основано на преднамеренном искажении кристаллической решетки металла в результате механического воздействия, термической или термомеханической обработки, легирования и др. Из всех современных теорий, объясняющих природу упрочнения, общепризнанной и наиболее достоверной является дислокационная.

Способы упрочнения в зависимости от вида воздействия на поверхностный слой включают: пластическое поверхностное деформирование, элементо- (химико-термические) и структурно-фазовые (физико-термические) превращения, послойное осаждение материала и внедрение в поверхность твердого материала.

Основная причина упрочнения при холодном пластическом деформировании заключается в увеличении количества (плотности) дислокаций и создании условий их торможения. Последнее затрудняет свободное перемещение порожденных в ходе деформирования дислокаций, при

этом отдельные их скопления и петли, границы зерен, кристаллов и фрагментов являются локальными преградами движения других дислокаций.

Чем плотнее дислокации в результате упрочняющей обработки, тем большей прочности удастся достичь. Однако максимальный предел прочности существующих способов упрочнения обеспечивает всего лишь  $\sim 1/3$  теоретической прочности.

Большая степень деформирования поверхностного слоя определяет и высокую плотность дислокаций. При этом дислокации выходят на поверхность, дробятся блоки и зерна, искажается микрорешетка и изменяется уровень микронапряжений в поверхностном слое за счет увеличения числа дефектов на поверхности. Электронная плотность перераспределяется, и вблизи дефектов повышается уровень Ферми, и, следовательно, снижается работа выхода электронов.

Обкатывание крупных резьб на валах уменьшает до 2 раз износ резьбовых пар на машинах, работающих в условиях большой запыленности. С этими резьбами бронзовые или чугунные гайки обладают на 35...40 % большей долговечностью. Обкатывание роликами переходных зон зубьев у их оснований повышает предел усталости на базе 2 млн. циклов не менее чем на 40 %.

Применяют способы упрочнения при лазерной обработке: без изменения химического состава поверхности вследствие фазовых превращений при быстром нагреве и последующем охлаждении, а также за счет ударной волны из-за испарения верхних слоев металла; при частичном изменении химического состава поверхностного слоя (лазерное легирование) путем расплавления последнего и добавления легирующих элементов; лазерным плакированием посредством нанесения на поверхность восстанавливаемой детали материала, его нагрева, растекания и затвердевания при охлаждении.

Лазерная закалка происходит в результате сверхвысокого нагрева поверхностного слоя детали – до  $(2...3)10^4$  К, а также быстрого охлаждения этого слоя за счет интенсивного теплоотвода в материал детали. В результате на поверхности образуется закаленный слой толщиной 0,1...0,5 мм. Твердость закаленных поверхностей чугунов и углеродистых низколегированных сталей достигает 60...70 HRC с повышением износостойкости чугунов в 5 раз, а сталей в 3...4 раза.

Лазерная закалка актуальна для деталей, восстанавливаемых до ремонтного размера, когда поверхностный упрочненный слой удаляется

(например, шлифованием шеек коленчатого вала или растачиванием гильзы цилиндра). Перед упрочнением на поверхность детали наносят поглощающие покрытия: гуашь, слои оксида хрома, фосфатной пленки и др. Процесс ведут на установках с вращением детали. Лазерный луч скользит по упрочняемой поверхности, оставляя винтовую линию.

Лазерная закалка шеек коленчатых валов из высокопрочного чугуна обеспечивает глубину упрочнения 0,6...0,7 мм, заполнение зоны упрочнения на 70...90 %, микротвердость 8500 МПа при увеличении износостойкости в 1,9...2,1 раза по сравнению с неупрочненными деталями. Лазерные дорожки представляют собой винтовые линии. Режим обработки: мощность излучения 700...750 Вт, диаметр луча в зоне обработки 3,0...3,5 мм, подача луча 35...40 мм/мин, частота вращения детали 4...4,5 мин<sup>-1</sup>. Непрерывный СО<sub>2</sub>-лазер (ЛГН-702).

НИИ импульсных процессов с опытным производством (Беларусь) с 1974 г. исследует процесс соударения потока металлических частиц со стальными мишенями. Обнаружено явление сверхглубокого проникновения частиц в материал мишени: на глубину 10...400 исходных размеров частиц. В результате материал мишени приобретает структуру композиционного. Необычность явления заключается в превышении расчетного количества энергии частиц на преодоление сопротивления материала по сравнению с исходной кинетической энергией этих частиц. Принципиально важно то, что при массовой доле вводимых материалов в тысячные и сотые процента значения физико-механических свойств изменяются на десятки или сотни процентов. Стойкость металлорежущего инструмента, например, после взрывного легирования увеличивается на 40...80 %.

Замена пластины твердого сплава ВК8 на пластину упрочненной стали Р6М5 обеспечивает повышение стойкости резцов в среднем до 5 раз при одновременном снижении затрат энергии на резание.

Сущность упрочняющей чеканки заключается в том, что по упрочняемой поверхности наносят удары с помощью специального приспособления. При этом исходная твердость повышается на 30...55 %, а глубина наклепа составляет 3...35 мм. Инструмент состоит из ударника с бойком с профильным радиусом 3...5 мм. Привод может быть пневматический, электрический или механический.

Распространены пневматические чеканочные приспособления с молотками МО-10, СМ-3 и РМ-6, работающие при давлении сжатого воздуха 0,4...0,6 МПа. Электрические и механические приспособления обычно нетиповые. Энергия удара пневматических инструментов 30...50 Дж,

электромеханических 20 Дж. Чеканочные приспособления для обработки деталей – тел вращения устанавливаются на токарных станках. Для упрочнения сварных швов применяют бойки в виде пучка проволок диаметром 2...3 мм.

Упрочнение чеканкой позволяет заменить сталь 25ХНВА сталями 40ХНМА или 35ХГСА, которые почти в 2 раза дешевле. Чеканку применяют для упрочнения сложных по форме и труднодоступных концентраторов напряжений.

Широкие перспективы открываются при создании материалов на базе замкнутых углеродных молекул (фуллеренов). Их массовое производство при развитии самоорганизующихся технологий позволит создавать сплавы, легированные в неравновесных условиях замкнутыми молекулами углерода, с уникальными механическими свойствами и покрытия различного функционального назначения.

Основной недостаток современных композиционных материалов заключается в несовершенстве переходного слоя матрица – упрочняющий компонент. Использование самоорганизующихся технологий получения композиционных материалов позволит устранить этот недостаток. Следует предположить, что структура перспективных материалов будет приближена к структурам живой природы.



## Глава 6

# ВЫБОР ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УНИФИКАЦИЯ

### 6.1. Выбор и оптимизация способа восстановления детали

#### 6.1.1. Критерий оптимизации при технологическом проектировании

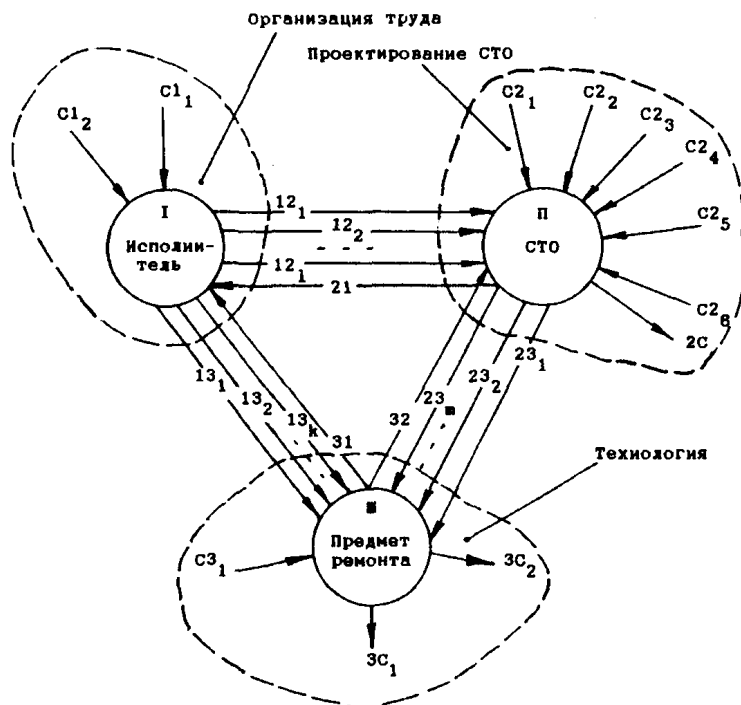
*Критерий оптимизации* при разработке технологического процесса (П) выбирают в результате системного анализа взаимодействующих объектов, их функций и ресурсов, необходимых для работы указанных объектов.

В процессе восстановления изношенной детали участвуют три материальных объекта (рис. 6.1): *I* – исполнитель, *II* – средства восстановления (средства технологического оснащения – СТО), *III* – предмет восстановления (сама восстанавливаемая деталь). Эти объекты находятся в связях и отношениях между собой и с производственной средой. Функция системы заключается в переработке одного из ее элементов – предмета восстановления.

Производственная среда (элементы производственного помещения, ресурсы и др.) является внешней средой, с которой элементы рассматриваемой системы взаимодействуют посредством внешних связей – входов и выходов (ресурсных коммуникаций). По внешним связям система получает ресурсы для своего действия и сам предмет труда в виде ремонтного фонда, который после переработки возвращается во внешнюю среду как товарная продукция с отходами.

Совершенство системы (элементов и связей между ними) определяется затратами ресурсов, поступающих из внешней среды и отнесенных к количеству товарной продукции. Ресурсы, потребляемые системой, делятся на материально-сырьевые, топливно-энергетические и трудовые.

Внешние связи среда – исполнитель соответствуют затратам на обучение и подготовку рабочих необходимой квалификации  $C1_1$  (единовременные затраты) и на заработную плату  $C2_2$  (текущие затраты).



**Рис. 6.1. Система элементов исполнитель – СТО – предмет труда во взаимодействии:**

внутренние связи:  $13_1, 13_2, \dots, 13_k$  – связи исполнитель – предмет труда;  $31$  – обратная связь предмет труда – исполнитель;  $12_1, 12_2, \dots, 12_l$  – связи исполнитель – СТО;  $21$  – обратная связь СТО – исполнитель;  $23_1, 23_2, \dots, 23_m$  – связи СТО – предмет труда;  $32$  – обратная связь предмет труда – СТО;

внешние связи:  $C1_1, C1_2$  – затраты на подготовку и обучение исполнителя (единовременные) и на заработную плату (текущие) соответственно;  $C2_1, C2_2, C2_3, C2_4, C2_5, C2_6$  и  $2C$  – затраты на капиталовложения, материалы, энергию, обслуживание и ремонт СТО, амортизацию СТО, на создание производственного объема и ликвидацию отходов соответственно;  $C3_1, 3C_1$  и  $3C_2$  – стоимость ремонтного фонда, товарной продукции и обезвреживания (реализации) отходов

Внешние связи среда – средства восстановления определяют вклад среды в оборудование и оснастку для их функционирования.

Связь  $C1_1$  определяет единовременные начальные капиталовложения в средства восстановления;  $C2_2$  – затраты на материалы (присадочные, технологические газы, жидкости и др.), которые вводятся в предмет

труда или которыми воздействуют на него. В  $C_2$  также входят затраты на материалы для функционирования средства (масла, смазки, газы и др.). Материалы для введения в предмет труда или воздействия на него перерабатываются средствами восстановления или дозируются ими перед технологическими воздействиями.  $C_3$  выражает затраты на электроэнергию, на подвод пара или горячей воды как носителей тепловой энергии и на расход сжатого воздуха как носителя потенциальной энергии давления.  $C_4$  определяет мероприятия как по поддержанию работоспособного состояния средств восстановления, так и по восстановлению ресурса путем среднего или капитального ремонта. Связь  $C_5$  выражает затраты на амортизацию средств восстановления, а связь  $C_6$  – затраты, необходимые для создания производственного объема с требуемым микроклиматом, где находятся средства восстановления.  $2C$  выражает затраты на ликвидацию отходов от функционирования средств восстановления.

Предмет восстановления поступает на переработку в виде ремонтного фонда  $3_1$  и выходит в виде товарной продукции  $3C_1$  с отходами  $3C_2$ .

По количеству элементов система имеет три вида внутренних связей, определяющих парные взаимодействия элементов между собой. Выделим эти взаимодействия.

Связи  $13_1, 13_2, \dots, 13_k$  выражают ручное воздействие исполнителя на предмет восстановления, как технологическое, так и контрольное. Обратная связь  $31$  – информационный сигнал о состоянии предмета восстановления.

Связи  $12_1, 12_2, \dots, 12_l$  и  $21$  определяют взаимодействие по управлению исполнителем средствами восстановления.

В автоматическом производстве предмет труда взаимодействует со средствами восстановления только через связи  $23_1, 23_2, \dots, 23_m$  и  $32$ .

Следует подчеркнуть, что категории воздействий (процесс, операция, переход и др.) – это не материальные объекты, а результат взаимодействия этих объектов. Технология – это функции средств восстановления и исполнителей. В представленной модели разработка технологии выражена описанием следующих друг за другом состояний предмета труда от ремонтного фонда ( $3C_1$ ) до восстановленной детали ( $3C_1$ ) и соответствующих воздействий. Отходы от предмета восстановления выражаются связями  $3C_2$ . В описании технологии участвуют связи  $13_1, 13_2, \dots$ ,

$13_k$  и  $23_1, 23_2, \dots, 23_m$ , которые выражают совокупность технологических воздействий исполнителя и средств восстановления на предмет труда посредством инструментов. Обратная связь  $32$  – это сигнал средства автоматического контроля от предмета труда на устройство, управляющее оборудованием.

Описание элемента  $II$  – как целого, так и его составляющих во взаимодействии между собой и с предметом восстановления – это результат решения конструкторской задачи по разработке средств восстановления.

Описание и оптимизация действий исполнителя – это решение организационной задачи.

Системный подход связывает воедино разработку средств и процессов восстановления и организацию труда.

Критерий функционирования системы – это соотношение расходов ресурсов, поступающих из внешней среды и выходящих из системы.

Если внешние связи выразить в стоимостном выражении, то оценочным критерием  $Q$  системы исполнитель – средства восстановления предмет восстановления может служить разница между значениями ресурсов, перемещающихся во входы и из выходов системы:

$$Q = Ц + (-)О - k_0 K_0 - k_3 K_3 - М - Э - Р - А - З_{p.o} - З_{p.t}, \quad (6.1)$$

где  $Ц$  и  $О$  – цена товарной продукции и отходов соответственно;  $k_0$  и  $k_3$  – доля капиталовложений в средства восстановления и здания, отнесенных к году эксплуатации соответственно;  $K_0$  и  $K_3$  – капиталовложения в средства ремонта и здания соответственно;  $М$  и  $Э$  – затраты на материалы и энергию соответственно;  $Р$  – затраты на поддержание и восстановление ресурса средств восстановления;  $А$  – затраты на амортизацию;  $З_{p.o}$  и  $З_{p.t}$  – единовременные и текущие затраты на рабочего.

### **6.1.2. Постановка и оптимизация задачи выбора способа восстановления детали**

Задача выбора способа восстановления детали впервые была поставлена и решена проф. В.А. Шадричевым, а впоследствии многократно видоизменялась другими авторами и решалась различными методами.

Существует три основных метода выбора процесса восстановления детали, отличающихся различной степенью учета технических и экономических показателей. Первый метод основан на расчетах полной себе-

стоимости восстановления детали различными способами и сопоставлении их результатов. По второму методу сравнивают между собой комплексные величины в виде отношений технологических затрат к ресурсу деталей – новой и восстановленной. В качестве базового показателя принимают такое отношение для новой детали. Третий метод учитывает значения комплексного показателя как функции трех критериев: применимости, долговечности и технико-экономического.

Недостатки первого метода кроются в отсутствии учета технического состояния и послеремонтной наработки восстанавливаемой детали и несопоставимости результатов расчетов. Второй и третий методы допускают в производство способы, которые при малой цене восстановления формируют и малую долговечность по сравнению с нормативной наработкой агрегата. Все методы оценивают полученные результаты, но ни один из них не формирует сам процесс восстановления детали.

Критерии оценки процесса восстановления деталей имеют большое значение для ремонтной практики, поэтому непрерывно уточняются.

В.В. Ефремов предложил в качестве критерия рационального способа соотношение затрат и наработки машины, р./км пробега.

В.И. Казарцев определил условие рациональности восстановления деталей тем или иным способом в следующем виде:

$$\frac{C_{\text{в}} i_{\text{в}}}{I_{\text{в}}} \leq \frac{C_{\text{н}} i_{\text{н}}}{I_{\text{н}}}, \quad (6.2)$$

где  $C_{\text{в}}$  и  $C_{\text{н}}$  – соответственно стоимости восстановления изношенной детали и изготовления новой детали, р.;  $i_{\text{в}}$  и  $i_{\text{н}}$  – интенсивность изнашивания восстановленной и новой деталей, мм/ч;  $I_{\text{в}}$  и  $I_{\text{н}}$  – величина предельного износа восстановленной и новой деталей, мм.

В.А. Шадричев рассмотрел критерии выбора рационального способа восстановления детали. Выбор способа зависит от конструктивно-технологических особенностей и условий работы деталей, величины их износа, эксплуатационных свойств самих способов, определяющих долговечность восстановленных деталей, и стоимости их восстановления. Для оценки способа предложены частные критерии применимости, долговечности и экономичности. Окончательный выбор способа проводится с помощью технико-экономического критерия, связывающего долговечность детали с экономикой ее восстановления, по формуле

$$C_{\text{в}} \leq k_{\text{д}} C_{\text{н}}, \quad (6.3)$$

где  $k_d$  – коэффициент долговечности восстановления детали как отношение долговечности восстановленной и новой деталей.

Критерии (6.2) и (6.3), по сути, схожи.

Е.Л. Воловик ввел условие, согласно которому сумма приведенных затрат при восстановлении конструктивно-технологических параметров изношенных деталей до уровня новых деталей должна быть минимальной.

Трудности применения комплексных стоимостных критериев вызвали необходимость применения частных критериев.

А.Н. Батищев ввел комбинированный критерий  $\varphi_{ki}$ , отражающий энерго-, трудоемкость, приведенные затраты и долговечность детали

$$\varphi_{ki} = \frac{K_{1i} K_{2i} K_{3i}}{k_{di}} \rightarrow \min, \quad (6.4)$$

$$K_{3i} = Z_{vi} / C_n,$$

где  $K_{1i}$ ,  $K_{2i}$ ,  $K_{3i}$  – соответственно коэффициенты энерго-, трудоемкости и экономичности ТП восстановления детали  $i$ -м способом;  $k_{di}$  – коэффициент долговечности восстановленной  $i$ -м способом детали;  $Z_{vi}$  – затраты на восстановление детали  $i$ -м способом;  $C_n$  – цена новой детали.

Коэффициент долговечности в выражении (6.4) определяют по отношению не к новой детали, а к нормативному ресурсу отремонтированного агрегата.

Показатели долговечности, явно введенные составной частью в объем содержания критериев восстановления деталей, затрудняют их применение заводскими специалистами. Разработка ТП восстановления детали с учетом величин послеремонтной наработки требует длительных исследований изменения размеров, зазоров и натягов в сопряжениях, формы и взаимного расположения поверхностей и других параметров во время эксплуатации отремонтированных агрегатов. Только длительность таких исследований превышает приемлемые сроки технологической подготовки восстановительного производства.

Задача выбора способа восстановления детали делится на две части: научную и инженерную.

Научная часть определяет состав необходимых свойств восстановленной детали и их значений. Основные из них – это чистота поверхно-

сти, физико-механические свойства элементов (состав, структура, твердость, микротвердость составляющих), геометрические параметры поверхностей (шероховатость, размеры элементов и их точность, точность формы и взаимного расположения поверхностей и осей), значение массы и ее распределение относительно оси вращения. Эти значения являются ограничениями для инженерной разработки процесса восстановления детали. Научная часть разработки формирует рациональное множество современных процессов и значений их параметров (основа технологии) для различных объемов восстановления, новые инструменты и схемы исполнительных механизмов (основа проектирования СТО). Указанные работы предшествуют заводской подготовке производства, по содержанию они рациональны для всех заводов ремонтной отрасли.

Инженерная часть включает выбор и описание совокупности технологических воздействий и СТО, обеспечивающих безусловное получение необходимых свойств восстановленной детали с минимальным расходом производственных ресурсов. Эти решения оптимальны для конкретных производств.

Многokrратно повторяющийся процесс восстановления детали должен быть построен оптимальным образом по критерию расхода производственных ресурсов с учетом ограничений по производительности и качеству восстановления.

*Постановка задачи выбора способа восстановления детали* следующая: из числа возможных видов и вариантов технологических операций, образующих процесс, найти такую их последовательность, которая обеспечит установленные ограничения по производительности процесса и качеству восстановления с наименьшими затратами.

Структура технического решения, положенного в основу ТП восстановления детали, базируется на графовом представлении возможных вариантов составляющих технологических операций, затрат на реализацию этих операций и поиска связного множества операций, удовлетворяющего ограничениям и обращающего в минимум значение целевой функции. При выборе варианта ТП одновременно ведут поиск как новых, так и оптимальных технических решений.

Структура процесса восстановления детали (см. рис. 1.2) описывается графом  $\Gamma$  (рис. 6.2), множество вершин которого  $p_{ij}$  соответствует множеству составляющих операций, а множество дуг  $l_{i, \dots, j+1}$  – затратам на подготовку и выполнение последующих операций:

$$\Gamma = (p_{ij}, l_{i, \dots, j+1}). \quad (6.5)$$

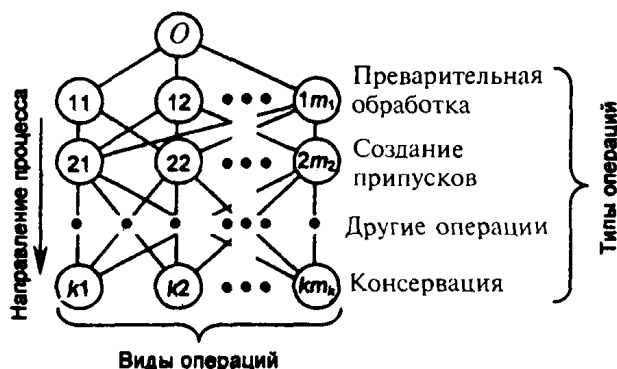


Рис. 6.2. Граф вариантов ТП восстановления детали:

$1, 2, \dots, k$  – типы операций;  $m_1, m_2, \dots, m_k$  – число видов операций каждого типа

Горизонтальные ряды вершин графа соответствуют подмножеству видов  $j = m$  операции  $i$ -го типа. В граф вводят лишь те технологические операции, которые способны обеспечить установленные ограничения по качеству и производительности восстановления.

Варианты технологических операций находятся из логических и эвристических представлений о различных способах преобразования энергии и материи, применении новых материалов и использовании различных физических эффектов и их сочетаний.

Связное подмножество вершин, взятых по одной из каждого ряда графа, определяет один вариант ТП. Число таких вариантов достигает произведения  $m_1 m_2 \times \dots \times m_k$ . Несовместимость некоторых операций между собой сокращает число вариантов процесса.

Определим длину каждого ребра графа как затраты на подготовку и выполнение последующей операции, отнесенные к одной детали. *Оптимизация задачи* выражается в поиске кратчайшего пути из вершины  $O$  в одну из вершин нижнего яруса графа, а соответственно подмножество вершин на этом пути определяет оптимальный состав операций ТП.

Кратчайший путь  $L_{i+1}$  между указанными вершинами определяют путем решения рекуррентного уравнения в каждой вершине графа:

$$L_{i+1} = \min(\text{по всем } i, \text{ по всем } m) [L_{(i+1)-1} + L_i], \quad (6.6)$$

где  $i$  – шаги решения;  $m$  – число видов технологических операции  $j$ -го типа;  $L_i$  – затраты на выполнение  $i$ -й операции при условии, что соот-



ветствующий участок графа выбран оптимальным образом;  $L_{i+1}$  – затраты, отнесенные к  $i+1$  операциям;  $L_{(i+1)-1}$  – затраты, отнесенные к присоединению  $(i+1)$ -й операции процесса к  $i$  его операциям.

Выбранные на графе направления движения из его вершин обозначают стрелками. Эти связи обуславливают оптимальные сочетания операций на предыдущих шагах с операцией на последующем шаге. Расчеты при этом ведутся от вершин нижнего их ряда к вершине  $O$ . В вершины графа вписывают значения  $L_{i+1}$ .

Двигаясь в найденных направлениях из вершины  $O$  графа через одну из вершин каждого яруса графа, находят сочетание операций, которое при прочих равных условиях обеспечивает наименьшие затраты на восстановление одной детали. Соответствующее значение целевой функции читают в верхней вершине графа.

### 6.1.3. Пример выбора способа восстановления детали

Рассмотрим пример выбора процесса восстановления гильзы цилиндра автомобильного двигателя ЗМЗ-53.

Материал детали – СЧ-18 или износостойкий чугун ИЧГ-33М. Устраняемые повреждения – износы зеркала цилиндра и наружной цилиндрической поверхности пояска.

Требования к восстановлению: твердость поверхности 170...240 НВ, допуски на диаметр цилиндра  $+0,06$  мм и на диаметр пояска  $-0,02$  мм, биение поверхности пояска относительно поверхности цилиндра 0,08 мм.

Морфологическая матрица и соответствующий граф вариантов ТП с затратами на подготовку и выполнение операций представлены в табл. 6.1 и на рис. 6.3. Значения длин дуг графа приведены в их разрывах. По существу, это значения затрат  $L_{(i+1)-1}$ , которые входят составной частью в рекуррентное уравнение (6.6).

Расчеты начинают с определения минимального значения функции  $L_{i+1}$  в вершинах предпоследнего, шестого яруса графа, потому что значения затрат  $L_i$  ниже седьмого яруса графа равны нулю.

Сравнение между собой длин дуг  $6в - 7б$  и  $6в - 7г$  дает основание выбрать направление движения вдоль второй дуги и ориентировать ее стрелкой в вершину  $7г$ , а в вершину  $6в$  вписать минимальное значение функции 7,4 р.

### 6.1. Морфологическая матрица составляющих операций ТП восстановления гильзы цилиндра

Операция		Координаты вершин	Затраты, р.
Тип	Вид		
Создание при- пуска на обра- ботку зеркала цилиндра	Использование поверхностного изношенного слоя	2a	0
	Установка листовой ДРД*	2б	61,7
	Термопластическое обжатие	2в	17,4
	Напекание	2г	104,7
	Железнение	2д	67,3
То же, центри- рующего поя- ска	Электродуговое напыление	3б	11,3
	Железнение	3г	23,4
Черновая об- работка цен- трирующего пояска	Точение	4в	8,1
То же, зеркала цилиндра	Растачивание	5б	24,0
	Хонингование	5в	26,8
	Шлифование	5г	31,5
Чистовая обра- ботка зеркала цилиндра	Хонингование	6в	23,2
То же, центри- рующего поя- ска	Шлифование	7б	12,7
	Точение резцами из сверхтвер- дых материалов	7г	7,4

\* Дополнительная ремонтная деталь

Рассмотрим вершины пятого яруса. Вариантов движения из вершин 5б, 5в и 5г нет, поскольку из каждой вершины исходит по одной дуге. Все дуги помечаем стрелками, а в вершины вписываем сумму 30,6 р.

Из вершины 4в возможны три пути движения, но выбран путь 4в – 5б – 6в – 7г, потому что он дает минимальное значение  $L_{i+1} = 54,6$  р. Дуга 4в – 5в помечается стрелкой.

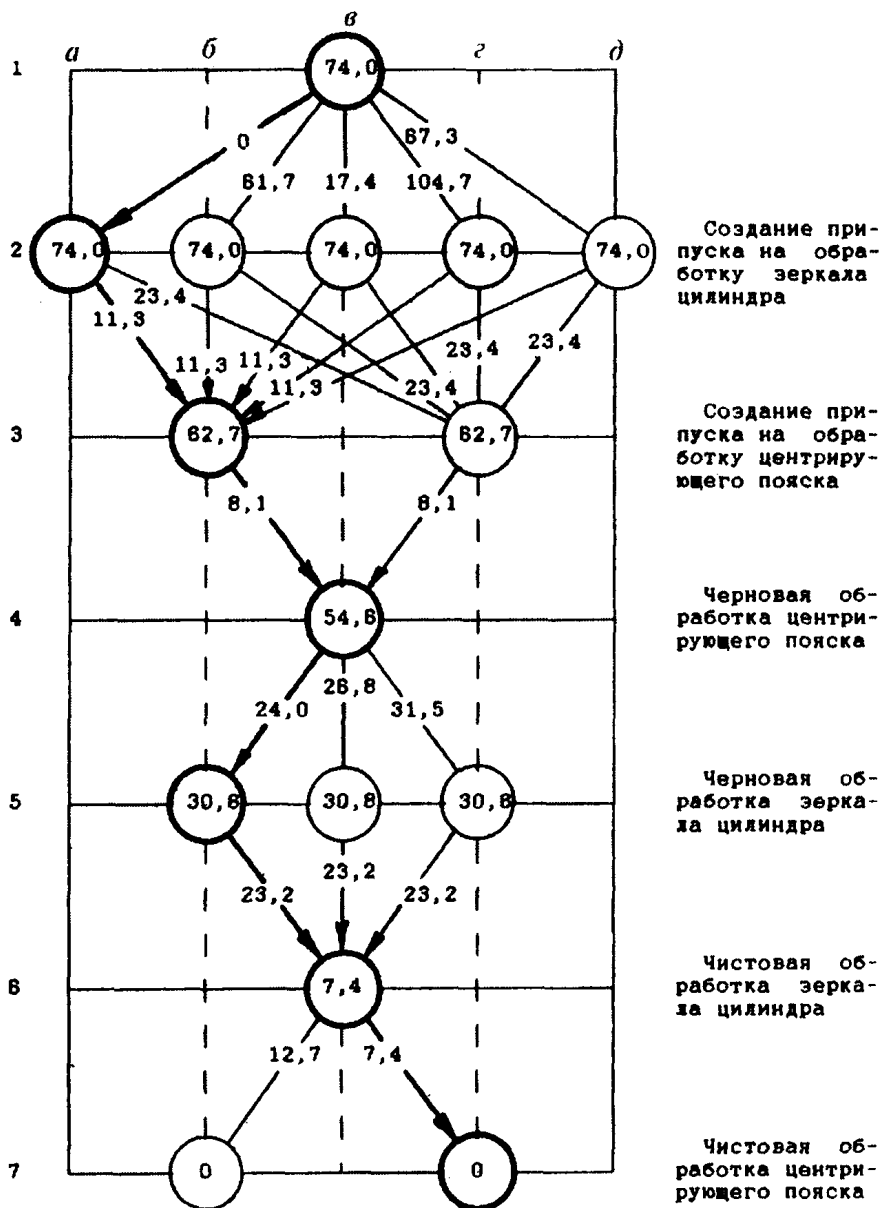


Рис. 6.3. Граф вариантов ТП восстановления гильзы цилиндра

Результаты рассмотрения значений функции  $L_{i+1}$  в вершинах 3б и 3г аналогичны полученным ранее результатам рассмотрения вершин пятого яруса.

Из каждой вершины второго яруса возможно движение в одну из двух вершин третьего яруса. Определим возможные пути движения из вершин 2а, 2б, 2в, 2г и 2д парным сопоставлением сумм длин дуг, исходящих из этих вершин, со значениями функции  $L_{i+1}$  в вершинах 3в и 3г. Все ориентированные дуги сходятся в вершине 3б.

Из вершины 1в возможно пять путей движения в вершины второго яруса, однако самый короткий путь в вершину последнего яруса проходит через вершину 2а. Минимальное значение функции  $L_{i+1}$ , равное 74 р., определяет стоимость восстановления детали с применением ТП, который описывается сочетанием операций 1в – 2а – 3б – 4в – 5б – 6в – 7г и состоит из электродугового напыления и точения пояска, растачивания и хонингования под ремонтный размер зеркала цилиндра и точения пояска резцами из сверхтвердых материалов.

Припуск на механическую обработку зеркала цилиндра за счет использования поверхностного изношенного слоя металла имеется лишь на заготовках, которые не исчерпали ремонтных размеров. В другом случае необходимо создавать припуск нанесением покрытия или пластическим деформированием материала заготовки.

Мысленно исключим из графа вершину 2а и связанные с ней дуги. Если повторить расчет сначала, то для графа нового содержания оптимальный ТП описывается признаками 1в – 2в – 3б – 4в – 5б – 6в – 7г и состоит из термопластического обжатия заготовки, электродугового напыления и точения пояска, растачивания и хонингования под номинальный размер зеркала цилиндра и точения пояска резцами из сверхтвердых материалов. Стоимость восстановления гильзы цилиндра в этом случае составляет 91,4 р.

Таким образом, предложенный метод выбора ТП восстановления детали основан на учете многообразия освоенных и гипотетически возможных составляющих способов создания ремонтных заготовок, обработки и упрочнения; удовлетворяет установленным ограничениям по качеству и производительности и требует наименьших затрат на свою реализацию. Если производственные возможности предприятия не позволяют внедрить предложенный процесс, то путем исключения неосуществимых признаков этого процесса можно найти другой процесс, наиболее близкий к оптимальному решению.

По причине изменения соотношения затрат на материалы, энергию и заработную плату и появления новых технических решений результаты оптимизации необходимо пересматривать.

## **6.2. Направления технологической унификации процессов восстановления деталей**

### **6.2.1. Виды технологической унификации**

Преимуществом технических решений в виде *технологической унификации* уменьшает разнообразие процессов и средств, исключает дублирование работ в технологической подготовке производства, уменьшает ее трудоемкость и длительность, расширяет масштабы распространения прогрессивных средств и процессов, реализует политику ресурсосбережения и обеспечивает гибкость производства. Основные средства технологической унификации – это установление рационального числа разновидностей ТП, близких по содержанию.

Технология восстановления деталей может быть организована как подефектная, маршрутная, типовая, групповая или модульная. Подефектная и маршрутная технологии были рассмотрены в разд. 2.2.6.

### **6.2.2. Типовая и групповая технологии**

Идеи типизации ТП заложил А.П. Соколовский. Под типизацией понимают создание процессов обработки групп конструктивно подобных деталей. Для их изготовления выбирают оптимальные маршруты, СТО и формы организации производства. Метод базируется на классификации процессов, в основе которого лежит классификация деталей. Класс представляет собой совокупность деталей, связанных общностью технологических задач.

Однотипные детали обрабатывают по типовым ТП, которые характеризуются единообразием содержания и последовательности выполнения большинства технологических операций и переходов для групп деталей с общими конструктивными признаками.

Технологическая типизация в восстановительном производстве получила широкое распространение в виде *типовых ТП* по нанесению покрытий.

Метод *групповой* обработки деталей предложил С.П. Митрофанов. Метод устанавливает однотипные способы обработки с использованием быстропереналаживаемых СТО для групп однородных по конструктивно-технологическим признакам деталей.

Принципиальное отличие двух методов заключается в том, что типовые процессы характеризуются общностью последовательности и содержания операций при обработке типовой группы деталей, а групповая обработка – общностью оборудования и технологической оснастки при выполнении отдельных операций или при полном изготовлении группы разнородных деталей.

### 6.2.3. Модульная технология

Модульный принцип формирования техники разработал А.Л. Васильев, а модульную технологию предложил и развил Б.М. Базров.

Сущность *модульных технологий* заключается в создании объектов и процессов из специализированных взаимозаменяемых блоков (модулей), сочетание которых определяется конкретными задачами и условиями производства. Модульная технология основана на представлении детали совокупностью геометрических модулей, под которыми понимают сочетание поверхностей, предназначенных для совместного выполнения служебной функции. Номенклатура модулей поверхностей ограничена 26 наименованиями, что открывает перспективы по типизации и унификации ТП, оборудования и оснастки.

Построение модульного ТП изготовления любой детали представляет собой компоновку типовых ТП изготовления модулей поверхностей. Каждый блок процессов обеспечен соответствующим типовым оборудованием, инструментальной и контрольно-измерительной оснасткой. Модульный процесс объединяет в себе преимущества единичного процесса (учитывает особенности конкретной детали), типового процесса (сохраняет идею типизации на уровне восстановления модуля поверхностей), группового процесса (объединяет разные детали в группы даже в единичном производстве) и придает процессу гибкость.

Модульная технология позволяет свести к минимуму разнообразие ТП и средств, исключить дублирование работ в области технологической подготовки производства, внедрить поточную организацию изготовления деталей в мелкосерийном и единичном производствах. Производство, построенное на модульном принципе, становится гибким, мобильным, способным в кратчайшие сроки с минимальными издержками переходить на выпуск новых изделий.

Преимущества такого подхода к проектированию, изготовлению и ремонту техники связаны с высокой технологичностью восстанавливаемых изделий, значительным повышением их надежности, расширением функциональных возможностей средств восстановления, существенным

уменьшением затрат на их создание, технологической гибкостью и возможностью быстрой модернизации и приспособленности к изменяющимся условиям.

Применение модульных технологий наиболее эффективно при подготовке многономенклатурного восстановительного производства. Такой подход позволяет интенсивно развивать отдельные средства и процессы при ремонте сложной техники. Особую актуальность это направление приобретает при отсутствии централизованного финансирования и нежелании нарождающегося бизнеса вкладывать средства в долгосрочные проекты. Применение модульного принципа построения оборудования и процессов для ремонта техники существенно расширяет ассортимент выпускаемой продукции с реконструкцией производства.

Капитальные затраты на создание модульного комплекса оборудования ниже, чем типового оборудования; реконструкция производства может выполняться поэтапно; средства, полученные от эксплуатации первых модулей, могут быть использованы для изготовления нового оборудования. Возможно перепрофилирование производства при его расширении, при этом уменьшаются сроки освоения производства.

При разработке модульного ТП описывают отдельные оптимизированные технологии восстановления всех типовых элементов детали во временной последовательности, тем самым формируют модули. Составляют схему блоков технологических операций восстанавливаемой детали. Все ранее полученные технологические модули восстановления элементов детали в порядке их следования вписывают в соответствующие блоки операций восстановления детали.

#### 6.2.4. Технологическая документация

Первичный документ, который определяет перечни устраняемых повреждений и основных операций восстановления, требования к качеству восстановленной детали, – это ее *ремонтный чертеж*. Этот документ разрабатывают на основании рабочего чертежа новой детали.

На ремонтном чертеже приводят изображение восстановленной детали, условия, при которых она не принимается на восстановление, технические требования к ней, таблицу повреждений с указанием способов их устранения и рекомендуемый основной технологический маршрут восстановления. При необходимости на ремонтном чертеже приводят данные по базированию и таблицы категорийных ремонтных размеров.

В технических требованиях указывают: размеры и их допустимые отклонения; параметры формы и расположения, их допустимые отклоне-

ния; шероховатость восстанавливаемых поверхностей, их твердость, разброс значений; допустимость наличия пор, раковин и отслоений; прочность соединения покрытия с основой, а также другие параметры, обусловленные применением конкретного способа восстановления детали.

Таблица повреждений располагается на поле ремонтного чертежа. Она содержит: наименования повреждений, при которых деталь подлежит восстановлению; указания по величине этих повреждений; коэффициенты повторяемости; возможные сочетания; основной и допускаемые способы устранения.

При использовании сварки, наплавки, напыления и других способов создания ремонтных заготовок указывают марку, размеры применяемого материала, защитную среду.

Описание ТП по степени детализации бывает *операционным* или *маршрутным*. Документация операционного процесса содержит указания о переходах и режимах обработки, а в документации маршрутного процесса их нет. В маршрутно-операционном процессе содержание отдельных операций излагается с указанием переходов и режимов обработки. Вид описания процесса выбирают в зависимости от сложности деталей и объемов их восстановления.

По числу рассматриваемых деталей и общности их признаков ТП бывают единичные, типовые, групповые и модульные.

*Единичный* процесс относится к изделию одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства.

*Типовой* процесс описывает обработку деталей с общими конструктивными признаками, а *групповой* – с общими конструктивно-технологическими признаками.

*Модульный процесс* основан на представлении процесса и средства ремонта совокупностями модулей.

*Комплект технологической документации* содержит: титульный лист; маршрутную или операционную карту; карту типовой (групповой) операции; карты эскизов; ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому ТП (операции); ведомость технологических документов; ведомость оснастки, оборудования и материалов.

Титульный лист относится к отдельному ТП или группе процессов, содержит название комплекта технологической документации с указанием детали, процесса, организации-разработчика, фамилий и подписей главного технолога и начальника ОТК. На титульном листе процесса главный инженер завода ставит утверждающую подпись.



Карты эскизов – графический материал, включающий эскизы, схемы и таблицы, необходимые для пояснения выполнения ТП, операции или перехода восстановления детали, включая контроль и перемещение.

Для типовых ТП восстановления поверхностей в качестве карты эскизов применяют ремонтный чертеж.

Первый эскиз процесса восстановления детали – это описание неустранимых и устранимых повреждений с их характеристиками. Последний эскиз относится к восстановленной детали с указанием всех контролируемых параметров. Промежуточные эскизы являются операционными, они описывают заготовку в результате всех технологических воздействий. Здесь приведены технологические базы и операционные размеры.

Технологические карты (маршрутная и операционная карты, карты ТП, типового или группового ТП) содержат описания всех технологических операций, включая контроль и перемещение, с указанием данных об оборудовании, оснастке, технологических режимах, материальных нормативах и трудовых затратах. Маршрутная карта является основным и обязательным документом, в котором описывается весь процесс в технологической последовательности. При разработке типовых или групповых процессов в маршрутной карте дают только постоянную информацию, относящуюся ко всей группе восстанавливаемых деталей или поверхностей. Операционная карта предназначена для описания технологической операции с указанием последовательного выполнения переходов, технологических режимов, СТО и основного времени. Состав сведений должен быть достаточным для выполнения операции с необходимым качеством.

Технологические карты модульного ТП разрабатываются предприятием по своим стандартам.

Ведомость деталей (сборочных единиц) к типовому ТП содержит состав деталей или типоразмеров поверхностей, восстанавливаемых по данному процессу, и переменных данных о материалах, СТО, режимах и трудовых затратах. Переменные данные представляют в форме таблиц.

Ведомость технологических документов определяет их состав. Ведомости оснастки и оборудования содержат их перечни, которые необходимы для выполнения ТП.

Технологическую документацию разрабатывают в две стадии: для опытного восстановления (литера РО) и для серийного восстановления деталей. На ремонтном чертеже допускается указывать несколько вариантов восстановления одних и тех же элементов детали. На каждый принципиально отличный вариант восстановления детали (например, на

пластическое деформирование, электромагнитную наплавку) выполняют отдельный ремонтный чертеж. В обозначении этих чертежей добавляют через дефис римскую цифру I, II или III (соответственно для первого, второго и последующего вариантов восстановления). При этом первый вариант является основным.

### 6.3. Восстановление типовых деталей

Разнообразные по функциям и исполнению машины как объекты становятся однородными на уровне деталей. Анализ многообразия деталей по форме, материалам, размерам и служебному назначению показывает, что их группы могут быть отнесены к определенным типам. Для деталей одного типа можно разработать типовые ТП восстановления. Каждому типу деталей, как правило, соответствует свой участок восстановления, работающий по типовой технологии.

Техническое состояние приводимых ниже групп деталей (корпусных деталей, валов, гильз и стержней с отверстиями типа шатунов) в значительной мере определяет послеремонтную наработку отремонтированных агрегатов.

Далее будут рассмотрены процессы восстановления таких деталей.

#### 6.3.1. Корпусные детали

К *корпусным деталям* относятся: станины, блоки и головки цилиндров, картеры сцеплений, крышки распределительных шестерен, корпуса масляных и водяных насосов и др. Материал корпусных деталей, полученных из отливок, – серый чугуны (СЧ 18), алюминиевый (Ал-4) или цинковый (ЦАМ) сплавы. Наиболее распространен первый вид материала.

Корпусные детали при работе выполняют функции относительного ориентирования движущихся деталей агрегата при его работе. Отличительные признаки таких деталей – коробчатая форма, необходимая для образования закрытого рабочего объема для размещения различных механизмов агрегата; жесткие стенки, подверженные статическим и динамическим нагрузкам, с ребренными приливами и бобышками, в которых выполнены гладкие и резьбовые отверстия или направляющие; наличие глубоких отверстий, выполненных в собранных деталях (в том числе из разных материалов), когда плоскость соединения проходит через ось отверстий; наличие стыковых плоскостей; высокая точность размеров, формы и расположения основных цилиндрических и плоских поверхностей.

Основные повреждения корпусных деталей – трещины в стенках, обломы, коробление или износ стыков, разрушение резьб, деформация или износ направляющих и отверстий, коррозия. Детали с трещинами, проходящими через приливы с точными отверстиями и резьбами, подлежат выбраковке.

В корпусных деталях восстанавливают геометрические параметры элементов, прочность и сплошность материала.

Наиболее сложная в технологическом отношении корпусная деталь двигателя – это блок цилиндров, который на операциях изготовления собирается с крышками коренных подшипников и картером сцепления. Эта сборочная единица не разуккомплектовывается при эксплуатации и ремонте. Точность размеров, формы и расположения стыковых поверхностей и отверстий оказывает решающее влияние на долговечность отремонтированного агрегата, поэтому эти показатели имеют жесткие значения. Так, например, показатели, определяющие надежность подшипников коленчатого и распределительного валов, имеют допуски на размеры отверстий, соответствующие пятому-шестому качеству точности (рис. 6.4). Другие параметры (ГОСТ 24643–81) имеют следующую точность: суммарный допуск круглости и профиля продольного сечения отверстий шестой-седьмой степени; параллельность общей оси подшипников распределительного вала относительно крайних отверстий в коренных опорах восьмой-девятой степени, соосность средней коренной опоры относительно крайних пятой-шестой степени. Шероховатость обработанных отверстий  $Ra\ 0,63\ \mu\text{м}$ .

Схема ТП восстановления корпусной детали следующая: предварительная механическая обработка поврежденных участков детали; изготовление ДРД; сварочные (в том числе связанные с закреплением ДРД) и

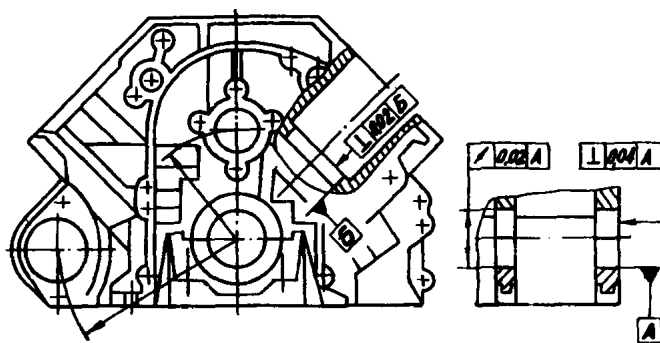


Рис. 6.4. Блок цилиндров

наплавочные работы; термические работы для снятия внутренних напряжений от сварки; напыление поверхностей; механическая обработка мест сварки; нанесение полимерных покрытий; установка ДРД, закрепляемых силами упругости, клеем и штифтами; черновая механическая обработка стыков и отверстий; нарезание резьб номинального и ремонтного размеров и установка спиральных резьбовых вставок; чистовая механическая обработка поверхностей; отделка поверхностей; очистка; контроль восстановления.

Механическая обработка в начале ТП восстановления детали служит для удаления поврежденных элементов, придания восстанавливаемым элементам правильной геометрической формы, разделки трещин, выполнения упоров и стыков под установку ДРД.

Трещины разделяют с помощью шлифовальной машины ИП 2002. В качестве инструмента используют абразивный круг. В концах трещин высверливают отверстия диаметром 3 мм. Трещины в чугунных стенках заваривают проволокой ПАНЧ-11 или -12 либо штучными электродами ЦЧ-3А участками шва 20...25 мм с его проковкой. Сварочные работы на деталях из алюминиевого сплава выполняют аргонодуговой сваркой.

Сварочные и наплавочные работы связаны с тепловложением в материал детали и вызывают напряженное состояние материала и сопутствующие деформации. Эти деформации применительно к чугунным деталям могут быть уменьшены их предварительным нагревом перед сваркой до температуры 600 °С. Сварку выполняют латунью Л63 в ацетиленокислородном пламени. На место обломанных приливов корпусных деталей, выполненных из алюминиевого сплава, приваривают ДРД.

Блок цилиндров из алюминиевого сплава, изготовленный кокильным литьем, после сварки должен пройти термическую обработку при температуре 180 °С в течение 10 ч.

В этой части ТП наносят покрытия напылением.

В несилевых стенках трещины герметизируют нанесением эпоксидного компаунда на основе смолы ЭД16 или ЭД20 (см. разд. 5.3.3).

Основные восстанавливаемые элементы корпусной детали – это направляющие и отверстия под подшипники. В блоке цилиндров к ним относятся коренные опоры, которые представляют собой точное, прерывистое по длине отверстие, выполненное одновременно как в блоке цилиндров, так и в привинченных крышках.

В ремонтном производстве апробированы такие способы создания припусков на восстанавливаемых поверхностях опор под подшипники:

установка ДРД; нанесение эпоксидных композиций; проточное холодное железнение; газопламенная наплавка латуни; электродуговое и плазменное напыление.

Изношенные резьбы восстанавливают нарезанием резьбы ремонтного размера или заваркой отверстий с последующим сверлением и нарезанием резьбы номинального размера, или ввинчиванием вставки резьбовой спиральной (ТУ 70.0001.319–75) в предварительно нарезанную резьбу большего диаметра.

Средства и способы механической обработки, обеспечивающие необходимое качество восстанавливаемых поверхностей, следующие.

Коренные опоры растачивают на специальных станках одновременно с обработкой отверстий во втулках распределительного вала. Плоские поверхности фрезеруют или шлифуют.

Контрольные операции в конце процесса восстановления состоят из проверки: чистоты детали, ее герметичности, размеров геометрических элементов и их взаимного расположения, шероховатости поверхностей. Размеры отверстий контролируют индикаторными нутромерами. Взаимное расположение поверхностей измеряют индикаторными средствами. Особое внимание обращают на контроль чистоты и герметичность масляных каналов.

### 6.3.2. Полые тела вращения

К таким деталям относятся детали типа гильз и пальцев.

Распространен материал вставных гильз цилиндров (рис. 6.5) – серый чугун СЧ 24 или износостойкий чугун ИЧГ-33М твердостью 197...241 НВ. Наибольшему изнашиванию подвержено зеркало цилиндра. Деформируются центрирующие пояски и стыковые плоскости.

При наличии припуска на обработку зеркало гильзы цилиндров обрабатывают под ремонтный размер. Реже припуски под обработку зеркала цилиндра создают установкой ДРД в

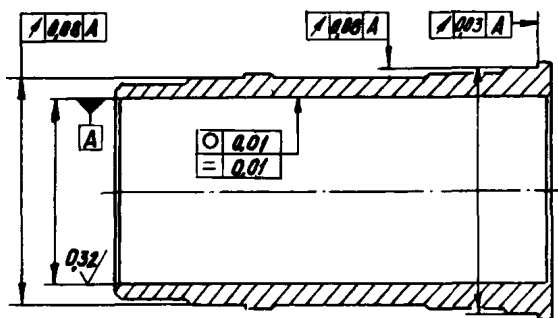


Рис. 6.5. Гильза цилиндров

виде закаленной свертной стальной ленты, напеканием порошков, электроконтактной приваркой стальной ленты или термопластическим обжатием.

Постановка ДРД в виде свернутой ленты включает: предварительное растачивание восстанавливаемой детали, мерную отрезку стальной полосы, свертывание полосы в трубу в приспособлении к прессу, поочередное (по длине) запрессовывание ДРД в гильзу, хонингование. В качестве материала ДРД применяют термически обработанную ленту из стали марок У8А, У10А, 70С2ХА, 65Г и др. Толщина ленты 0,6...0,8 мм. Длина заготовки полосы соответствует длине развертки восстанавливаемого цилиндра с учетом натяга, необходимого для закрепления ДРД в цилиндре.

При *центробежном индукционном напекании* порошков гильзу помещают в патрон установки с горизонтальной осью вращения, засыпают в гильзу порцию материала из композиции порошков ПЖ1 и ПГ-ХН80СР2 в равных долях и включают привод с частотой 350...450 мин<sup>-1</sup>. Порошок равномерно распределяется по поверхности гильзы. В отверстие ее вводят высокочастотный индуктор и включают напряжение. В течение 1...1,5 мин порошок нагревается и припекается к гильзе. Выключают нагрев и спустя 1,2...2 мин выключают привод. Долговечность гильз с таким покрытием в 2...3 раза выше, чем у расточенных под ремонтный размер без покрытия.

Электроконтактная приварка стальной ленты на поверхность цилиндра обеспечивает прочное соединение ленты с деталью, хороший теплоотвод от зеркала цилиндра в тело гильзы и отсутствие зазоров в стыках ленты. Внутреннюю поверхность гильзы растачивают, в нее вставляют ленту, которую приваривают с помощью установки 011-1-06.01, созданной во ВНИИТУВИД «Ремдеталь» (Москва). Способ позволяет неоднократно восстанавливать гильзы, в том числе расточенные до одного из ремонтных размеров. Преимущества приварки – отсутствие нагрева детали, возможность приварки ленты с внедрением твердых сплавов и высокая производительность.

Установка для термопластического деформирования гильзы включает: высокочастотный генератор, индуктор, спрейер, устройство возвратно-поступательного и вращательного движений гильзы. Гильзу устанавливают на стол, которому сообщают вращение и поступательное движение снизу вверх. Подают токи высокой частоты на индуктор и охлаждающий раствор в спрейер. Температура нагрева гильз от индуктора 840...880 °С.

При равномерном перемещении индуктора со спрейером относительно гильзы создается тепловое поле в материале гильзы и наблюдается значительный осевой температурный перепад, который обеспечивает равномерное пластическое обжатие гильзы, создающее припуск на ее внутренней поверхности. Ресурс гильзы 85...90 % от новой детали.

Возможно нанесение гальванических покрытий на зеркало цилиндра путем осаждения хрома, железа, железифосфористых и железоникелевых покрытий.

Припуск на центрирующем пояске гильзы создают с помощью электродугового напыления на установке мод. 01.15.102.

Восстановить плоскостность рабочего торца гильзы можно путем его подрезки на 1 мм под установку компенсирующего кольца такой же толщины при узловой сборке гильз с блоком цилиндров.

Механическая обработка зеркала гильзы сводится к растачиванию и хонингованию.

Гильзы цилиндров растачивают резцами с пластинками из твердого сплава ВК-3 или ВК-6 при частоте вращения шпинделя  $300 \text{ мин}^{-1}$  и его подаче 0,1 мм/об на алмазно-расточных станках 2Е78. СОЖ – Аквол-11. Производительность обработки повышается, а шероховатость поверхности уменьшается за счет применения инструмента из сверхтвердых материалов, например эльбора-Р при частоте вращения шпинделя  $750 \text{ мин}^{-1}$  или гексаниа-Р при  $1200 \text{ мин}^{-1}$ . При обработке деталей инструментом из сверхтвердых материалов СОЖ не применяют.

Детали при обработке закрепляют в пневматическом приспособлении. Перпендикулярность к оси зеркала гильзы и допустимое биение ее центрирующего пояска относительно зеркала цилиндра обеспечивают базированием и обработкой.

Зеркало цилиндра после растачивания хонингуют брусками АСБ 125/100 100 М1 и АСМ 28/20 100 М1 до получения точности пятого-шестого качества и шероховатости до 0,16 мкм. Овальность и конусообразность обработанного отверстия  $\leq 0,005 \text{ мм}$ . Частота вращения хонинговальной головки при диаметре обработки 90...100 мм составляет  $155 \text{ мин}^{-1}$  при скорости поступательного перемещения 12...18 м/мин. Давление брусков на зеркало цилиндра при чистовой обработке 0,5...0,8 МПа.

Приведенный режим обеспечивает эффект плосковершинного хонингования, в результате которого образуется несущая поверхность трения с шероховатостью 0,32 мкм, составляющая 70...90 % общей площади зеркала цилиндра. Остальную площадь занимают скрещивающиеся дис-

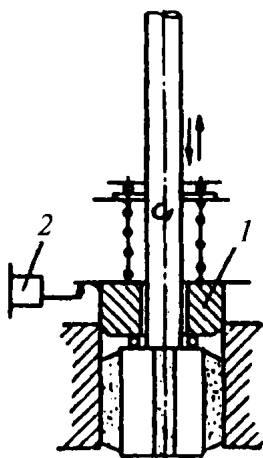


Рис. 6.6. Схема измерительного устройства для хонинговального станка

Средства активного контроля размера обработки (рис. 6.6) в своем составе имеют жесткий калибр 1. Этот калибр движется вместе с хонинговальной головкой и при достижении диаметром обрабатываемого отверстия заданного значения входит в него, вызывая срабатывание электроконтактного преобразователя 2, который выдает сигнал на прекращение обработки.

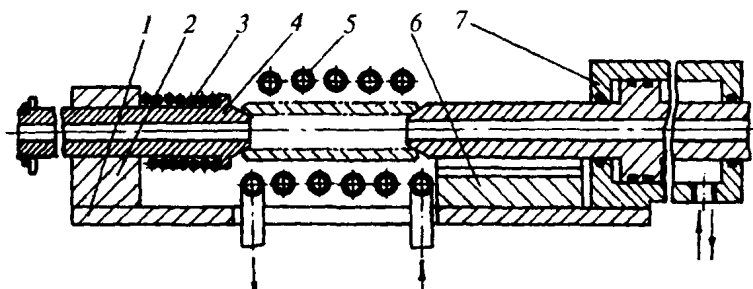
Дальнейшим развитием способа является процесс антифрикционного хонингования, обеспечивающий приработочный износ гильз, в 3 раза меньший, чем после традиционного хонингования. После двух операций хонингования поверхность обрабатывают брусками, содержащими приработочные антифрикционные материалы (графит, дисульфид молибдена). Давление брусков на обрабатываемую поверхность 0,2...0,4 МПа. Для закрепления покрытия на зеркале цилиндра в зону обработки вводят порцию водорастворимого полимера композит-81 через отверстия хонинговальной головки.

На контрольной операции перспективно применение пневматических длинномеров для измерений внутреннего диаметра гильз цилиндров и сортировки их на размерные группы.

Поршневые пальцы изготовлены из стали 15Х или стали 45, материал деталей проходит улучшение. Поверхность пальцев закалена ТВЧ до твердости 58...65 HRC на глубину 1...1,5 мм. Деталь имеет отклонение

ки глубиной 7...10 мкм от предварительного хонингования. Угол пересечения рисок зависит от соотношения скоростей возвратно-поступательного и вращательного движений хонинговальной головки, он должен составлять 43...55°. Последнее обстоятельство существенно, поскольку при угле пересечения рисок  $< 43^\circ$  в процессе эксплуатации наблюдается сухое трение, а при угле  $> 55^\circ$  – повышенный расход масла. Шероховатость гильз цилиндров с плосковершинным профилем зеркала цилиндра контролируют на профилографе, шероховатость других поверхностей оценивают в цеховых условиях с помощью образцов шероховатости.





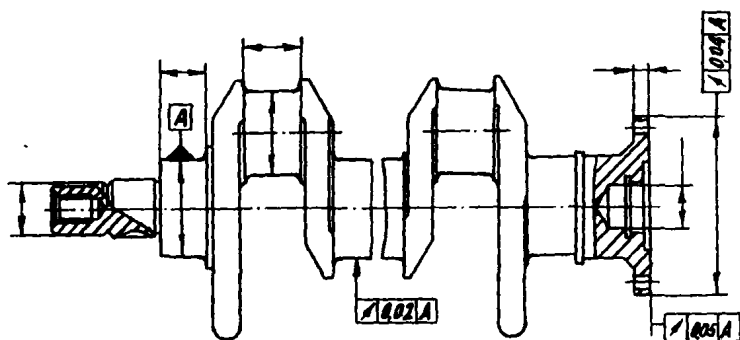
**Рис. 6.7. Схема стенда для термопластической раздачи поршневых пальцев:**

1 – плита; 2 – кронштейн; 3 – пружина; 4 – полый шток; 5 – индуктор;  
6 – направляющая призма; 7 – пневмоцилиндр

наружного диаметра  $-0,010$  мм, шероховатость рабочей поверхности  $0,16$  мкм, допуск массы  $2$  г. Повреждения поршневого пальца – износ рабочей поверхности. Ремонтную заготовку поршневого пальца получают нанесением хромового покрытия на его трущуюся поверхность, термопластической (рис. 6.7) или электрогидравлической раздачей (см. разд. 3.10.2).

### 6.3.3. Валы, оси

Восстановленные валы служат в машинах для передачи момента и преобразования движений (поступательного во вращательное или наоборот). Наиболее сложные детали автомобиля, относящиеся к классу валов – это коленчатые (рис. 6.8) и распределительные валы. Детали



**Рис. 6.8. Коленчатый вал**

имеют такие конструктивные элементы: шейки, кривошипы, кулачки, шпоночные пазы, торцы, стыки и отверстия.

Оси в отличие от валов не передают крутящие моменты и нагружены только поперечными силами и изгибающими моментами. Оси содержат часть перечисленных конструктивных элементов, принадлежащих валам.

Коленчатые валы изготовлены из конструкционных (сталь 45) или легированных (18ХНБА) сталей или высокопрочного чугуна (ВЧ 50-2). Распределительные валы изготовлены из улучшаемых сталей 45, 40Г, 50Г или цементуемых 20, 20Г. Шейки и кулачки валов закалены ТВЧ на глубину 1,5...3,5 мм до твердости 36...60 HRC.

Основные повреждения деталей – износ шеек, кулачков, пазов, отверстий и торцев, деформации, износ резьб, усталостные трещины. У деталей восстанавливают расположение, форму, размеры и шероховатость элементов, износостойкость трущихся поверхностей и усталостную прочность. При восстановлении осей нет необходимости восстанавливать последнее свойство.

Точность обработки восстановленных шеек и кулачков – пятый-седьмой квалитеты, шероховатость поверхностей  $Ra$  0,32...0,63 мкм, точность углового расположения кулачков и кривошипов  $\pm 7,5'$ , допуск на радиус кривошипа +0,05 мм.

Последовательность технологических операций восстановления деталей следующая: определение места расположения и размеров усталостных трещин и принятие решения о целесообразности восстановления детали; правка; подготовка поверхностей под нанесение покрытий или установку ДРД; нанесение покрытий или установка и закрепление ДРД; термическая обработка; черновая механическая обработка; закалка шеек ТВЧ; чистовая механическая обработка; упрочнение галтелей; отделка шеек.

Чугунные детали с усталостными трещинами подлежат выбраковке. Отдельные неопасные трещины в стальных валах могут быть разделаны абразивным инструментом по всей длине с целью образования канавки радиусом 1,5...2,0 и глубиной 0,2...0,4 мм. Острые кромки следует притупить по периметру.

Правка детали необходима для придания прямолинейности ее оси, что, в свою очередь, позволяет уменьшить величину припусков на обработку, использовать все ремонтные размеры детали и уменьшить ее дисбаланс. Стальные валы правят под прессом с приложением статической нагрузки. Чугунные валы правят с нагревом или созданием преимущест-

венно сжимающих напряжений в объеме одной шейки (поэлементная правка). При правке статической нагрузкой возможно появление трещин, поэтому целесообразно применение правки наклепом – нанесением ударов клепальным молотком по поверхностям шеек.

В зависимости от твердости материала предварительную механическую обработку шеек ведут точением или шлифованием.

Шейки валов допускают обработку под ремонтные размеры. Ремонтный интервал шеек, как правило, 0,25 мм. Кулачки при первом восстановлении шлифуют «как чисто» до допустимого размера их цилиндрической части. Восстановление деталей под ремонтные размеры обеспечивает минимальную трудоемкость процесса.

В ходе восстановления детали припуски под обработку создают на шейках, их торцах и на поверхностях отверстий под подшипники. Основные способы нанесения покрытий на поверхности стальных валов сводятся к различным видам наплавки и напыления. Наиболее распространены три технологии наплавки.

Первая технология основана на применении пружинной проволоки второго класса диаметром 1,6 мм и флюса АН-348А с добавками 2,5 % феррохрома и 2 % графита. Материалы обеспечивают достаточную твердость и износостойкость наплавленного слоя. Затем шейки шлифуют и полируют. Способ нетрудоемок, обеспечивает высокую износостойкость шеек, но имеет существенный недостаток – возможность появления трещин при правке и микротрещин при шлифовании.

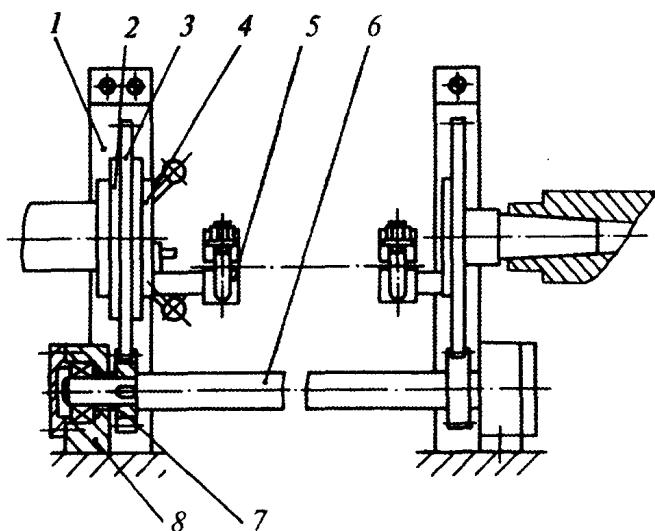
Вторая технология предусматривает применение проволоки Нп-30ХГСА диаметром 1,6 мм под слоем флюса АН-348А [на Полоцком заводе «Проммашремонт» применяют композицию: АН-348А (основа), 0,3 % графита и 10 % АН-20]. После наплавки заготовку нормализуют, обтачивают и правят. После закалки шеек ТВЧ их шлифуют и полируют. Технология характеризуется увеличенной трудоемкостью восстановления, но обеспечивает стабильное качество с высокими показателями износостойкости и усталостной прочности.

По третьей технологии ведут широкослойную наплавку проволокой Св-08 под ферромагнитной шихтой, в которую входят: серебристый графит – 16 %, алюминиевая пудра – 7 %, комплексный модификатор ЖКМК (ТУ ЧЭМК 14-5-39–74) – 3 % и железный порошок ПЖ4МЗ (основа). Режим наплавки: сила тока 200...220 А, скорость вращения детали 0,5 мин<sup>-1</sup>, частота колебаний наплавочной головки 34...38 мин<sup>-1</sup>, расход шихты 60...80 кг/ч, подача проволоки 6 м/мин, длина выступания электрода 23...25 мм. Широкослойная наплавка дает наибольшее тепловложение в материал детали.

Высокую износостойкость шеек обеспечивает наплавка по винтовой линии порошковой проволокой ПП-Нп40Х4Г2МНТФ под флюсом АН-4491.

Большие технологические трудности представляет нанесение покрытий при ремонте коленчатых валов, изготовленных из высокопрочного чугуна. В ремонтной практике применяются или прошли апробацию различные способы нанесения покрытий: наплавка самозащитной проволокой Св-15ГСТЮЦА; вибродуговая наплавка в водокислородной среде и в 20%-ном водном растворе глицерина; наплавка по оболочке из низкоуглеродистой стальной ленты; одно- или двухслойная наплавка под флюсом; нанесение плазменных покрытий. Применяют различные способы установки и закрепления ДРД. По данным проф. Ф.Х. Бурумкулова (ВНИИТУВИД «Ремдеталь»), наилучшие показатели износостойкости и усталостной прочности шеек коленчатых валов обеспечивают способы нанесения плазменных покрытий и установки стальных закаленных ДРД.

Плазменное покрытие из композиции порошков наносят на подслой из материала ПН85Ю15. Состав композиции: 50 % ПГ-СР3, 30 % ПЖ4 и 20 % ПН85Ю15. Покрытие напыляют на установке (рис. 6.9).



**Рис. 6.9. Схема вращателя коленчатого вала для напыления покрытий на его шейки:**

1 – кожух; 2 – планшайба; 3 – зубчатое колесо; 4 – диск; 5 – клемма  
7 – шестерня; 8 – корпус подшипника

Процесс восстановления коленчатого вала установкой ДРД подразумевает: предварительную обработку шеек, изготовление ДРД и закрепление их на шейках, обработку шеек (при необходимости).

Шейки с приваренными или припаянными ДРД окончательно шлифуют до номинального размера. Размер восстановленной шейки с ДРД, закрепленными силами упругости по упорам, обеспечивают предварительным шлифованием и подбором толщины ленты ДРД.

Припуск на обработку отверстия под подшипник создают запрессовыванием ДРД или вибродуговой наплавкой. Отверстие обрабатывают с базированием детали по коренным шейкам, одна из них – самая близкая к обрабатываемому отверстию.

Ремонтные заготовки распределительных валов получают с применением оборудования для наплавки или напыления шеек и кулачков (рис. 6.10).

В качестве технологических баз у распределительных валов используют центровые отверстия и боковую поверхность шпоночного паза, а у коленчатых валов – дополнительно коренные шейки.

Шлифование шеек коленчатых валов ведут на специализированных станках 3В423. Недостатком обработки является односторонний привод детали со стороны передней бабки, что приводит к деформации детали во время обработки. Этот недостаток устранен в станках ХШ 2-01 и ХШ 2-16 с двусторонним приводом обрабатываемого вала со стороны передней и задней бабок. Последние станки обеспечивают равномерную подачу шлифовальной бабки на деталь. Нецилиндричность поверхности до 0,005 мм достигается выхаживанием детали в конце обработки в течение пяти-семи ее последних оборотов.

Уменьшение овальности конусо- и седлообразности шеек коленчатого вала с 0,01 до 0,006 мм увеличивает срок службы вкладышей в 2,5...4 раза. Повышение точности поверхностей деталей достигается применением средств активного контроля в процессе обработки. В условиях ремонтного

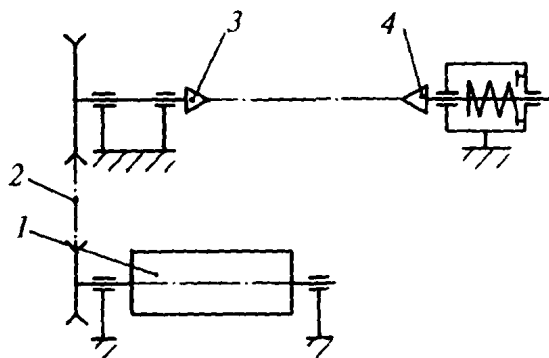


Рис. 6.10. Схема стана для газопорошковой наплавки кулачков распределительного вала:

1 – барабан; 2 – цепная передача;  
3 – ведущий центр; 4 – ведомый центр

производства используют эти средства для деталей типа вала и валовых станках, оснащенных механическими, пневматическими и индуктивными приборами. На рис. 6.11 показана скоба для измерения диаметра шеек вала при их шлифовании.

Скобу устанавливают на кожухе шлифовального круга с пикронштейна. Устройство ориентируется относительно обрабатываемой детали с помощью опор 1 из твердого сплава. Измерительное перо от детали передается посредством штанги с твердосплавными наконечниками к стержню индикаторной головки 4. В качестве пружины применяются индикаторы часового типа или рычажно-зубчатые с ценой деления 0,001 мм. Измерительное усилие, равное 4...5 кН, создается пружиной 3. Усилие прижима неподвижных наконечников создается пружиной 6. Скоба устанавливается напротив середины шлифовального круга, это положение регулируют с помощью опоры 5. Ос болт 2, регулируют размер между опорными элементами скобы на обработку. Шейки обрабатывают в положении скобы, установленной на обрабатываемую деталь. Диаметр шейки измеряют в процессе обработки без остановки станка.

Шейки распределительного вала шлифуют в центрах на станке 3М151, а кулачки – на специальном копировально-шлифовальном станке.

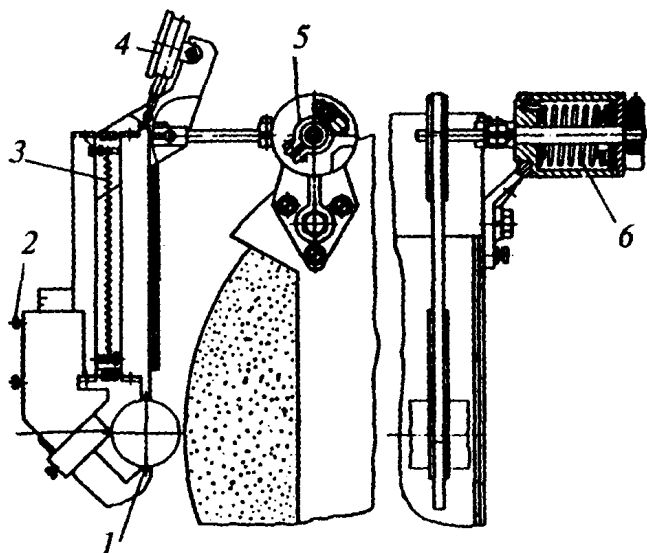


Рис. 6.11. Скоба для измерения диаметра шеек валов при их шлифовании

3М433У. Установочно-копирная наладка выполняется отдельно для каждого типоразмера детали. Угловое перемещение детали относительно оси ее вращения при установке и закреплении перед шлифованием кулачков осуществляют с помощью делителя, который расположен на шейке под шестерню и ориентирован шпонкой в пазу детали.

Усталостную прочность восстанавливают поверхностным пластическим деформированием. Операция обеспечивает создание остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое, в котором уничтожаются субмикроскопические трещины, которые могут стать источниками усталостного разрушения.

Полирование является отделочной операцией, на нее оставляют припуск 0,005 мм. Для полирования коленчатых валов применяют специальные станки СШ-4516. В качестве инструмента используют шлифовальные шкурки на тканевой основе 0,2 Э 600×30 УГТ, 23А, М50-Н СФ Ж, А (ГОСТ 13344–79). При отсутствии специального полировального оборудования применяют ленточно-полировальные головки, устанавливаемые на шлифовальные станки, или изготавливают собственными силами станки с войлочными кругами или жимками. В последнем случае в качестве абразивного материала служит паста ГОИ.

После восстановления контролируют следующие параметры деталей: твердость поверхностей шеек; размеры (диаметр и длину) шеек и шероховатость их поверхностей; диаметры фланца и отверстий под болты и подшипник; длины от базового торца до торцев шеек; ширину шпоночных пазов; биения всех соосных цилиндрических поверхностей относительно крайних шеек; радиусы кривошипов; угловое расположение всех кривошипов и кулачков относительно шпоночного паза.

Параметры расположения измеряют на индикаторных приборах собственного изготовления, остальные параметры – универсальными средствами или калибрами.

### **6.3.4. Вкладыши подшипников**

Вкладыши коленчатых валов карбюраторных двигателей допускают одно растачивание под ремонтный или номинальный размер на станках повышенной точности Одесского станкозавода. При исчерпании такой возможности на рабочие поверхности сталеалюминиевых вкладышей, выполненные из материала АО-20-1 или АО-6, наносят гальванические покрытия. По технологии НПО «НИИ тракторосельхозмаш» (Москва) на трущиеся, изношенные не менее чем на 0,03 мм предварительно расточенные поверхности наносят покрытия из сплава СОС-6-6 толщиной

25 мм. Сплав СОС-6-6 состоит из олова (5,5...6,5 %), сурьмы (5,5... %) и свинца (остальное).

Процесс нанесения покрытия включает следующие операции:

- электролитическое обезжиривание на аноде и катоде в электролите состава:  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  (20...40 г/л),  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (20...40 г/л) при температуре 70 °С, плотности тока 3,5...5 А/дм<sup>2</sup> в течение 3 мин;
- горячую промывку в воде при температуре 70...90 °С в продолжение 1 мин;
- холодную промывку в воде при температуре 18...20 °С в течение 1 мин;
- травление и осветление в растворе состава:  $\text{HNO}_3$  (420 г/л),  $\text{HCl}$  (20 г/л) при температуре 18...25 °С в течение 1 мин;
- двукратную промывку в воде при температуре 18...25 °С в продолжение 2 мин;
- цинкатную обработку в растворе состава, г/л: 425...525  $\text{NaOH}$ , 1...100  $\text{ZnO}$ , 1...1,2  $\text{FeCl}_3$ , 10...15 сегнетовой соли при температуре 18...20 °С в течение 6,5 мин;
- двукратную промывку в воде при температуре 18...25 °С за 2 мин;
- повторение операций травления с осветлением, промывки в холодной воде и цинкатной обработки с промывкой в холодной воде;
- никелирование с перемешиванием раствора состава, г/л: 85...12  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 10...50  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 40  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0,15...2  $\text{H}_2\text{O}_2$  при температуре 45...55 °С, плотности тока 2...2,2 А/дм<sup>2</sup> в течение 6 мин (толщина покрытия достигает 2,5 мкм);
- двукратную промывку в воде при температуре 18...25 °С в течение 2 мин;
- осаждение баббита СОС-6-6 в растворе состава, г/л: 185  $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$ , 14  $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$ , 18,8  $\text{Sb}(\text{BF}_4)_3$ , 80  $\text{HBF}_4$ , 25  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0,5...1 желатина, 5...7 резорцина при температуре 18...20 °С, плотности тока 4 А/дм<sup>2</sup> в течение 125 мин. Толщина покрытия достигает 125 мкм;
- нанесение трехкомпонентного приработочного покрытия из олова (8...12 %), меди (2...3 %) и свинца (остальное) на установке ГУ-2. Магериал анода – сплав олова со свинцом, где свинца 8...10 %. Состав электролита, г/л: 331...472  $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$ , 49,2...70,4  $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$ , 10...15  $\text{Cu}(\text{BF}_4)_2$ , 70...100  $\text{HBF}_4$ , 30  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 5...6 резорцина. Процесс протекает при температуре 18...25 °С, плотности тока 10,8 А/дм<sup>2</sup> в течение 250 с;
- двукратную промывку в воде при температуре 18...25 °С в течение 2 мин;



– нанесение декоративного покрытия из олова и свинца, где олова 8...10 % в растворе состава, г/л: 185  $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$ , 50...74  $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$ , 80  $\text{HBF}_4$ , 25  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0,5...1 желатина, 5...7 резорцина при температуре 18...20 °С, плотности тока 1...2  $\text{А/дм}^2$  в течение 1...2 мин. Толщина покрытия достигает 2 мкм;

– промывка в воде соответственно при температуре 18...25 и 70...90 °С по 1 мин.

Приведенные операции выполняют над деталями, установленными на подвеске. Окончательную механическую обработку не ведут.

С целью совершенствования процесса в Белорусском государственном университете (Минск) разработан способ восстановления изношенных вкладышей подшипников путем гальванического осаждения многокомпонентных функциональных покрытий. Способ обеспечивает необходимое сочетание свойств: толщины, коэффициента трения, адгезии, микротвердости и др. Технология включает: предварительную механическую обработку вкладышей, их обезжиривание, травление, осаждение тонкого никелевого покрытия на алюминиевую основу внутренней поверхности детали и осаждение антифрикционных сплавов  $\text{Pb-Sn-Sb}$  или  $\text{Pb-Sn-Cu}$  из борфтористо-водородных электролитов. Введение в свинцово-оловянные сплавы третьего компонента повышает их микротвердость, улучшает прирабатываемость, износостойкость и стойкость против эрозии.

Наряду с солями осаждаемых металлов электролиты содержат свободные борфтористую и борную кислоты, желатин и резорцин. Борфтористая кислота регулирует pH прикатодного слоя и увеличивает рассеивающую способность и стабильность электролита. Борная кислота выступает в качестве буферной добавки. Желатин и резорцин регулируют относительные скорости осаждения компонентов сплава и способствуют получению мелкозернистых плотных покрытий. Механическое перемешивание электролита сводит к минимуму пористость осадков и повышает скорость охлаждения. Процесс ведут при комнатной температуре и плотности тока до 4  $\text{А/дм}^2$ . Подобранные составы растворов и режимы осаждения позволяют осуществлять процесс со скоростью до 1,35 мкм/мин.

Производительность процесса зависит от объема используемых ванн и толщины покрытия. В двух-трех ваннах объемом 350...370 л можно нанести покрытие толщиной 125 мкм на поверхности 500...600 вкладышей в смену.

Восстановленные по разработанной технологии комплекты вкладышей эксплуатируются на двигателях ЗМЗ-53-11 в хозяйствах Витебской области с февраля 1998 г. Нарботка этих двигателей превысила 70 тыс. км пробега.

Имеются предложения по восстановлению изношенных вкладышей подшипников пайкой или напылением. Наряду с достоинствами указанные способы имеют и существенные недостатки, связанные с невозможностью одновременного восстановления большого числа деталей и их деформациями в результате термического влияния от газового или плазменного факела. Возникают также проблемы из-за невысокой адгезии напыленных покрытий с основой.

Затраты на восстановление вкладышей составляют 10....50 % стоимости новых деталей.

### **6.3.5. Шатуны, рычаги, коромысла**

Шатуны участвуют в преобразовании поступательного движения во вращательное, а рычаги и коромысла – в передаче поступательного движения. Детали этого типа снабжены втулками.

Шатуны карбюраторных двигателей изготовлены из сталей 40, 45, 40Х, 45Г2, 40ХМА, 18ХНМА и др., материал втулки – бронза ОЦС 4-4-2,5, АЖ 9-4, материал болтов – стали 35ХМА, 38ХА, 40Х и др. Твердость материала шатуна 228...268 НВ.

Основные повреждения шатунов – трещины различного характера; повреждение резьбы болтов и гаек; непараллельность осей; деформация и износ отверстий кривошипной и поршневой головок. Детали с повреждениями первых двух видов подлежат выбраковке.

Рычаги и коромысла изготовлены из сталей 45, 45Л, материал втулок такой же, как материал втулки шатуна. Твердость закаленного бойка коромысла 56...60 HRC.

Повреждения коромысел и рычагов – износ отверстий и бойков.

Допуск на размер отверстий головок шатуна пятого-шестого качества, допуск на размер между осями этих отверстий и на параллельность их осей соответствует восьмой-девятой степени точности.

Шероховатость восстановленных поверхностей отверстий и бойков  $Ra\ 0,16$ .

Шатун в сборе имеет допуск массы 4 г/кг массы сборочной единицы, головки взвешивают отдельно друг от друга, а допуск на массу головок 2 г/кг.

Ремонтную заготовку восстанавливаемых деталей получают нанесением гальванических или газотермических покрытий на поверхности отверстий и запрессовыванием новых втулок в отверстия.

Распространено нанесение гальванических железных покрытий на поверхности отверстий. Процесс ведут при температуре электролита 60...80 °С из 300...500 г/л хлористого железа и 2...5 г/л соляной кислоты; плотности тока 5...15 А/дм<sup>2</sup> с коэффициентом асимметрии 1,3...2.

Механическая обработка отверстий заключается в хонинговании отверстия нижней головки и растачивании отверстия во втулке верхней головки.

Нормативную точность параметров расположения основных поверхностей обеспечивает механическая обработка шатуна в такой последовательности. Отверстие в кривошипной головке с нанесенным покрытием двукратно хонингуют с ориентированием инструмента по обрабатываемой поверхности, что обеспечивает снятие наименьшего припуска. Деталь 3 (рис. 6.12) при растачивании отверстия под поршневой палец устанавливают на оправку 4, рабочий торец которой перпендикулярен к опорной цилиндрической поверхности. Деталь с оправкой ориентируют

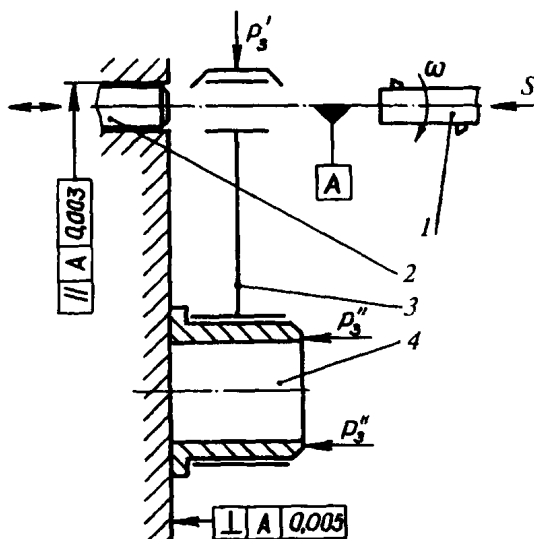


Рис. 6.12. Схема установки шатуна на горизонтально-расточный станок КК-1454 при обработке отверстия в верхней головке:

1 – шпиндель; 2 – центрирующая оправка; 3 – деталь; 4 – установочная оправка;  
 $\omega$  и  $S$  – угловая частота и подача шпинделя;  $P'_3$  и  $P''_3$  – силы закрепления

относительно шпинделя с помощью оправки 2, и в таком положении детали к ней и оправке прикладывают силы закрепления  $P'_3$  и  $P''_3$ . Выводя оправку 2 из отверстия детали и его поверхность растачивают за счет вращения шпинделя с резцами с угловой частотой вращения  $\omega$  и подачей  $S$ .

Обработка шатуна по приведенной схеме обеспечивает снятие равномерного припуска и параллельность осей отверстий в головках шатуна в пределах установленного допуска: 0,04 мм на 100 мм длины.

Шатуны сортируют на размерные группы отверстия под поршневой палец.

Производительная сортировка отверстий на размерные группы проводится с помощью пневматического измерительного стенда. На автомобильных заводах (например, КамАЗе и ЗИЛе) имеется оборудование для контроля шатунов, в котором пневматические пробки установлены на станине таким образом, что их оси параллельны и находятся друг от друга на расстоянии, равном номинальному межосевому расстоянию между отверстиями шатуна. На таком оборудовании дополнительно измеряют расстояние между осями в детали, а также непараллельность осей в двух координатных плоскостях.

Нормативное значение массы головок шатунов обеспечивают снятием металла с приливов.

Бойки коромысел при восстановлении наплавляют самофлюсующимися сплавами с последующим их шлифованием на заточном станке в приспособлении. Отверстие в запрессованной втулке растачивают.

### **6.3.6. Поршни**

Поршни преимущественно изготавливают из силумина АЛ-4. В процессе восстановления поршня устраняют износные повреждения: отверстия под поршневой палец; рабочих поверхностей под поршневое кольцо и юбки. Восстановлению подлежат 47...50 % поршней ремонтного фонда.

Восстановление включает: очистку поршня, создание технологических баз, изготовление, установку и закрепление ДРД, точение головки и канавок, обработку юбки, разворачивание отверстия под поршневой палец и контроль восстановленной детали. Здесь способ постановки ДРД сочетается со способом ремонтных размеров. Для восстановления канавки под верхнее поршневое кольцо применяют ДРД, отверстие под поршневой палец разворачивают под ремонтный размер, а юбку шлифуют до предыдущего ремонтного (или номинального) размера.

Очистка поршней от нагара эффективна в расплаве солей и щелочей при его температуре 300 °С или потоком стеклянных шариков.

Центровые отверстия на днище и бобышках выполняют на токарно-винторезном станке в две установки с закреплением поршня за головку специальными кулачками. Последующие операции осуществляют с базированием поршня по выполненным поверхностям.

Для восстановления наиболее изнашиваемой верхней канавки поршня отливают ДРД из сплава АК12ММгН. Твердость отливки 100...120 НВ и хорошую ее обрабатываемость обеспечивают рафинированием расплава и термообработкой отливки. Внутреннюю поверхность ДРД, торец и фаску под сварку обрабатывают.

Перемычку между днищем поршня и канавкой под верхнее поршневое кольцо протачивают до выхода резца в пространство под канавкой (рис. 6.13), при этом диаметр обработки  $H_1$  должен быть меньше диаметра канавки  $D$ , мм:

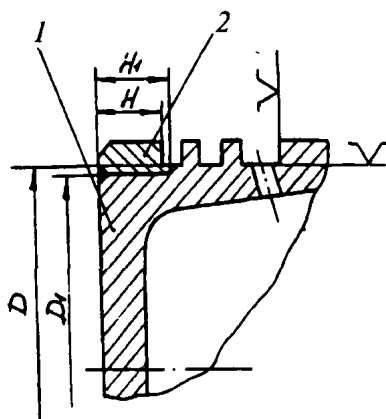
$$H_1 = H + (0,5...1), \quad (6.7)$$

а диаметр точения  $D_1$  должен быть меньше, чем диаметр канавки  $D$ , мм:

$$D_1 = (0,98...0,99) D. \quad (6.8)$$

С торца днища снимают фаску под сварку.

Дополнительную ремонтную деталь устанавливают до упора на обработанную поверхность поршня и фиксируют кольцевым сварочным швом, который заполняет пространство между совмещенными фасками поршня и ДРД. Сварку ведут на вращателе с помощью аргонодуговой установки УДГ-301. Сила сварочного тока 220...250 А, напряжение 14...15 В, присадочный материал – проволока Св-АК-5 диаметром 5 мм, скорость сварки 8...10 м/ч, расход аргона 8...10 л/мин, время сварки 1,5 мин.



**Рис. 6.13. Схема установки ДРД при восстановлении канавки под поршневое кольцо:**

1 – восстанавливаемый поршень;  
2 – ДРД

Затем подрезают днище, обрабатывают цилиндрическую поверхность головки по длине, снимают фаску и протачивают канавки.

Юбку поршня шлифуют на станке 3М433У, который предназначен для обработки кулачков распределительного вала. Станок модернизирован: применен абразивный круг из хромотитанистого электрокорунда марки 92А высотой 80 мм, позволяющий вести врезное шлифование детали; установлены опорно-базирующие элементы, соответствующие базам детали; заменены копиры. Конусообразность юбки достигается поворотом стола относительно направляющих шлифовальной бабки.

Изношенные отверстия под поршневой палец разворачивают на вертикально-сверлильном станке 2Н135 под ремонтный размер. Под этот же ремонтный размер растачивают втулку шатуна и шлифуют поршневой палец, прошедший хромирование или один из видов раздачи. При обработке отверстия в поршне применяют развертку с твердосплавными зубьями. Отверстие разворачивают на ручной подаче при частоте вращения шпинделя  $125 \text{ мин}^{-1}$ , в качестве СОЖ применяют смесь из 90 % керосина и 1 % индустриального масла И20А.

Форму и размеры юбки контролируют на индикаторном приспособлении, которое настраивают с помощью эталона. Высоту канавок измеряют плоскими калибрами, диаметр отверстия под поршневой палец – индикаторным нутромером.

На шлифованные детали наносят химическим способом слой олова толщиной 5 мкм.

Затраты на восстановление поршней составляют 10...30 % стоимости новых деталей.

### 6.3.7. Клапаны

Клапаны изготавливают из легированных сталей: впускные – из сталей 40Х10С2М, 40Х9С2; выпускные – из сталей 40Х10С2М, 40Х14НВ2М, 55Х20Г9АН4. Рабочие фаски наплавлены жаростойким сплавом В2К или В34. Стержни клапанов имеют твердость 27...32 HRC, а торцы 42...58 HRC.

Основные повреждения клапанов – износ стержня и фаски, деформация стержня.

Деформированные стержни правят. Восстановительные покрытия наносят на стержень и фаску клапана.

Малое значение диаметра стержня клапана не допускает применения наплавки. Эта причина в сочетании с небольшими износами поверхности обусловила нанесение на нее гальванических покрытий.

Железные стержни ведут на подвеске в электролите состава: хлористое железо 300...500 г/л, соляная кислота 2...3 г/л. Плотность тока 15...20 А/дм<sup>2</sup>. Принят асимметричный ток с изменением коэффициента асимметрии от 1,3 до 6.

Покрытие на фаску клапана наносят: плазменной наплавкой самофлюсующимися порошками на установке ОКС-11192 ГОСНИТИ, электродуговой наплавкой сплавами на основе кобальта и никеля, газопорошковой наплавкой самофлюсующимися хромоникелевыми порошками и высокочастотной наплавкой с удержанием расплавленного металла в керамической форме.

На Полоцком заводе «Проммашремонт» покрытия на фаски клапанов наносят аргонодуговой наплавкой из проволоки Св-05Х19Н9Ф3С2 на установке собственной конструкции. Деталь принудительно вращается, а тепло от ее головки отводится в медную водоохлаждаемую опору.

Стержень клапана шлифуют на бесцентровом шлифовальном станке, например 3Д184, а его фаску шлифуют с базированием детали по обработанному стержню в приспособлении на круглошлифовальном станке, например 3А151.

### 6.3.8. Зубчатые колеса

Зубчатые колеса изготавливают из легированных сталей (40Х, 30ХГТ, 20ХНМ и др.). Необходимую поверхностную твердость зубьев обеспечивают химико-термической или термической обработкой (цементацией, цианированием, закалкой и др.).

Характерные повреждения зубьев – усталостные разрушения в виде заковин, уменьшение толщины (при абразивном изнашивании), износ горцев (из-за включения передач) и поломки. У зубчатых колес повреждаются также сопрягаемые элементы с валами, крестовинами, вилками и синхронизаторами.

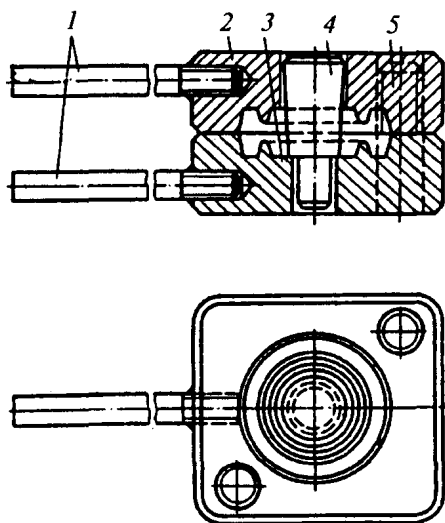
Элементы зубчатых колес восстанавливают заменой венцов, наплавкой, напеканием и пластическим деформированием.

Венцы зубчатых колес заменяются чаще всего при восстановлении блоков шестерен с несколькими венцами, когда один из них сильно изношен, а остальные находятся в исправном состоянии.

Изношенный венец отжигают и отрезают, а для напрессовывания ДРД протачивают шейку. Толщина венца ДРД (расстояние от окружности впадин до посадочной поверхности) должна быть  $\geq 1...1,25$  высоты уба. Разрушить изношенный венец можно электроэрозионным способом на станке 4А722, применяя трубчатый электрод.

Материал нового зубчатого венца такой же, как и восстанавливаемой детали. ДРД напрессовывают на блок шестерен и фиксируют двумя-тремя винтами, электродуговой сваркой или полимерами. Нарезка зубьев желательна на напрессованной ДРД.

Венцы с односторонним износом торцевой части зубьев (венцы маховиков) могут быть перевернуты для работы другой стороной. В таком случае ранее не работавшие торцы зубьев должны быть закруглены. В некоторых случаях целесообразно переставлять на другой торец колеса элемент с проточкой для вилки переключения передач. Зубья наплавляют газовой или электродуговой наплавкой. В первом случае применяют присадочные прутки того же состава, что и материал зубчатого колеса. Для наплавки цементованных зубчатых колес служит присадочный материал с более высоким содержанием углерода. Если в качестве присадочного материала используют малоуглеродистую сталь, то шестерню цементируют, а затем закаляют. Крупномодульные неточные колеса целесообразно наплавлять железохромистыми электродами типа сормайт. Наплавку ведут в ванне с водой, чтобы предохранить деталь от перегрева и



**Рис. 6.14. Штамп для восстановления зубчатых колес вдавливанием:**

1 – ручки; 2 и 3 – верхняя и нижняя половины штампа соответственно; 4 – оправка;  
5 – направляющие

коробления. Изношенные зубья восстанавливают также нанесением покрытия автоматической наплавкой под слоем флюса. Наплавленные зубья шлифуют абразивными кругами зернистостью 36...46.

Зубья напекают железными порошками по неработающей части зуба и по поверхности выступов (у шестерен масляного насоса).

Пластическое деформирование (вдавливание) применяют для восстановления зубчатых колес, изношенных по толщине и имеющих на венце запас металла. Для этого необходимы специальные штампы (рис. 6.14). Пластическим



деформированием восстанавливают как блочные, так и одинарные колеса, если они не имеют поломанных зубьев, сколов и трещин. Вдавливание ведут с нагревом.

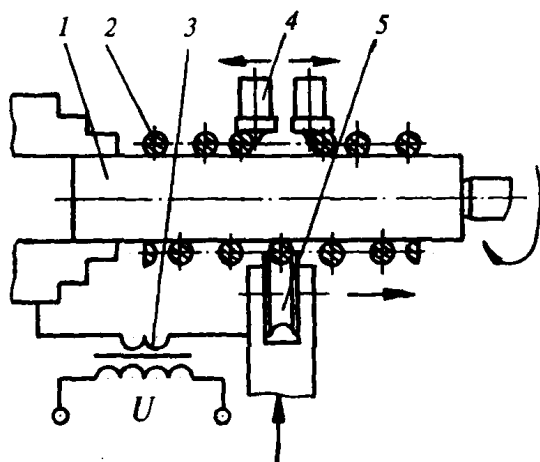
Необходимы припуски на механическую обработку: 1,4...1,5 мм по ширине зубьев; 0,5...0,7 мм по наружному диаметру и 1,2...1,4 мм по диаметру внутреннего отверстия. Затем деталь нормализуют, обрабатывают лезвийным инструментом, закаляют, отпускают и шлифуют зубья.

### 6.3.9. Упругие элементы

К упругим элементам относятся плоские, стержневые и витые детали в виде пружин, рессорных листов и торсионов. Наибольшее количество таких элементов приходится на пружины, которые применяют во многих механизмах (клапанном механизме двигателя, сцеплении, топливном насосе высокого давления, бензонасосе, карбюраторе и др.). Рессорные листы и торсионы работают в подвесках транспортных средств. Материал упругих элементов – стали 60С2А, 60СА, 60С2ГФ, 65Г, 50ХГФ, 60ХФА. Характерные повреждения упругих элементов – утрата жесткости. Технологические основы восстановления таких элементов были рассмотрены в разд. 5.5.2.

Упругость спиральных пружин восстанавливают термомеханическим способом с помощью установки ОРГ-27530. Пружину сжимают до соприкосновения витков и через нее пропускают ток величиной 420 А в течение 18 с. (Значения величин приведены для восстановления пружин клапанов и сцеплений.) В течение времени нагрева температура детали достигает 830...850 °С. Отключают подачу тока, а пружину медленно (в течение 17 с) растягивают из расчета, чтобы ее длина увеличилась на 3,5 мм по сравнению с длиной новой пружины. Затем пружину сбрасывают в закалочную емкость с маслом АС-8. Однако способ не обеспечивает длительного сохранения жесткости пружин в эксплуатации.

Другой способ электромеханического восстановления пружин заключается в следующем. В патрон токарного станка устанавливают оправку с роликом (рис. 6.15). Свободный конец оправки касается центра тиноли. Первый виток пружины раздвигается штоками, расстояние между которыми соответствует шагу спирали пружины. Деформирующий ролик, установленный на резцедержателе, подводится к витку пружины с усилием  $N$ . Ролик выполнен из стали ШХ15, термообработанной до твердости 60...62 HRC. Рабочий профиль ролика соответствует форме сечения пружины. Включается механизм вращения шпинделей одновременно



**Рис. 6.15. Приспособление для восстановления пружины:**

- 1 – оправка; 2 – восстанавливаемая пружина;  
3 – трансформатор; 4 – раздвижной ролик;  
5 – деформирующий ролик

замыкается электрическая цепь источник тока – оправка – деформирующий ролик. Пружина под действием сил трения прокатывается между роликом с пластическим объемным деформированием, растягивается штоками и нагревается за счет прохождения тока.

Прилагаемое к детали усилие выбирают из расчета, чтобы давление на виток составляло значение 62,5 МПа. Через витки пружины пропускают

ток плотностью  $4,33 \cdot 10^8$  А/м<sup>2</sup>. Число оборотов шпинделя 80...100 в минуту, число ходов два-три, величина растяжения витка составляет 6,4 %. В завершение операции подается охлаждающая жидкость (масло АС-8) в зону нагрева. Плотность дислокаций в материале увеличивается при этом в 12 раз.

Контроль жесткости упругих элементов заключается в измерении осадки или угла поворота при приложении заданного усилия или момента соответственно. Жесткость пружин измеряют на стенде (см. рис. 2.16).

### 6.3.10. Рабочие органы почворезущих машин

**Плужные лемеха.** Лемех является наиболее часто используемым, металлоемким и быстро изнашиваемым рабочим органом плуга. Для изготовления лемехов широко применяют высокоуглеродистые сплавы типа Л53. Реже используют износостойкие легированные стали ШХ15, 65Г, 60ХГ, 40Г2Р. Объемы производства лемехов в России достигают 25 млн. ед./год с расходом на их изготовление > 120 тыс. т металлопроката.

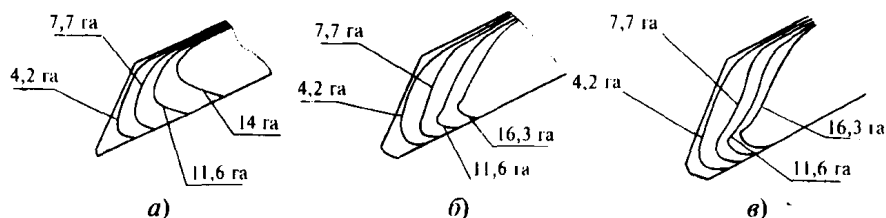
Основными причинами отказов являются ускоренное абразивное изнашивание рабочей части (60 %), поломки и деформации носовой части лемехов (40 %). Интенсивность абразивного изнашивания лемеха зависит от типа и механического состава обрабатываемой почвы. Наибольшая интенсивность изнашивания лемехов (260...450 г/га) характерна для песчаных почв с каменистыми включениями. На легком, среднем и тяжелом суглинке она составляет 37...100; 12...37 и 2...12 г/га соответственно. Кроме прямого ущерба, затупление лемехов из-за износа в процессе эксплуатации приводит к увеличению тягового сопротивления до 50 %, снижению качества и производительности до 60 %, повышению расхода топлива до 20 %.

Причиной поломок либо деформаций носовой части лемехов является недостаточная прочность лемехов на тяжелых каменистых почвах. В последнее время доля этого вида отказов возросла примерно с 20 до 40 %. Это обусловлено повышением нагруженности лемехов вследствие увеличения скорости пахотных агрегатов до 7...9 км/ч и уплотнением почв тяжелой уборочной и транспортной техникой.

Технология восстановления лемехов зависит от видов повреждений. Деформированные лемеха правят в горячем состоянии при температуре ~ 800 °С на пневматических молотах или гидравлических прессах.

При износе лемеха по ширине менее чем на 20 мм и его затуплении возможно применение оттяжки лезвия и носка. Долотообразный лемех имеет запас металла на оттяжку в зону износа кузнечным способом. При кузнечной оттяжке лезвие по всей длине нагревают на ширину 60...70 мм до 900...1000 °С. Затем на пневматическом молоте или вручиую частыми ударами специальными бойками оттягивают носок и лезвие до номинальных размеров. Оттянутую часть выравнивают. После оттяжки, закалки и отпуска лемеха затачивают на обдирочно-шлифовальном станке. Следует отметить, что с середины 60-х годов XX в. кузнечная оттяжка применяется ограниченно вследствие ликвидации машинно-тракторных станций и широкого внедрения упрочняющей наплавки лезвия.

Наплавка износостойким сплавом рабочей части – эффективный прием повышения его долговечности. Напавленный лемех является самозатачивающимся. При выпашке обеспечиваются воспроизведение исходного профиля и сохранение его остроты по мере изнашивания (рис. 6.16). Для получения эффекта самозатачивания необходимо, чтобы нижняя фаска лемеха была тверже, чем верхняя, в несколько раз. А.Ш. Раби-



**Рис. 6.16. Изменение профилей ножей плужных лемехов в процессе работы:**  
 а – стандартный лемех П-702 из стали Л53; б – лемех с наплавкой Сормайтом У30Х28Н4С4; в – лемех с наплавкой из диффузионно-легированной чугуновой стружки

новичем выведен критерий самозатачивания:

$$\omega = \frac{\varepsilon_2 h_2}{\varepsilon_1 h_1}, \quad (6.9)$$

где  $\varepsilon_1$ ,  $h_1$  – износостойкость и толщина наплавленного металла;  
 $\varepsilon_2$ ,  $h_2$  – то же, основного металла.

При обработке большинства почв плужными лемехами  $\omega = 1,5$ . Толщина наплавленного слоя, как правило, не должна превышать 2,5 мм, а твердость должна быть 50...58 HRC.

Для упрочняющей наплавки плужных лемехов применяются преимущественно порошки и порошковые смеси на железной основе (ПГ-С27, ФБХ-6-2 и др.) для уменьшения стоимости наплавки. Наплавка возможна любым из известных способов. Наиболее эффективна индукционная наплавка. В этом случае дополнительно к наплавочному порошку добавляют флюс для раскисления и смачивания. Типичный состав шихты для индукционной наплавки лемехов: 85 % порошкового сплава грануляцией 0,4...1,2 мм; 8 % плавленного флюса АН-348А и 7 % флюса, состоящего из 46 % борной кислоты (ГОСТ 18704–78), 42 % технической буры (ГОСТ 8429–77) и 12 % силикокальция (ГОСТ 4762–77). Для повышения режущей способности лемехов в порошковую шихту для наплавки добавляют релит в количестве 10...15 мас. % наплавки.

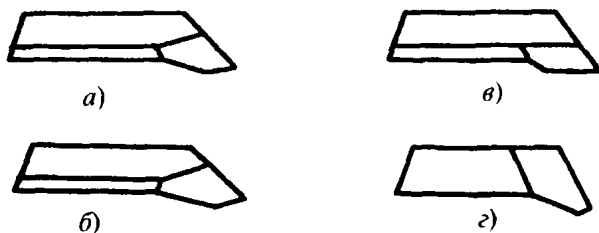
Существенно снизить стоимость наплавки самозатачивающегося наплавленного лемеха при сохранении или повышении его долговечности можно использованием самофлюсующегося диффузионно-легированного порошка из измельченной чугуновой стружки (рис. 6.16, в). Твердость наплавки в этом случае 50...58 HRC.

Самозатачивание плужных лемехов возможно посредством биметаллических лезвий, получаемых из периодического двухслойного проката. Однако промышленный выпуск последнего пока технологически сложен и дорогостоящ. Наиболее эффективно применение самозатачивающихся лемехов на песчаных почвах.

При износе лемеха по ширине на 20...30 мм его восстановление возможно способом замены изношенной части и приварки специальных вставок. Восстановление ведут централизованно на специализированных предприятиях. Существует несколько технологий восстановления лемехов на ремонтных предприятиях, отличающихся формой, размерами привариваемых ремонтных вставок и способом их получения (рис. 6.17 и 6.18).

ГосНИТИ разработал ТП восстановления долотообразных лемехов П702Б способом замены изношенной части приваркой вставок из проката клинового профиля, выпускаемого Златоустовским машиностроительным заводом. Клиновой прокат имеет ширину 85 и 30 мм для изготовления соответственно ремонтных вставок носков и лезвий. Обрубку изношенной части лемехов выполняют в горячем состоянии на фрикционных прессах. Подготовленное лезвие приваривают к остову сварочным автоматом тракторного типа под слоем флюса с тыльной стороны лемеха, а носок – полуавтоматом в углекислом газе с обеих сторон. Сваренный лемех наплавляют порошками на высокочастотной установке с тыльной стороны лезвия. По этой технологии можно восстанавливать до 70 % лемехов.

Для повышения прочности сваренного лемеха ЧИМЭСХ предложил изготавливать носок меньшего размера из клинового проката и обрубать лемех по прямой на всю длину (см. рис. 6.17). Это позволило упростить штампы и процесс сварки лемеха. Однако по этой технологии можно восстанавливать значительно меньше лемехов (< 30 % из поступивших на восстановление).



**Рис. 6.17. Варианты восстановления плужных лемехов ремонтными вставками по технологиям:**

*а* – ГосНИТИ; *б* – ЧИМЭСХ; *в* – ВНИИТУВИД «Ремдеталь» (изношенного по ширине); *г* – ВНИИТУВИД «Ремдеталь» (изношенного по толщине)



Рис. 6.18. Схема ТП восстановления лемехов

ВНИИТУВИД «Ремдеталь» разработал ТП восстановления лемехов без отжига за счет применения воздушно-плазменной полуавтоматической резки взамен горячей обрубки. Изменены также форма ремонтных вставок (см. рис. 6.17, а, г). Прочность лемехов в этом случае существенно выше.

Для повышения прочности восстановленных лемехов рекомендуется с тыльной стороны на носовой части приварить стальную полосу габаритными размерами 15×20×40 мм вместо ребра жесткости, которое при восстановлении нарушается. Износостойкий слой на рабочую часть лемеха наносят индукционной наплавкой. Для повышения эксплуатационных свойств восстановленного и наплавленного лемеха целесообразна термическая обработка для снижения внутренних напряжений и упрочнения основного металла.

Восстановленные плужные лемеха должны отвечать следующим требованиям:

- отклонение размеров по ширине не должно превышать 5 мм, а по длине 10 мм;
- поверхность лемеха должна быть ровной, без трещин; допускается коробление его спинки до 2 мм, а лезвия (выпуклость над рабочей поверхностью) до 4 мм;
- ширина зоны наплавки на тыльной стороне лезвия должна составлять  $20 \pm 2$  мм от режущей кромки, на носовом участке 60 мм, толщина наплавленного слоя 1,5...1,8 мм, режущей кромки лезвия  $\leq 1$  мм, а угол заточки (с рабочей стороны) 15...25°.

*Диски сошников и лушильников.* Восстановлению подлежат диски СЗГ 00.1020, СЗГ 00.4047, СЗГ 13.050 сошников зерновых сеялок с износом до диаметра 321...326 мм, но без трещин и изломов. Изношенные или поврежденные ступицы подлежат замене, а покоробленные диски – правке. Диски сошников с износом диаметра до 327...348 мм затачивают на один из ближайших ремонтных размеров:  $342 + 0,5$ ;  $334 + 0,5$ ;  $326 + 0,5$  мм.

Изношенные диски Н.154.00.407 и Н.154.00.415 лушильников, как правило, подлежат заточке. Диски с износом диаметра 411...416 мм можно восстанавливать до номинальных размеров путем приварки кольца шириной 20 мм. Износ поверхности квадратного отверстия, а также трещины вокруг него устраняют путем приварки шайбы с квадратным отверстием, вырубленной в штампе из полосовой стали 65Г.

Схема ТП восстановления дисков представлена на рис. 6.19.

Восстановленные диски сошников и лушильников затачивают в специальных приспособлениях, диски сошников – под углом  $20 \pm 2^\circ$  до остроты лезвия в пределах 0...0,5 мм. Местные утолщения лезвия допускаются до 1 мм суммарной длиной  $\leq 1/4$  окружности диска.

Диски Н.154.00.407 лушильников затачивают под углом  $50 \pm 2^\circ$  к плоскости вращения до толщины лезвия 0...0,5 мм, а диски Н.154.00.415 под углом  $30 \pm 2^\circ$  до такой же толщины.

*Культиваторные лапы.* Во время работы культиваторные лапы затупляются. Независимо от условий работы их через одну-две смены затачивают на обдирочно-шлифовальном станке: сверху под углом  $15^\circ$  за исключением плоскорежущих стрельчатых, которые затачивают снизу.

Состояние культиваторных лап оценивают по толщине лезвия. Предельные показатели износа рабочих органов культиваторов приведены в табл. 6.2.





**6.2. Предельные показатели износа рабочих органов культиваторов**

Рабочий орган	Показатель износа
<p>Лапа культиваторная:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– стрелчатая с шириной захвата 270 мм</li> <li>– стрелчатая самозатачивающаяся с шириной захвата 270 мм</li> <li>– односторонняя с шириной захвата 165 мм</li> <li>– односторонняя самозатачивающаяся длиной 165 мм</li> <li>– рыхлительная долотообразная</li> </ul> <p>Нож культиватора-плоскореза</p>	<p>Расстояние от первого отверстия до носка 130 мм, ширина крыла в средней части 36...38 мм</p> <p>Износ наплавленного слоя, расстояние от первого отверстия до носка 150 мм</p> <p>Ширина в месте изгиба 60...65 мм</p> <p>Износ наплавленного слоя в месте изгиба</p> <p>5 мм, вылет 230 мм</p> <p>1,3 мм, ширина ножа 60 мм</p>

## **Глава 7**

# **ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

Восстановить ресурс изношенной детали, практически равный ресурсу новой детали, способно лишь производство, которое по техническому уровню – оснащению средствами восстановления, квалификации персонала и организации ремонтно-восстановительного производства – соответствует производству по изготовлению машин.

### **7.1. Задачи и принципы организации процессов восстановления деталей**

Производство по восстановлению деталей потребляет большой объем материалов, энергии и труда, необходимых для нанесения покрытий и термической и механической обработки заготовок. Оптимизация расхода этих ресурсов за счет наилучшего их использования при своевременном выполнении производственных заданий и обеспечении нормативных показателей качества и составляет предмет *организации производства*.

#### **7.1.1. Содержание организации процессов восстановления деталей**

*Организация процессов* восстановительного производства заключается в распределении средств восстановления и исполнителей в пространстве, определении производственных функций исполнителями и налаживании взаимодействия между ними, распределении производственных ресурсов во времени и оптимизации расхода этих ресурсов.

*Ограничения*, принимаемые при организации производства, – это безусловное и своевременное выполнение объемов производства и обеспечение показателей качества восстановленных деталей.

Производство должно быть организовано в пределах ремонтной отрасли, отдельных заводов, цехов (участков) и рабочих мест. Его распределяют между заводами и их структурными подразделениями, затем организуют в пространстве и в заключение – во времени.

Для производства по восстановлению деталей характерно функциональное, технологическое, кооперационное и квалификационное разделение труда. Пооперационное разделение труда предусматривает закрепление за каждым рабочим или бригадой рабочих отдельных операций. В этом случае рабочий несет персональную ответственность за надлежащее выполнение закрепленной операции.

Рассматривают *производственные ресурсы*: финансовые (денежные), материальные (запасные части, полуфабрикаты, материалы, техническая вода, горючие и окислительные газы и др.), энергетические (электроэнергия, тепло- и хладоносители, сжатый воздух), трудовые (рабочая сила), потребительские (питьевая вода, чистый воздух), информационные (программы, алгоритмы) и наработочные (остаточная долговечность деталей). Последний вид ресурса характерен для ремонтного производства, он должен быть использован наиболее полно.

Производственные результаты с максимальной эффективностью получаются за счет оптимального распределения трудовых и энергетических ресурсов, полной загрузки технологического оборудования, экономного и своевременного вложения труда, материалов и энергии в восстанавливаемые объекты. Организационные мероприятия касаются внедрения новых методов организации труда без изменения средств восстановления и в пределах действующих технологий.

Первичная ячейка производства – это его рабочие места. Организация рабочих мест предполагает решение таких задач: разделения труда между рабочими местами, подбора оборудования и оснастки, рациональной планировки, оценки трудовых затрат, расстановки исполнителей, внедрения рациональных методов и приемов, бесперебойного обеспечения и обслуживания, создания благоприятных и безопасных условий труда и обеспечения оптимальной его интенсивности, установления наилучшего соотношения труда и отдыха, повышения квалификации рабочих. На каждое рабочее место составляют паспорт, в котором указывают содержание работы, суточное задание, режим и условия работы, планировку и порядок обслуживания.

При организации производства по восстановлению деталей учитывают нормативные требования системы стандартизации, которая включает в себя: Систему разработки и постановки продукции на производство (СРПП); Единую систему технологической подготовки производства (ЕСТПП); Комплексную систему управления качеством продукции (КСУКП); Единую систему технологической документации (ЕСТД); Единую систему конструкторской документации (ЕСКД); Единую систе-

му классификации и кодирования (ЕСКК); Государственную систему обеспечения единства измерений (ГСИ); Систему государственных испытаний продукции (СГИП); Систему стандартов безопасности труда (ССБТ); Систему стандартизации эргономических требований (ССЭТ).

### **7.1.2. Организация производства в пространстве**

Производство организуют на трех уровнях пространства производственного корпуса: на технологическом потолке, в объеме, примыкающем к полу (высотой  $\sim 2$  м), и в технологическом подвале. При этом средства ремонта и средства их обеспечения распределяют в объеме здания по высоте и на производственной площади производственного корпуса. Наименьшие строительные расходы и потери тепла обеспечиваются в том случае, если производственное здание в плане имеет форму квадрата.

*Объем технологического потолка*, в свою очередь, можно разделить на две части по высоте здания: от кровли до подкрановых путей и от этих путей до высоты помещения над уровнем пола 2,0...2,5 м. Объем выше подкрановых путей занимают воздушные, газовые, водяные, паровые, вентиляционные и кабельные сети. Трансформаторы и распределительные устройства электроэнергии, пункты ввода тепловой энергии и воды и котельные малой мощности ( $\sim 0,25...0,63$  МВт) должны быть расположены из расчета, чтобы потери энергии или напора были минимальными.

В некоторых производствах в объеме технологического потолка размещают вентиляторы и силовые трансформаторы. На подкрановых путях устанавливают подвижные цеховые грузоподъемные средства для обслуживания производственных участков и складов. Ниже предусматривают антресоли под вентиляционные камеры, гардеробы и комнаты отдыха персонала. В этой части объема технологического потолка перспективно размещение складов заготовок и предсборочных складов деталей, узлов и агрегатов (в машиностроении такая организация накопления, хранения и комплектования изделий на подвесных конвейерах с автоматическим адресованием груза применяется  $> 20$  лет).

*В объеме здания, непосредственно примыкающем к полу*, размещают технологическое оборудование и организуют перемещение предметов восстановления. В этой части здания монтируют стационарные транспортные устройства, которые обслуживают отдельные технологические операции. Наибольший объем организационно-технологических работ приходится на оптимизацию решений в этой части производственного здания. Минимальные площадь производственных участков и транспортная работа по перемещению предмета восстановления и отходов будут

при плотной расстановке технологического оборудования и прямолинейном перемещении восстанавливаемых объектов.

Расстановка оборудования определяется содержанием технологического процесса (ТП) и последовательностью его технологических операций, расчетным количеством оборудования, выбранными средствами перемещения восстанавливаемых объектов и нормами технологического проектирования. Последние определяют расстояния между оборудованием и элементами здания и между отдельными единицами оборудования. Расстояние между оборудованием, а также между оборудованием и элементами здания гарантирует безопасность рабочих, возможность перемещения людей и восстанавливаемых объектов, обслуживания и ремонта оборудования. Соблюдение нормативных расстояний от оборудования до колонн здания позволяет избежать размещения оборудования на основаниях колонн, имеющих большую площадь, чем колонны, а также иметь возможность подавать восстанавливаемые изделия на технологическое оборудование цеховыми кран-балками, крюки которых не могут доходить до колонн ближе определенного расстояния.

Технологическое оборудование участков с учетом прямолинейности перемещения предмета восстановления расставляют по одному из принципов: по типам оборудования, в порядке технологических операций.

*По типам оборудования* располагают группы однородного оборудования в единичном, мелко- и среднесерийном производстве. Например, создают группы металлорежущих станков: токарных, фрезерных, сверлильных, шлифовальных и др. Расположение таких групп станков на площади участка определяется последовательностью выполнения технологических операций большинства типовых деталей.

*По порядку технологических операций* на участках крупносерийного и массового производства размещают последовательно оборудование в соответствии с технологическими операциями для обработки одноименных или схожих изделий. На участках централизованного восстановления деталей такая группа (линия) оборудования восстанавливает одну деталь (коленчатый вал, блок цилиндров и др.). В мелко- и среднесерийном производстве каждая группа станков обрабатывает несколько деталей, имеющих аналогичный порядок операций, потому что загрузить полностью все станки операциями по восстановлению одной детали не всегда можно.

Оборудование участка желательно разместить в пределах одного пролета. Обобщенным критерием размещения технологического оборудо-

дования служит функция затрат  $Z_{об}$  (в р.) на производственную площадь, прокладку коммуникаций и на транспортную работу по технологическому перемещению предмета восстановления, отнесенных к году эксплуатации участка:

$$Z_{об} = Z_{п.п} + Z_k + Z_T, \quad (7.1)$$

где  $Z_{п.п}$  – затраты на производственную площадь, р.;  $Z_k$  – затраты на создание коммуникаций, р.;  $Z_T$  – затраты на транспортную работу по перемещению предмета восстановления, р.

Значения производственной площади при заданном числе устанавливаемых технологических машин, требуемой последовательности технологических воздействий и ограничениях на расстояния между машинами и частями здания зависят от расстановки этих машин. Трудоемкость прокладки коммуникаций зависит от расстояния между участком и магистральными коммуникационными каналами. Наиболее критичным из частных критериев служит транспортная работа по перемещению предмета восстановления, потому что она выполняется непрерывно в течение всего времени функционирования производства, в то время как первые два воздействия осуществляются при вводе производственного участка в эксплуатацию и его реконструкции.

*Вверху в зоне досягаемости рук рабочего* размещают подвесные инструменты (шлифовальные машинки, прессовые инструменты и др.).

*Технологический подвал* занимают холостые ветви напольных конвейеров, технологическое оборудование вспомогательного назначения (насосные станции, фильтры, баки для сбора СОЖ, масла и оборотной воды), канализационные коллекторы и трубопроводы и вентиляционные газоходы. В ряде случаев технологический подвал используют для перемещения отходов (отработавшей воды, стружки). Создание канализационных сетей требует строительных работ большой трудоемкости, а перенос этих сетей в построенном здании почти невозможен. Так, например, разборочно-очистной участок, оснащенный развитой сетью канализационных каналов и вентиляционных воздухопроводов, должен тщательно прорабатываться на стадии подготовки производства, потому что дальнейшая его реконструкция сопряжена с огромными переделками.

Участки восстановления деталей взаимодействуют со смежными участками: разборочно-очистным; определения технического состояния исходных заготовок (сортировочным); складом деталей, ожидающих восстановления; комплектовочным и сборочным участками.

Компоновочное решение производственного корпуса с минимальной транспортной работой на перемещение предмета восстановления и полным использованием площади корпуса основано на учете следующих принципов:

- минимальная площадь производственного корпуса обеспечивается за счет наилучшего сочетания направлений ТП, длин производственных участков и относительного расположения каналов входов и выходов предмета восстановления;
- противоположно направленные перемещения предмета ремонта при его общей разборке и общей сборке назначают параллельно друг другу, а перпендикулярно к ним – перемещения объектов на участках восстановления деталей (сборочных единиц); участки разборки и сборки изделий размещают в пролетах, расположенных перпендикулярно к основным пролетам здания;
- разборочно-очистной участок имеет один канал входа предмета ремонта и несколько каналов его выхода, сборочный участок, наоборот, имеет несколько каналов его входа и один канал выхода, а участки восстановления деталей – по одному каналу входа и выхода;
- основная корпусная деталь ремонтируемого агрегата выходит с разборочно-очистного участка последней, а поступает на сборочный участок первой;
- участки восстановления деталей располагаются между каналами выхода соответствующих деталей с разборочно-очистного участка и входа участка сборки;
- длины участков восстановления деталей должны быть равны расстоянию между сортировочно-накопительными и комплектовочно-сборочными постами или нечетно кратны этим расстояниям [последнее требование относится к участкам восстановления деталей с большим числом операций (например, блоков цилиндров, коленчатых валов)];
- обслуживающие участки располагают на минимальном расстоянии от обслуживаемых участков (склад ремонтного фонда – разборка; растворный пункт – очистка; приготовление СОЖ, затачивание инструмента – механическая обработка заготовок; приготовление лакокрасочных материалов – окрашивание и др.).

Предложенные принципы исключают пересечение потоков движущихся предметов восстановления, минимальную производственную площадь и транспортную работу. Компоновочное решение производственного здания агрегатно-ремонтного завода в соответствии с предло-

женной концепцией показано на рис. 7.1. Здесь участки восстановления деталей размещены в средней части здания, при этом справа на схеме расположен участок восстановления корпусной детали.

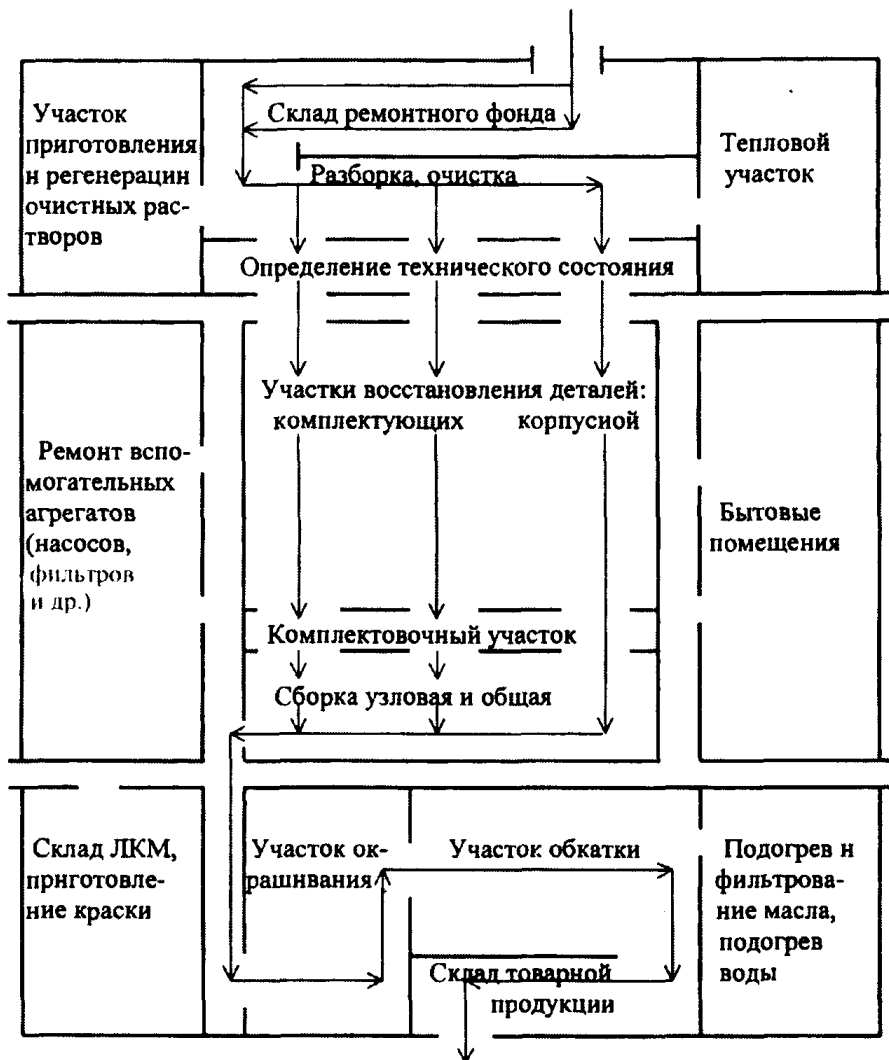


Рис. 7.1. Схема расположения участков восстановления деталей в производственном корпусе агрегатно-ремонтного завода:  
ЛКМ – лакокрасочные материалы



### 7.1.3. Организация производства во времени

Устойчиво сформировались принципы организации производства *во времени*: дифференциация или концентрация операций; равенство производственных мощностей производства и его частей; непрерывность, ритичность и гибкость.

Принцип *дифференциации операций* предполагает разделение производственного процесса на отдельные технологические процессы, операции, переходы, приемы, движения. Чем на большее число частей разбит ТП, тем меньше требований к квалификации рабочих, зато выше производительность труда и жестче требования к организации производства. Поточное производство многие годы развивалось за счет глубокой дифференциации ТП. *Концентрация операций* и интеграция производства – принципы, обратные дифференциации. Технологические операции этого вида становятся многопереходными и многоинструментальными и упрощаются, например, на оборудовании с ЧПУ. Квалификация рабочих в этом случае высокая, но организация работ простая.

Важным в организации производства является *уравнивание производственной мощности предприятия с его элементами*. Производственная мощность ремонтного предприятия определяется максимально возможным выпуском продукции установленного качества нужной номенклатуры при полном использовании технологического оборудования и производственной площади. Производственную мощность рассчитывают с учетом внедрения передовых технологий и организации производства, применения прогрессивных норм времени.

Производственную мощность ремонтного производства определяют мощности основных цехов, в которых выполняются основные технологические операции ремонта и сосредоточена преобладающая часть основных фондов предприятия. Например, при расчете производственной мощности специализированного производства по ремонту двигателей получают такое оборудование: моечные машины разборочно-очистного типа; круглошлифовальные станки для обработки шеек коленчатого вала; алмазно-расточные и хонинговальные станки для обработки цилиндров; горизонтально-расточные станки для обработки коренных опор коленчатого вала; средства для динамической балансировки деталей и испытательные стенды на слесарно-механическом участке; комплект окрасочно-сушильного оборудования на участке окрашивания.

Коэффициент использования производственной мощности определяется отношением объема выпуска продукции предприятием к его производственной мощности.

Объем выпуска отремонтированной продукции выражают в натуральных, приведенных и условных ремонтах и стоимостью продукции.

За единицу приведенного ремонта принимают объем ремонта машины-представителя. Коэффициенты приведения соответствуют отношению трудоемкостей ремонта рассматриваемой машины и машины-представителя. За единицу условного ремонта принят объем ремонтных работ в 300 чел.-ч для условий мастерской общего пользования с производственной мощностью, равной 300 условным ремонтам в год.

Если производственная мощность рабочего места или участка будет выше производственной мощности производства, то ее излишек не будет востребован, а капитальные и текущие затраты будут больше необходимых. Узкое место производства – это рабочее место или участок, производственная мощность которого ниже этого показателя для производства в целом. Мероприятия по уравниванию производственной мощности отдельных рабочих мест между собой включают передачу с места на место части работ, перестановку рабочих или дополнительное оснащение рабочего места средствами восстановления. Число рабочих на каждом рабочем месте должно быть пропорционально трудоемкости выполняемых на нем операций. Повышение степени пропорциональности процессов приводит к возрастанию производственной мощности предприятия в целом, улучшению использования производственных фондов, снижению себестоимости продукции.

*Непрерывность* производства предполагает сокращение до минимума перерывов в его процессах. Возможные потери рабочего времени выявляет анализ составляющих производственного цикла (времени выполнения операций, естественных процессов и перерывов). Для исключения этих потерь выполняют корректирующие действия. Управляющие факторы, обеспечивающие непрерывность производства, – это расстановка рабочих и распределение между ними работ, установление взаимодействия, определение начала и конца операций, последовательное или параллельное их выполнение, определение начала и конца подачи ресурсов, установление интенсивности труда и распределение ее в течение смены, соотношение труда и отдыха.

*Ритмичность* производства определяется выпуском продукции через установленные промежутки времени. К нарушению ритмичности приводят внеплановые простои оборудования, несвоевременное материально-техническое обеспечение и недостаточная исполнительская дисциплина.

*Гибкость* производства – это его способность по мере необходимости за короткое время при минимальных затратах без перерыва произ-

водственного процесса и остановов оборудования переходить на выпуск новой продукции произвольной номенклатуры в пределах технических возможностей и технологического назначения оборудования. Создание гибкого производства актуально для восстановительного производства по причинам его многономенклатурности и малых объемов.

Количественная оценка гибкости оборудования  $G$  оценивается произведением степени гибкости  $g_1$  и степени перенастраиваемости  $g_2$ :

$$G = g_1 g_2, \quad (7.2)$$

$$g_1 = (1 - 1/n); \quad g_2 = \left( 1 - \frac{\sum_{j=1}^f \sum_{i=1}^s t_{ij}}{T_{\text{пл}}} \right),$$

где  $n$  – число функций оборудования;  $t_{ij}$  – время перехода из одного функционального состояния  $i$  во второе  $j$ ;  $i = (1, \dots, f)$ ;  $j = (1, \dots, s)$ ;  $T_{\text{пл}}$  – период времени, принятый в качестве базы для сравнения.

Новые принципы организации восстановительного производства требуют учета приспособленности технологического оборудования к изменяющимся видам и объемам ремонтных работ.

#### 7.1.4. Специализация и концентрация производства

Низкая цена восстановления деталей с высокой производительностью и достаточным качеством обеспечивается применением специального оборудования. При этом достигаются заданная точность технологических воздействий (например, пятый-шестой квалитеты точности при механической обработке деталей) и, как следствие, нормативный ресурс изделий. Специальное оборудование создают с применением последних достижений науки и практики ремонта, его выпускают небольшими партиями, поэтому оно дорогое. Для эффективного использования этого оборудования необходима его полная загрузка, которая достигается увеличением объемов производства путем специализации и концентрации восстановительного производства.

*Специализация производства* требует ограничения разнообразия предмета восстановления и элементов производственного процесса

(унификации) в масштабах одного завода или его участка. Специализация одного производства неразрывно связана с его концентрацией и кооперацией с другими производствами.

Специализация бывает предметной и технологической, она обеспечивает увеличение объемов однотипных процессов, загрузку специализированного и специального оборудования, снижение затрат на единицу продукции, способствует внедрению высшей формы организации – поточного производства. Наиболее развита предметная специализация. Ремонтное производство с течением времени переходит от ремонта полнокомплектных машин к ремонту их агрегатов и сборочных единиц (цилиндропоршневых групп, коленчатых валов с маховиком и сцеплением и др.), восстановлению деталей (в том числе малоресурсных – поршней, вкладышей коленчатого вала и др.) и к выпуску комплектов деталей для текущего ремонта агрегатов. Комплекты восстановленных деталей применяют в эксплуатационных хозяйствах при средних или текущих ремонтах машин. Специализация ремонтных заводов изменяется с потребностями рынка.

*Концентрация производства* по восстановлению деталей выражается в том, что в пределах экономического региона (района, области или республики) создают специализированное производство (цех, участок или завод). На это производство собирают и доставляют изношенные изделия и организуют их ремонт (восстановление). Увеличение объемов ремонтных работ на одном предприятии достигается за счет расширения площади обслуживаемого региона, но это связано с повышением затрат на перевозку ремонтного фонда и товарной продукции.

Полная загрузка крупносерийного или массового производства, оснащенного специальным оборудованием, с поточной формой его организации позволяет получить экономический эффект даже при увеличении транспортных расходов.

При возрастании объемов производства его организация изменяется от низкой формы единичного производства на универсальных постах до наиболее высокой поточной формы централизованного восстановления деталей.

Наиболее крупные достижения в создании ремонтных заготовок связаны с организацией в 60–80-х годах прошлого века на ремонтных заводах поточно-механизированных линий и специализированных участков по восстановлению деталей.

По степени специализации рабочих мест различают такие организационные формы осуществления работ: выполнение операций на универ-

альных или специализированных постах, поточное выполнение операций.

Ремонт на универсальных постах оправдан в том случае, если объем восстановления изделий данного типа небольшой, а их конструкция не допускает раскомплектования составных частей. Эта форма организации малоэффективна и применяется на маломощных предприятиях. При такой организации работ ремонт выполняет одна бригада рабочих, которая ведет все работы от начала до конца. Детали, требующие для восстановления специализированного оборудования, направляют на соответствующие участки. Организация простая, а исполнители определенно отвечают за качество ремонта. Однако в результате такой организации машина находится в ремонте длительное время, рабочие должны иметь высокую квалификацию, а ремонт получается дорогим.

Ремонт организуют на специализированных постах при увеличении его объемов. В условиях такой организации работ на каждом посту выполняют множество работ меньшего разнообразия. Применение специализированных постов позволяет повысить производительность труда, снизить требования к квалификации рабочих и уменьшить за счет этого стоимость ремонта. Эта форма организации применяется на предприятиях средней мощности и в крупных ремонтных мастерских.

Наиболее совершенной формой организации производства является поточный ремонт машин. При этой форме технологические операции закрепляются за рабочими местами, расположенными в технологической последовательности. Предмет ремонта перемещается конвейером или транспортером непрерывно или с перерывом через некоторые интервалы времени. Поточное производство требует ритмичной синхронной работы всех рабочих постов, четкого бесперебойного функционирования всех производственных подразделений, обслуживающих поточную линию, обеспечения инструментами, энергией, материалами и деталями. Поточная форма организации производства дает наивысшую производительность труда, не требует использования рабочих высокой квалификации и, следовательно, снижает себестоимость ремонта. Эта форма труда не обязательно требует больших объемов ремонта. Массовый тип производства с коэффициентом закрепления операций «единица» существует в ремонте в виде разборочного и сборочного производств, восстановительного производства, процессов приработки сопряжений и окрашивания изделий.

По степени концентрации производства существует четыре организационные формы восстановления деталей: на отдельных рабочих местах в составе цехов по ремонту агрегатов, в комплексных цехах, на специализированных участках, на специализированных предприятиях.

## 7.2. Централизованное восстановление деталей

Наибольший научный вклад в разработку *централизованного восстановления деталей* и обоснование его организации внес В.А. Какучевский. Целесообразность централизованного восстановления деталей зависит от уровня концентрации производства, номенклатуры деталей и определяется на основании анализа следующих данных:

- соотношения между дополнительными затратами на создание специализированного производства, оборотного ремонтного фонда и его перевозку, с одной стороны, и снижением себестоимости восстановления от увеличения его объема, с другой;
- соотношения между затратами на организацию централизованного восстановления деталей заданной номенклатуры и на их производство на заводе-изготовителе;
- удельного объема ручных работ при восстановлении деталей и возможности его замены машинным трудом;
- влияния срока службы восстановленной детали на послеремонтную наработку агрегата, составной частью которого она является.

Если стационарный процесс отказов деталей не описывается законом распределения, то приведенные выше условия выражаются следующими зависимостями:

$$a_s = f(s) < \frac{3_k}{G_g} \left[ \alpha(\alpha-1) \frac{3_{p.c} + 3_{m.з}}{3_k} + \alpha^2 - 1,03 \left( \frac{N_k}{N_u} \right)^b \right]; \quad (7.3)$$

$$\frac{\Phi_{д.о}}{t_{\max}} < A_c L_\Phi k_p \left( \frac{m}{S_a} + \frac{k_p + k_r}{L_{a.n}} \frac{k_3}{k_p} \right); \quad (7.4)$$

$$\frac{\Phi_{д.о}}{t_{\min}} < A_c L_\Phi k_p \left( \frac{m}{S_a} + \frac{k_p + k_r}{L_{a.n}} \frac{k_3}{k_p} \right); \quad (7.5)$$

$$3_{ц\beta} + (3_{p.c} + 3_{m.з})(\beta-1) - k_d (K_{y.n} - K_{y.ц}) < 3_n - 3_o \quad \text{при } \beta > 1; \quad (7.6)$$

$$3_{ц}/\beta + (3_{д.м} + 3_{м.а})(\beta-1) - k_d (K_{y.n} - K_{y.ц}) > 3_n + 3_o \quad \text{при } \beta < 1, \quad (7.7)$$

где  $a_s = f(s)$  – стоимость перевозки 1 кг данного вида деталей, р.;  $s$  – расстояние перевозки деталей, км;  $З_k$  – затраты на восстановление деталей на комплексном ремонтном предприятии, р.;  $G_g$  – масса детали, кг;  $\alpha = T_u / T_k$  – коэффициент, учитывающий возможное неравенство средних сроков службы до предельного состояния или отказа детали  $T_u$  и  $T_k$ , восстановленной соответственно на специализированном предприятии и комплексном ремонтном предприятии;  $З_{p,c}$  – затраты на разборочные и сборочные работы по замене отказавшей детали, р.;  $З_{м,з}$  – затраты на запасные части, являющиеся сопряженными деталями, р.;  $N_k$ ,  $N_u$  – годовые объемы производства по восстановлению деталей соответственно на комплексном ремонтном предприятии и специализированном предприятии, ед./год;  $b$  – постоянный коэффициент, значение которого зависит от особенностей ТП восстановления детали;  $\Phi_{д.о}$  – действительный фонд времени работы оборудования, ч;  $t_{max}$ ,  $t_{min}$  – длительность соответственно наиболее и наименее трудоемкой операции ТП восстановления детали, ч;  $A_c$  – списочное количество машин (агрегатов), эксплуатирующихся в данном районе;  $L_\phi$  – средняя годовая наработка машины (агрегата), ч;  $k_p$  – среднее значение суммарного коэффициента восстановления по маршрутам, определяемым повреждениями или их сочетаниями, при которых деталь подлежит централизованному восстановлению;  $m$  – число деталей данного наименования в одной машине (агрегате);  $S_a$  – средний межремонтный срок службы агрегата, составной частью которого является рассматриваемая деталь, ч;  $k_r$  – среднее значение коэффициента годности данной детали;  $L_{a.н}$  – годовая наработка машины (агрегата), для которой (-го) установлены нормативы расхода запасных частей в эксплуатации, ч;  $k_z$  – средняя годовая норма расхода данной детали в эксплуатации на одну машину при ее годовой наработке  $L_{a.н}$ ;  $З_u$  – затраты на восстановление детали на специализированном предприятии, р.;  $\beta = T_n / T_u$  – коэффициент, учитывающий возможное неравенство средних сроков службы до предельного состояния или отказа новой детали  $T_n$  и восстановленной на специализированном предпри-

ятии  $T_{ц}$ ;  $k_d$  – коэффициент дисконта;  $K_{у.н}$  – удельные капитальные вложения на создание производства по изготовлению данной детали;  $K_{у.ц}$  – удельные капитальные вложения на создание специализированного производства по восстановлению данной детали;  $З_n$  – затраты на изготовление новой детали, р.;  $З_0$  – остаточная стоимость изношенной или поврежденной детали, р.

Выражение (7.3) позволяет определить допустимое расстояние перевозки деталей на специализированное предприятие централизованного их восстановления, при котором экономический эффект превышает дополнительные затраты на создание этого производства, оборотного фонда деталей и их транспортирование. Источники экономического эффекта кроются в применении более совершенных организации и технологии, что снижает себестоимость восстановления и повышает долговечность деталей.

Условия (7.4) и (7.5) показывают, что организация централизованного восстановления деталей целесообразна только в том случае, если масштабы работ в рассматриваемом регионе достаточны для создания крупносерийного или массового производства.

Из неравенств (7.6) и (7.7) следует, что организация централизованного восстановления деталей оправдана в том случае, если затраты на использование детали не будут превышать затрат, связанных с изготовлением и эксплуатацией новой детали.

Увеличение объемов восстановления расширяет рациональную область охвата потребителей. Этому способствует и повышение качества восстановления деталей по сравнению с уровнем качества, достигнутым на комплексных ремонтных предприятиях.

Объемы восстановления деталей тем выше, чем больше машин в регионе и их годовая наработка. Значительные объемы восстановления легче обеспечить для многочисленных недолговечных деталей, характеризующихся большими значениями  $m$ ,  $k_z$ ,  $k_p$  и малыми  $k_c$  и  $S_a$ . Увеличение массы восстанавливаемых деталей снижает величину целесообразного расстояния их перевозки (рис. 7.2). Особенно резкое снижение этого расстояния наблюдается для деталей большой массы, себестоимость восстановления которых незначительна.

Большие эксплуатационные затраты, вызванные малой долговечностью деталей, восстановленных на комплексном ремонтном предприятии, допускают увеличение расстояния перевозки деталей на их централизованное восстановление.



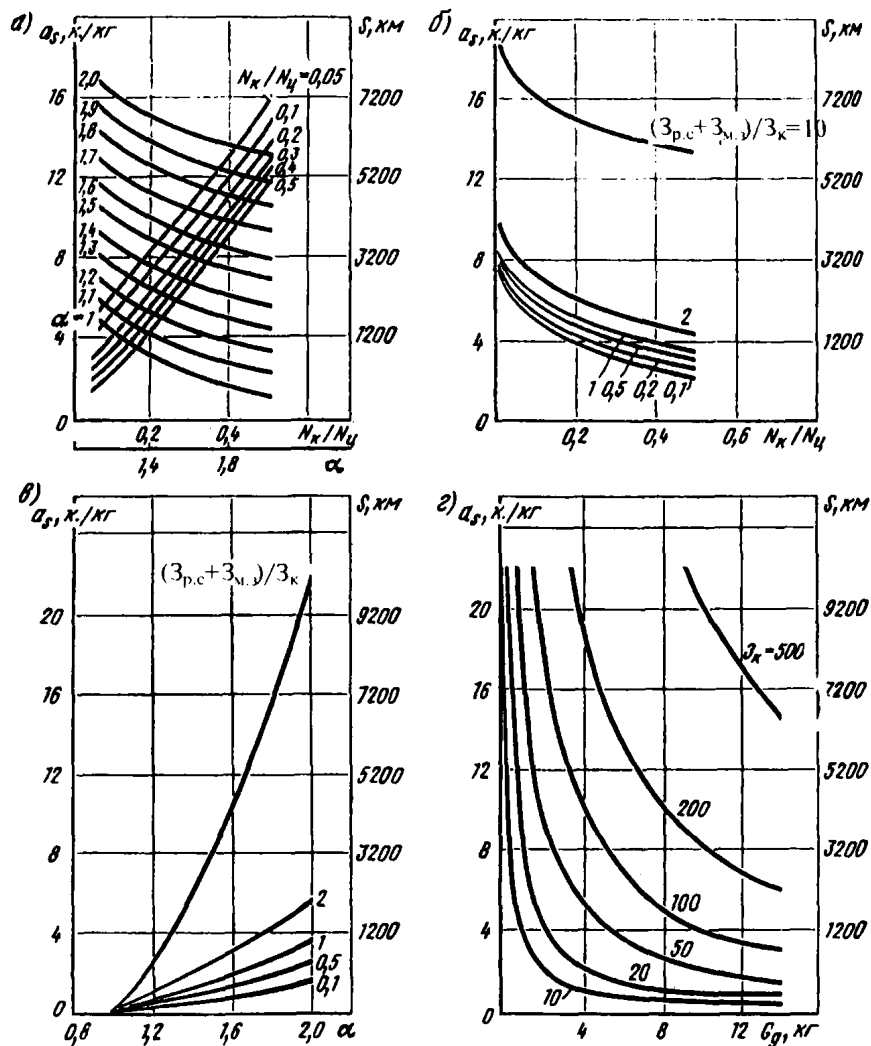


Рис. 7.2. Зависимость расстояния  $s$  перевозки деталей на централизованное восстановление от следующих факторов:

- а – концентрации производства  $N_k/N_u$  и фактора долговечности  $\alpha$ ;
- б – концентрации производства и эксплуатационных затрат  $(3_{p.c} + 3_{m.})/3_k$ ;
- в – эксплуатационных затрат и фактора долговечности;
- г – массы детали  $G_g$  и затрат на ее восстановление  $3_k$

Влияние межремонтных пробегов агрегатов, в которых находятся восстановленные детали, ощутимо сказывается на объемах восстановления этих деталей только при больших значениях коэффициентов их восстановления.

Централизованному восстановлению в условиях высокой концентрации производства подлежат наиболее изношенные и поврежденные дефицитные детали распространенных моделей машин с высокой плотностью распределения их в рассматриваемом регионе. Потребность в этих деталях при эксплуатации и ремонте техники особенно велика. Наибольшая эффективность централизованного восстановления деталей определенной номенклатуры достигается созданием специализированного производства для них. Для этих деталей характерны значительные затраты на замену их в эксплуатации и малые себестоимость восстановления и стоимость перевозки. Особенно важно организовать высококачественное восстановление на специализированном производстве корпусных и основных деталей, срок службы которых до предельного состояния или отказа определяет послеремонтные ресурсы агрегатов.

Такие массовые детали, как поршневые пальцы, толкатели, крестовины кардана и дифференциала, муфты и фланцы валов, шатуны, гильзы цилиндров, шкворни, колесные тормозные цилиндры и ряд других, допускают экономически обоснованную перевозку на расстояние 300... 500 км. Для подобных деталей может быть организовано одно централизованное производство по их восстановлению в республике или крупном регионе.

Централизованному восстановлению подлежат и более металлоемкие изделия. Допустимое расстояние перевозки карданных, коленчатых и распределительных валов, вилок и фланцев карданов, валов коробок передач и других деталей меньше примерно в 2 раза, чем в первом случае. Централизованное восстановление их целесообразно организовать в областных регионах. Ряд сборочных единиц, имеющих значительную массу (головки и блоки цилиндров, картеры коробок передач и редукторов), лучше восстанавливать на специализированном производстве только при определенном сочетании повреждений.

Наконец, некоторые детали нерационально восстанавливать централизованно, потому что даже в условиях значительной концентрации производства на специализированных предприятиях невозможно обеспечить себестоимость восстановления, которая не меньше затрат на изготовление детали. На заводе по капитальному ремонту машин следует сохранить восстановление простых деталей, имеющих низкую стоимость изго-

товления, но в результате изнашивания которых приходится восстанавливать значительную ( $> 1 \text{ дм}^2$ ) рабочую поверхность. Это валы и оси шестерен масляных насосов, валики и оси педалей, оси блоков шестерен, штоки переключения скоростей, крышки подшипников и др.

В рамках одного ремонтного завода следует выделять участки централизованного восстановления деталей, взятых с комплексных участков ремонта отдельных агрегатов.

Централизованное восстановление деталей организуют, как правило, по типовой или модульной технологии.

Централизованное восстановление блоков, головок и гильз цилиндров, коленчатых и распределительных валов, шатунов и поршневых пальцев, клапанов, толкателей и других деталей на поточно-механизированных линиях было организовано на ряде ремонтных заводов по проектам ЦОПКТБ «Авторемонт» ГОСНИТИ (Рязань), НПО «Авторемонт» (Саратов), ПТИ «Сельхозтехпроект» (Минск) и самих заводов.

На производстве централизованного восстановления деталей некоторые заводы изготавливают и новые детали из приобретенных поковок или отливок. Это сокращает дефицит запасных частей и уменьшает цену ремонта. На ремонтном заводе, имеющем литейное и кузнечно-штамповочное производства, может быть налажено изготовление: гильз цилиндров и уплотнительных колец под них, поршней, шатунов, коленчатых и распределительных валов, маховиков и их зубчатых венцов, шестерен масляного насоса, распределительных шестерен коленчатого и распределительного валов, втулок направляющих клапанов и распределительного вала, корпусов масляного и водяного насосов, маслоотражательных колпачков, нажимных и ведомых дисков сцеплений, рычагов сцепления и других деталей. Ремонтный завод на собственных литейных мощностях может получить отливки поршней, маховиков, нажимных дисков сцеплений, различных дополнительных ремонтных деталей.

### 7.3. Организация системы качества восстановления деталей

История разработки и внедрения систем управления качеством продукции началась в 60-е годы XX в. Наибольшее признание в СССР и за рубежом получила Саратовская система бездефектного изготовления продукции. Однако она распространялась только на стадию изготовления продукции и не учитывала стадии проектирования и постановки на производство. На предприятиях Горьковской области была разработана Комплексная система качества КАНАРСПИ (качество, надежность, ресурс с первых изделий), которая требовала экспериментальных работ по

выявлению надежности изделий на этапах их освоения. В то же время на предприятиях Минска, Львова и Риги появились системы, которые обеспечивали бездефектный труд всех категорий работающих с использованием материального и морального стимулирования. На заводах Львова эта система приобрела юридическую силу путем создания стандартов предприятий, которые дополнили Государственную систему стандартов применительно к условиям конкретных предприятий, что позволило управлять качеством продукции.

### **7.3.1. Содержание и цель системы качества восстановления деталей**

Современная Система качества восстановления деталей (СК ВД) строится в соответствии с требованиями стандартов ISO 9000. Она включает: цель, функциональную и организационную структуры, методики, процессы и ресурсы, необходимые для управления качеством.

*Цель системы* – достижение технического уровня и качества продукции, превышающих соответствующие показатели ведущих предприятий отрасли. Задачи функционирования СК ВД заключаются в обеспечении условий для выпуска продукции, значения всех параметров которой не ниже установленных нормативной документацией.

*Функциональная структура* СК ВД описывается общими и частными задачами системы и ее элементов, их функциями и процедурами обеспечения качества продукции.

Множество элементов, связей и отношений системы представляет собой структуру системы, которая подлежит оптимизации. Материальные элементы системы (работники, технологические средства и предметы восстановления) находятся в связях и отношениях как между собой, так и с внешней средой (в том числе и с потребителями продукции), подчинены общей цели, потребляют ресурсы, оцениваются критериями и параметрами.

*Организационная структура* – совокупность ответственности, полномочий и взаимодействия персонала и представителя руководства.

К организационным элементам системы относятся: политика качества, ответственность и полномочия персонала, принципы функционирования системы, условия идентификации и прослеживаемости материалов, полуфабрикатов и продукции, управление производственными процессами, контроль и испытания на всех этапах производства, действенность корректирующих воздействий, регистрация данных о качестве.

В зависимости от места работников в структурной иерархии предприятия различают ответственность, полномочия и взаимодействие трех различных категорий персонала: руководителей предприятия, руководителей цехов, участков и смен и рабочих.

Система обеспечивает планирование, руководство, управление, и непрерывное улучшение качества продукции.

*Планирование качества* заключается в определении политики качества, требований и мероприятий, обеспечивающих достижение установленных значений показателей качества. Политике качества подчинены все краткосрочные частные решения.

Общее *руководство качеством* включает совокупность действий в составе административного управления предприятием по реализации политики качества. Достижение необходимого уровня качества продукции требует вовлечения и участия всех сотрудников предприятия, тогда как ответственность за общее руководство качеством несут главные руководители. В число этих руководителей входят: директор, главный инженер, заместители директора, главный бухгалтер, уполномоченный по качеству.

Общее руководство оценивается по таким критериям: снижению числа дефектов и стоимости продукции, совершенствованию технологии и средств ремонта и поддержанию последних в работоспособном состоянии.

*Управление качеством* – это виды и методы деятельности оперативного характера, обеспечивающие выполнение требований к качеству. Эта деятельность предусматривает как управление процессами, так и устранение причин неудовлетворительного качества. Управляемость системы заключается в изменчивости управляемых параметров под влиянием управляющего воздействия.

*Улучшение качества* – это постоянная деятельность, направленная на повышение технического уровня продукции, качества ее восстановления, совершенствование элементов производства и системы качества.

Руководитель предприятия определяет и выделяет ресурсы в необходимом объеме для проведения политики качества и достижения поставленных целей. Ресурсы включают: подготовленный персонал, СТО (оборудование и оснастку), средства измерений, нормативную документацию и справочную литературу, оргтехнику, средства связи и программное обеспечение. Обеспечение необходимыми ресурсами находит отражение в планах опытно-конструкторских работ, постановки изделий на производство, повышения качества изделий и совершенствования системы качества.

Таким образом, *СК ВД* – это совокупность функциональной и организационной структур, ответственности и полномочий, процедур и ресурсов, обеспечивающая общее руководство качеством.

Обязательства завода – поставщика восстановленных деталей перед заказчиком состоят в том, что завод гарантирует в течение установленного срока службы изделий или их наработки соответствие качества продукции установленным требованиям. В противном случае завод безвозмездно заменяет дефектную продукцию на другую при условии соблюдения заказчиком установленных требований к эксплуатации продукции, включая ее хранение.

### **7.3.2. Принципы функционирования системы качества**

*Основные принципы* создания и действия *СК ВД* заключаются в следующем.

Назначение создаваемой системы состоит в достижении соответствия продукции установленным требованиям. Это означает, что *СК ВД* является средством достижения цели и решения задач, установленных политикой качества, с соблюдением тех требований, которые выдвигает заказчик. Выполнение требований потребителя является основным ограничением системы качества.

На предприятии организуются маркетинговые исследования спроса и требований потребителя. Результаты исследований излагаются в виде технических требований к продукции, которые должны быть выполнены. Действует принцип: не продавать произведенное, а производить то, что продается!

Система качества действует во взаимодействии с другими системами предприятия: конструкторской, технологической, организационной, снабженческо-сбытовой, – которые влияют на качество продукции. Это означает, что *СК ВД* является неотъемлемой частью системы управления заводом.

Действие системы качества распространяется на те этапы жизненного цикла продукции, с которыми соприкасается предприятие, – от изучения спроса на рынке до переработки ее в конце срока службы.

Система качества способствует непрерывному его улучшению. Чтобы реализовать этот принцип, необходимо определить четкие цели улучшения качества, мотивировать это улучшение, стимулировать саму мотивацию и обучить персонал в области управления качеством.

Внедрение системы качества исключает обезличенность восстанавливаемых объектов и предполагает аттестацию как работников, так и самого производства.

Система качества направлена на предупреждение проблем, а не на решение их после возникновения.

Главные руководители формируют политику в области качества, берут на себя обязательства за ее проведение, несут ответственность за достижение поставленной цели, инициируют разработку, внедрение и поддержание в работоспособном состоянии системы качества. В достижении поставленной цели в области качества принимают участие все работники предприятия. Руководители распределяют ответственность за функционирование элементов системы между всеми сотрудниками завода. Каждый работник выполняет свою строго определенную часть функций, за что отвечает. Ответственность работника предполагает наделение его соответствующими полномочиями.

Документы, в которых отражается ответственность и полномочия персонала, – это описание организационной структуры, Руководство по качеству, положения о подразделениях, должностные инструкции, процедурные документы, матрицы распределения ответственности.

Система качества должна быть оформлена в виде документа, в котором приведены элементы системы и все требования к ним. Форму системы устанавливает каждое предприятие самостоятельно. Необходимо, чтобы содержание документа было доступно для пользователя, а требования документа конкретны и однозначны. Документ должен находиться у того работника, для которого он предназначен.

Все элементы системы качества являются предметом регулярного внутреннего аудита. Это нужно для надежного функционирования системы качества и уверенности руководства предприятия в том, что намеченные цели достигаются. Аудиторская работа проводится специально обученным персоналом (внутренними аудиторами) по графику.

Система качества должна регулярно анализироваться и оцениваться руководством предприятия. Основными источниками информации о действии системы служат регулярные одноименные отчеты по подразделениям завода и отчеты о внутренних аудитах. Руководитель службы управления качеством обобщает эти отчеты и составляет доклад руководителю предприятия не реже 2 раз в год. Этот доклад содержит ответы на вопросы: соблюдаются ли основные положения политики качества, удовлетворены ли потребители качеством продукции, достигается ли цель предприятия в области качества, какова репутация предприятия на рынке, эффективна ли действующая система выявления и устранения причин имеющихся или потенциальных несоответствий? К докладу прилагаются предложения по совершенствованию системы качества.

### 7.3.3. Концепция и политика качества

Конкурентоспособность восстановленных изделий, повышение производительности труда и улучшение экономических показателей предприятия за счет расширения рынков сбыта и повышения прибыльности от сбыта продукции достигаются путем непрерывного и планомерного совершенствования производства. Такое совершенствование возможно на основе использования современной *концепции качества*, которая достаточно полно изложена доктором У.Э. Демингом. Она включает:

- разработку дерева целей и рабочую философию качества;
- непрерывное совершенствование системы качества и процесса производства;
- исключение сплошного контроля качества и внедрение выборочных статистических методов контроля;
- замену системы многих поставщиков (по каждому типу закупаемых материалов, полуфабрикатов и изделий) на долгосрочные связи с одним поставщиком;
- непрерывное улучшение производственного процесса;
- использование методов математической статистики и четких рабочих определений;
- постоянное повышение качества обучения;
- введение новых методов непосредственного руководства и оценки личных качеств сотрудников, ориентированных на разработку контроля за процессом;
- устранение страха перед работой и руководством, чтобы каждый сотрудник мог приносить наибольшую пользу предприятию;
- устранение внутренних и внешних барьеров, препятствующих концепции непрерывного повышения качества;
- замену количественных целевых показателей, плакатов и лозунгов на непрерывное совершенствование процесса;
- замену нормы выработки и рабочих стандартов на статистические методы управления;
- развитие у сотрудников чувства профессиональной гордости за предприятие и результаты его работы;
- введение систематической подготовки и переподготовки всего персонала предприятия;
- изменение действующей организационной структуры предприятия на новую структуру, отвечающую требованиям непрерывного повышения качества.



*Политика в области качества* включает цель, основные направления и задачи предприятия, высказанные его руководителем.

Средствами достижения цели являются:

- освоение производства модернизированных изделий;
- внедрение новых технологических решений, обеспечивающих заданный уровень качества с наименьшим расходом ресурсов;
- обеспечение производства необходимыми СТО с последующим их обновлением;
- подготовка кадров высокой квалификации с новым отношением к вопросам качества;
- функционирование системы качества.

Политика качества реализуется в целевых организационно-технических программах обеспечения и повышения качества продукции, действующих в течение одного года или большего лет.

*Пример политики качества.* 1. Наше стремление – быть для наших реальных и потенциальных потребителей самыми компетентными и надежными партнерами во всех вопросах, касающихся наших изделий и услуг. Потребитель определяет вид и объем поставок продукции и критерии ее качества.

Мы – организация, ориентированная на потребителя.

2. Мы готовы к переменам и стремимся делать новое и необходимое, а не отжившее, но привычное.

Мы – развивающаяся организация, восприимчивая к новому.

3. Мы добиваемся максимально полного и эффективного использования производственных ресурсов.

Мы – эффективная организация.

4. В нашей организации каждый относится к коллеге по следующему этапу процесса как к внутреннему потребителю.

Мы – организация, ориентированная на процессный подход.

5. Мы повышаем ценность нашего предприятия путем непрерывного роста профессионализма каждого сотрудника, совершенствования внутренних отношений и использования прогрессивных технологий.

Мы – обучающаяся организация.

6. Наше процветание мы связываем с процветанием всех тех, для кого и с кем мы работаем.

Мы – организация партнерского типа.

7. Мы ценим способность наших лидеров содействовать профессиональной самореализации сотрудников.

Мы – организация, базирующая свою деятельность на лидерстве и вовлеченности персонала.

8. Наша цель – превзойти качество продукции, достигнутое на предприятиях отрасли, удовлетворить непрерывно изменяющиеся запросы потребителей на основе высокого технического уровня нашего предприятия.

Мы работаем для тех, кто сделал ставку на качество.

### 7.3.4. Ответственность за качество и полномочия работников

Мера *ответственности* за качество, полномочия каждого работника, круг лиц и описание случаев, в которых он должен взаимодействовать с этими лицами, устанавливают должностные инструкции. В качестве ответственных за качество или выполнение определенных процедур, функций и задач назначают тех работников, которые наиболее близко соприкасаются с данными задачами в своей деятельности.

Восстанавливаемые детали приобретают качество в процессе производства по мере выполнения ТП, а не в результате их контроля. Поэтому ответственность за качество их восстановления возлагают на рабочих, мастеров, начальников цехов, заместителя директора по производству, а не на отдел технического контроля (ОТК).

Ответственность, полномочия и взаимодействие персонала должны быть четко и полностью определены. Для этого необходимо, чтобы по каждой функции, задаче и процедуре обеспечения качества были определены ответственные за ее выполнение и порядок взаимодействия. Полномочия работника должны позволять ему принимать меры для решения задач в рамках возложенной на него ответственности. На каждом заводе разрабатывается наглядная матрица ответственности и полномочий работников всех уровней производства.

Система стимулирования работников предприятия за качество продукции учитывает как меру ответственности персонала за выполнение работ, влияющих на это качество, так и результаты проведенных работ.

В зависимости от отношения к ТП ремонта техники различают персонал, обеспечивающий качество (конструкторы, технологи, руководители цехового звена, рабочие) и его контролирующий (работники ОТК).

*Рабочий* основного производства отвечает за состояние закрепленного за ним оборудования и выполнение технологических регламентов. Он осматривает и контролирует оборудование в начале смены и выполняет операции в строгом соответствии с описанием ТП, а контрольные измерения параметров деталей и процесса начинает с первого изделия. Исполнитель ведет контрольную карту; помещает в изолятор брака продукцию, произведенную с дефектами; воздерживается от выполнения работы, если продукция будет изготовлена с дефектом; докладывает бригадир (мастеру) о дефектной продукции и неудовлетворительных условиях производства.

*Мастер* отвечает за производственную дисциплину и порядок на вверенном ему участке, техническое состояние технологического оборуду-

дования и оснастки, обеспечение средствами измерений рабочих мест, выполнение рабочими своих операций (в том числе контрольных) в строгом соответствии с последовательностью и режимами, приведенными в описании ТП, ведение документации по учету параметров продукции.

*Начальник цеха несет ответственность* за соответствие параметров продукции требованиям нормативной и технологической документации, за маркирование и прослеживаемость этой продукции, управление процессами, консервацию продукции и отправку ее на склад.

Контроль качества восстановленных деталей со стороны ОТК не освобождает руководителей смен, участков и цехов от ответственности за выпуск качественной продукции.

*Начальник ОТК ответственен* за выпуск качественной и комплектной продукции, соответствующей нормативной и технологической документации; организацию, состояние и совершенствование системы технического контроля; своевременное оформление документов, удостоверяющих соответствие выпускаемой продукции установленным требованиям; использование на контрольных операциях исправных и поверенных средств измерений; организацию приемочного контроля продукции; выполнение функций отдела и должностных обязанностей работников. Начальник ОТК наравне с директором завода несет ответственность в соответствии с действующим законодательством.

*Главный бухгалтер отвечает* за учет сырья, материалов, продукции и отходов, издержек и затрат на качество. Он обеспечивает внедрение и выполнение требований системы качества в бухгалтерии и финансирование заводских мероприятий по качеству.

*Главный инженер и заместители директора* руководят основным, вспомогательным и обслуживающим производствами и функциями системы качества в закрепленных за ними направлениями деятельности. Они несут ответственность за соблюдение политики качества, обязательств и требований системы качества в подчиненных им производствах; организуют разработку и совершенствование нормативных документов; выявляют и предотвращают любые несоответствия, относящиеся к системе качества; управляют последующими действиями до тех пор, пока несоответствия не будут устранены.

*Директор предприятия несет ответственность* за практическое применение разработанной системы качества, разработку, оптимизацию и совершенствование структуры предприятия. Директор назначает приказом уполномоченного по качеству, который непосредственно подчиня-

ется ему и руководит разработкой, внедрением, поддержанием в работоспособном состоянии и совершенствованием системы качества.

*Уполномоченный по качеству* создает на заводе службу качества, определяет структурное содержание системы качества, принимает решение о проведении ее анализа, утверждает мероприятия по устранению несоответствий, выявленных при этом анализе внутренними и внешними аудиторами по качеству, и оценивает общий эффект в области качества.

### **7.3.5. Управление производственными процессами**

Производственные процессы включают все операции ремонта техники: технологические, энергетические, ремонтно-вспомогательные, снабженческие, складские, транспортные и сбытовые. Другими словами, производственные процессы охватывают все работы основного, вспомогательного и обслуживающего производств.

*Управление процессами производства* – это их документирование, создание условий производства, обеспечение протекания процессов в установленной последовательности и определенным образом, сбор информации о процессах, их контроль и корректировка.

Содержание процессов производства с разной степенью детализации изложено в описании ТП, технологических и должностных инструкциях.

Условия производства подразумевают: обеспечение рабочих мест материалами, полуфабрикатами и комплектующими изделиями; использование аттестованного технологического оборудования; соответствие режимов обработки предмета восстановления ТП инструкциям и требованиям охраны труда; привлечение к работе обученного и аттестованного персонала и действие средств контроля качества продукции.

Работу по обеспечению качества на стадии протекания производственных процессов можно свести к предупреждению, обнаружению и ликвидации отклонений параметров продукции от установленных требований. Это достигается сравнением характеристик процессов и продукции с требованиями документации, а также с эталонами образцов продукции, непрерывным контролем работы оборудования, обучением и аттестацией персонала.

Ответственность за соблюдение и контроль процессов производства несут руководители соответствующих подразделений, при этом контроль этих процессов заранее планируется. Контроль ТП основного производства ведет отдел главного технолога (ОГТ).

### **7.3.6. Контроль и проведение испытаний на всех стадиях производства**

*Испытания продукции* необходимы для подтверждения соответствия продукции установленным и договорным требованиям и способности производства выпускать такую продукцию.

Виды испытания продукции оговорены в ГОСТ 16504–81.

*Предварительные испытания* включают испытания продукции с целью определения возможности предъявления продукции на приемочные испытания.

*Приемочные испытания* – это испытания восстановленных образцов или их партии в опытном порядке с целью принятия решения о целесообразности восстановления деталей на данном предприятии.

*Квалификационные испытания* заключаются в испытании восстановленной продукции при организации производства на предмет оценки готовности этого производства к выпуску продукции данного типа в заданном объеме.

*Приемосдаточные испытания* – испытания восстановленной продукции, по результатам которых принимается решение о ее пригодности к поставкам.

*Периодические испытания* заключаются в испытании образцов выпускаемой продукции, проводимого через установленные промежутки времени с целью контроля стабильности качества продукции и определения необходимых мероприятий по ее поддержанию.

Отдел главного конструктора (ОГК) отвечает за разработку и обеспечение документацией и за организацию предварительных и приемочных испытаний. ОГТ организует испытания остальных видов.

### **7.3.7. Маркирование и прослеживаемость продукции**

*Маркирование продукции* – это процедура нанесения и учета помеченных или этикеток на предмет восстановления.

*Прослеживаемость продукции* – это определение места, времени и объема восстановительных работ, в результате которых продукция выполнена с браком, а также личности работников, осуществивших и оценивших указанные работы.

Мероприятия маркирования и прослеживаемости продукции необходимы для установления использования или нахождения данного объекта в случае выявления его дефектов. Прослеживаемость должна обеспечить ретроспективу поступления ремонтного фонда, материалов и

полуфабрикатов, а также в дальнейшем место, условия и наработку изделий.

Организация маркирования и прослеживаемости изделий заключается в следующем.

Определяют детали и сборочные единицы, которые подлежат маркированию. В наибольшей мере это относится к изделиям, влияющим на эксплуатационные характеристики, безопасность и надежность отремонтированных агрегатов. Факт маркирования изделия отражается в технических требованиях конструкторской документации.

В технологической документации отражают способ выполнения требований по маркированию: шифр и вид маркирования, формы маршрутного листа на деталь или сборочную единицу и технологического паспорта на агрегат.

Маркированная продукция должна определенным образом регистрироваться.

Отделы сбыта и материально-технического снабжения обеспечивают поступление ремонтного фонда в ремонтпригодном состоянии, приобретение материалов, полуфабрикатов и комплектующих изделий, соответствующих требованиям конструкторской документации и имеющих сертификаты качества или соответствия.

Материалы и изделия, поступившие на склад, учитываются вместе с прибывшими документами. Изделия с отсутствующими документами проходят входной контроль силами ОТК по имеющейся на заводе документации.

Ремонтный фонд, материалы, полуфабрикаты и комплектующие изделия, поступившие в цех вместе с сопроводительными документами, учитываются в журналах.

На детали ремонтного фонда, отмеченные в документации, наносят маркировочные метки. Сведения о деталях, данные о повреждениях и восстановительных операциях, фамилии и подписи исполнителей и контролеров заносят в маршрутные листы. Участки восстановления деталей, комплектования и сборки агрегатов обеспечиваются стеллажами, подставками, поддонами и другой оргоснасткой для хранения маркированных изделий и документации на них.

На комплектовочном участке заводят технологический паспорт агрегата, к которому прилагают маршрутные листы составляющих основных деталей. На сборочном участке технологический паспорт дополняют сведениями о выполненных сборочных операциях, исполнителях и контролерах. Обкатчики и контролеры записывают сведения о контролируемых параметрах агрегата во время его испытания.

Ответственность за оформление документов по маркированию изделий и их частей возлагается на мастеров участков. Все указанные документы на каждый экземпляр продукции в сброшюрованном виде хранятся в архиве ОТК в течение гарантийного срока изделия.

Отдел сбыта ведет учет мест эксплуатации продукции.

### **7.3.8. *Корректирующие и предупреждающие мероприятия***

Определение и устранение причин дефектов с целью исключения их повторения проводят посредством *корректирующих* мероприятий, а действия, направленные на исключение возможности этих причин или появления новых видов дефектов, являются *предупреждающими*. Проведение корректирующих действий начинается с выявления проблемы качества и связано с принятием мер по устранению или минимизации случаев повторного возникновения этих проблем (рис. 7.3).

Наиболее распространенные причины дефектов:

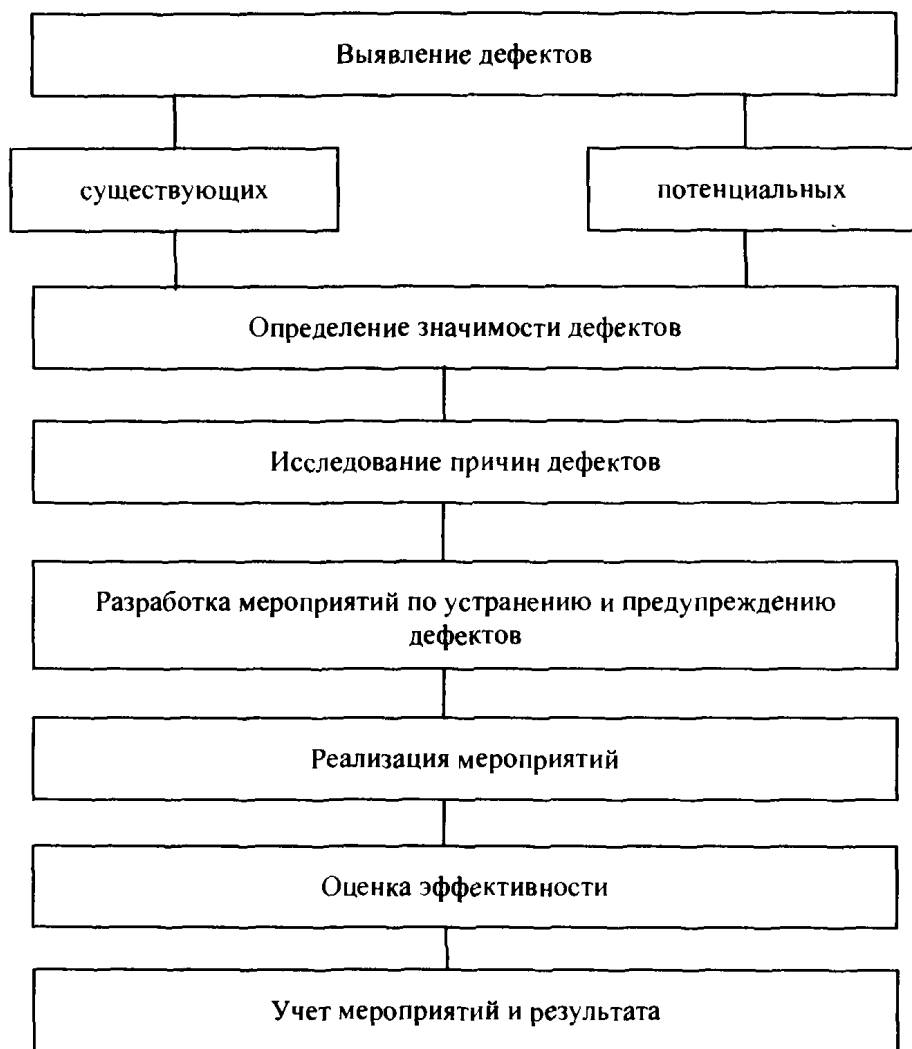
- несоблюдение требований к качеству материалов и комплектующих;
- неадекватность или отсутствие документированных процедур;
- недостаточная подготовка персонала;
- несоответствие условий работы;
- неадекватность или отсутствие управления процессами;
- нарушения технологической дисциплины.

Выявление причин может привести к внесению изменений в процессы производства, упаковки, хранения, транспортирования и обслуживания продукции и в технические требования к этой продукции.

Корректирующие и предупреждающие мероприятия планируют и проводят по профилю своей работы ОГК и ОГТ. Отделы вносят изменения в конструкторскую и технологическую документацию в соответствии с проведенными корректирующими и предупреждающими действиями. Исследование причин дефектов продукции и контроль хода корректирующих и предупреждающих мероприятий ведет группа анализа качества, а эффективность этих мероприятий контролирует ОТК.

Корректирующие и предупреждающие мероприятия разрабатывают на основании:

- данных приемосдаточных испытаний;
- дефектов, выявленных в гарантийный период эксплуатации;
- актов проверки технологической дисциплины;
- актов авторского надзора;
- результатов аудиторских проверок (внутренних и внешних);



**Рис. 7.3. Порядок выявления причин дефектов и реализации мер по их устранению и предупреждению**

- предложений по улучшению технологических процессов;
- отчетов о техническом обслуживании;
- протоколов Дня качества;
- актов списания бракованной продукции;
- случаев выпуска продукции по особым санкциям.



Порядок выполнения работ состоит в следующем. Все подразделения завода определяют причины дефектов, и сведения о них направляют в письменном виде в группу анализа. Она инициирует разработку мероприятий силами ОГК и ОГТ. Разработанные мероприятия учитываются в журнале контроля, содержание отдельных мероприятий и сроки их выполнения сообщаются ответственному подразделению в виде контрольной карточки. Руководитель подразделения отвечает за полноту и сроки выполнения мероприятия, по окончании установленного срока он информирует группу анализа о достигнутых результатах. Результаты выполнения плана мероприятий обсуждаются на оперативных совещаниях, заседаниях технического совета или на Дне качества.

Группа анализа качества с использованием сведений из технических и экономических отделов оценивает эффективность принятых мер. Учитывается степень устранения выявленного отклонения от требований нормативной документации, а также затраты на разработку и реализацию мероприятий. При положительном эффекте найденного технического решения оно вносится в действующую документацию в виде изменения. В противном случае необходима разработка нового решения корректирующего характера. Хранение всей документации по управлению корректирующими и предупреждающими воздействиями ведет группа анализа качества.

### *7.3.9. Аттестация производства*

Аттестация производства представляет собой комплекс мероприятий по определению его возможности выпускать продукцию в соответствии с требованиями нормативной документации. Аттестация бывает плановой и инспекционной.

Производство аттестуют при заводской или государственной сертификации. Аттестации подвергают отдельные рабочие места (операции), по результатам которой судят о состоянии всего участка.

Аттестация производства включает проверку конструкторской и технологической документации, знаний и способности рабочих обеспечить требования технологической документации, производственного порядка на рабочих местах, состояния оборудования, оснастки (в том числе инструмента) и средств измерений.

При проверке конструкторской документации устанавливают достаточность требований к качеству выпускаемой продукции, выясняют, все ли требования конструкторской документации учтены технологической документацией и обеспечиваются ею.

Квалификационный разряд рабочего должен быть не ниже, чем того требует технология. Проверяют знания в объеме квалификационных требований, а также знание устройства восстанавливаемого объекта, возможных причин дефектов и мер по их предупреждению и технологии его восстановления. Осматривают производственную одежду, обувь и средства защиты. Рабочий должен показать умение измерять величины, приведенные в технологической документации.

Производственный порядок подразумевает чистоту пола, оборудования и организационно-технической оснастки, расположение заготовок и деталей в ориентированном положении на подставках и стеллажах, отсутствие ненужных вещей.

При контроле оборудования проверяют наличие графика его обслуживания и планово-предупредительных ремонтов, полноту их проведения. Выборочно проверяют технологическую точность станков по разработанным методикам и с применением имеющейся оснастки. Рабочие вспомогательного производства должны демонстрировать умение в проверке оборудования на технологическую точность, его обслуживании и ремонте. Проверяющие обращают внимание на смазку станков и заправку их СОЖ.

При проверке технологической оснастки контролируют выполнение соответствующего графика на технологическую точность, наличие методик и необходимых средств для этой проверки. Выборочно проверяют некоторые экземпляры оснастки.

Средства измерений должны пройти поверку по графику. На рабочих местах не должно быть средств измерений, не указанных в технологической документации или с истекшими сроками поверки.

И, наконец, случайным образом отбирается экземпляр восстановленной детали, принятый ОТК и находящийся на складе готовой продукции. У изделия измеряют значения контролируемых параметров и сопоставляют их с нормативными значениями.

### **7.3.10. Организация контроля качества**

Для организации контроля качества на заводе создают ОТК во главе с начальником, который подчиняется директору завода. Структурная схема ОТК приведена на рис. 7.4. Начальник ОТК руководит разработкой и проведением мероприятий по повышению качества продукции или услуг, совершенствованием системы контроля. Он непосредственно следит за работой своего заместителя, участка входного контроля деталей и группы инженеров СК ВД. Заместитель начальника ОТК отвечает за ра-



Рис. 7.4. Структурная схема ОТК

боту цехового аппарата контролеров и работу по устранению рекламационных дефектов, в том числе в хозяйствах, где работает отремонтированная техника. Число контролеров определяют с учетом трудоемкости контрольных операций.

Система технического контроля направлена на:

- предмет восстановления в виде исходных и ремонтных заготовок, восстановленных деталей, сборочных единиц и собранных агрегатов и машин;
- средства ремонта в виде технологического оборудования и оснастки;
- средства измерений, испытаний и контроля;
- нормативную, инструктивную и технологическую документацию;
- материалы, полуфабрикаты и запасные части.

Основные операции ремонта должны быть обеспечены, кроме того, средствами контроля материалов (состава и структуры), технологических сред (состава, концентрации, температуры и давления) и режимов, устройствами для контроля технологической точности средств ремонта. Оборудование оснащают средствами активного контроля, предназначенными для измерений в ходе обработки и останова станка по достижении заданного размера. Измерительные лаборатории (в пределах своей компетенции) оснащают аттестованными устройствами для поверки средств измерений.

ОТК проводит работу во взаимодействии с цехами основного производства, отделом снабжения, производственно-диспетчерским отделом, ОГТ, юридическим бюро и бухгалтерией.

Основные задачи ОТК:

- предотвращение выпуска продукции, не соответствующей требованиям нормативной и технологической документации, условиям поставки и договорам;
- укрепление производственной и технологической дисциплины;
- повышение ответственности за качество продукции всеми участниками производства;
- изучение причин выявленного брака и реализация мероприятий по его предупреждению;
- учет.

С целью наиболее полного учета требований к качеству продукции все технологические процессы, разрабатываемые на заводе, проходят экспертизу в ОТК, а титульные листы технологической документации подписывает начальник ОТК.

Система технического контроля требует непрерывного анализа ее эффективности и внедрения прогрессивных элементов для повышения производительности труда и достоверности контроля.

Функции ОТК:

- совершенствование системы технического контроля;
- входной контроль продукции;
- все виды цехового контроля продукции (приемочного, инспекционного, летучего) сплошным или выборочным методом;
- участие в испытаниях новых видов продукции;
- работа по изучению дефектов и выработке предупреждающих мероприятий.

Входной контроль изделий и материалов проводят с целью предотвращения запуска в производство продукции, не соответствующей требованиям конструкторской и нормативной документации и договоров на поставку. На этой стадии контроля проверяют наличие сопроводительной документации на продукцию, удостоверяющей ее качество и комплектность, устанавливают соответствие качества и комплектности продукции требованиям конструкторской и нормативной документации, собирают статистические данные о фактическом уровне качества получаемой продукции и разрабатывают на этой основе предложения по повышению качества и пересмотру (при необходимости) требований нормативной документации к продукции, оформляют акты о браке продукции, своевременно и оперативно извещают поставщиков о недостатках и дефектах продукции, выявленных при входном контроле и в процессе производства.

При входном контроле используют сплошной или выборочный метод. Вид контроля устанавливают в зависимости от стабильности качест-

ва продукции поставщика и указывают в перечне продукции. Операции входного контроля комплектующих изделий, поступающих с других заводов, оснащены средствами для измерения основных параметров деталей, влияющими на надежность отремонтированных агрегатов. Средства измерений и испытательное оборудование выбирают исходя из требований нормативной документации и стандартов. При назначении методов и средств контроля должно быть обеспечено единство проверок, а по возможности и со средствами контроля заводов – изготовителей поступившей продукции.

Входной контроль проводят в отдельных (при необходимости в термokonстантных) помещениях. Продукция, подлежащая входному контролю, хранится отдельно от продукции, принятой и забракованной. Результаты проверки продукции заносятся в журнал. На продукцию, признанную годной, выдается ярлык «Принято», а в сопроводительной документации проставляются штамп и число за подписью контролера. Забракованная продукция снабжается ярлыком «Брак» и направляется в изолятор брака. В последнем случае оформляется акт. Извещение поставщиков о забракованной продукции и их вызов входит в обязанности начальника ОТК. Представители поставщика приглашаются для разработки совместных мер, направленных на повышение качества поставляемой продукции.

Текущая работа контрольного аппарата заключается в операционном и приемочном контроле продукции согласно ТП контроля. Сюда входит контроль качества материалов и комплектующих изделий, выполнения отдельных технологических операций, собранных и испытанных изделий, упаковки, транспортирования и хранения продукции.

При выборе вида контроля предпочтение отдается выборочному контролю как наиболее прогрессивному.

Важные функции ОТК состоят в изучении причин недостаточного качества продукции и выработке мер по его повышению.

Начальник ОТК организует работу по контролю качества выпускаемой продукции и принимает окончательное решение о приемке продукции или об отнесении ее к браку в случае разногласий между работниками ОТК и изготовителями продукции.

Начальник ОТК имеет право запретить:

- приемку продукции, которая выходит с повторяющимися дефектами, до тех пор, пока не будут выяснены и устранены причины их возникновения;

- использование материалов и комплектующих изделий, которые не отвечают установленным требованиям и не гарантируют необходимого качества продукции;
- производство продукции на оборудовании, не обеспечивающем установленных требований к ней до устранения соответствующих причин;
- изготовление продукции, если конструкторская и технологическая документация не учитывают действие нормативной документации или не созданы необходимые условия для объективной оценки качества продукции;
- реализацию продукции, не принятой ОТК;
- применение средств измерений, которые не прошли поверку в установленном порядке или неисправны.

Решения о запретах письменно доводятся до директора завода, который может отменить их письменным приказом с немедленным уведомлением руководителей вышестоящей организации.

#### **7.4. Организация маркетинговой и технологической подготовки восстановительного производства**

Подготовка производства предшествует самому производству. Виды подготовки производства соответствуют частям жизненного цикла продукции (по ISO 9004), который включает в себя:

- маркетинг, поиск и изучение рынка;
- разработку технических требований и проектирование продукции;
- разработку и подготовку ТП и средств труда;
- материально-техническое снабжение;
- изготовление, контроль, испытания, хранение, реализацию, распределение и эксплуатацию продукции;
- техническое обслуживание и ремонт;
- утилизацию после использования.

В зависимости от стадии жизненного цикла продукции различают подготовку: научную, маркетинговую, конструкторскую, технологическую, организационную, финансовую, строительную, снабженческую и сбытовую. Научная подготовка предшествует подготовке остальных видов. Конструкторская и технологическая подготовка образуют техническую подготовку.

Маркетинговая подготовка определяет вид и объемы производства. Наибольшее влияние на технический уровень продукции оказывает конструкторская подготовка, на качество продукции – технологическая, а на

расход производственных ресурсов – организационная. Все вместе они формируют эффективность производства.

Необходимость подготовки производства возникает при освоении производства нового вида продукции или увеличении производственной мощности, или для снижения ресурсопотребления, или из-за потребности в повышении качества продукции. Последняя потребность возникает в случае уменьшения значений показателей качества продукции относительно соответствующих нормативных значений.

#### **7.4.1. Маркетинговые исследования рынка продукции и услуг**

*Маркетинг* – это изучение спроса на ремонт техники и влияния его качества и качества технического сервиса на объемы реализации продукции. Задачи маркетинга состоят в комплектовании портфеля заказов, налаживании товародвижения и сбыта продукции, ориентированной на запросы потребителей.

В основу концепции маркетинга положены идеи удовлетворения нужд и потребностей потенциальных потребителей. Она появилась как ответ на усложнение сбытовой деятельности в условиях наращивания объемов выпуска продукции. Ранее имело место приоритетное положение производителя по отношению к потребителю. Рынок такого типа получил название «рынок продавца». В этом случае сначала производился товар, а затем шли активные поиски его потребителя и методов интенсивного сбыта. При насыщенном рынке вступали в действие жесткая конкуренция, агрессивная реклама и изощренные формы стимулирования сбыта.

В какой-то момент рынок продавца становится тормозом на пути научно-технического прогресса и появления новых товаров. Разрешение противоречия возможно за счет создания «рынка покупателя», предполагающего выпуск товаров, которые будут согласны приобрести потенциальные потребители.

В этом случае в основу производства закладываются данные, полученные в результате изучения запросов различных рыночных сегментов (отдельных групп населения, предприятий, организаций и других потребителей), которым и будет адресована вновь созданная продукция. Здесь меняется направление усилий производителя: он, выявив с помощью исследований неудовлетворенные нужды и потребности, разрабатывает и начинает производить те товары и услуги, которые способны удовлетворить покупателя. Таким образом, определение производства и сбыта продукции в условиях рынка покупателя составляет содержание маркетинговой деятельности.

Один из видных идеологов маркетинга – профессор Ф. Котлер определил маркетинг как вид человеческой деятельности, направленный на удовлетворение нужд и потребностей путем обмена. Рабочие понятия маркетинга следующие:

- нужда – чувство ошущаемой человеком нехватки чего-либо;
- потребность – нужда, принявшая специфическую форму в соответствии с культурным уровнем и личностью индивида;
- запрос – это потребность, подкрепленная покупательной способностью;
- товар – все, что может удовлетворить потребность или нужду и предлагается рынку с целью привлечения внимания, приобретения, использования или потребления;
- обмен – факт получения от кого-либо желаемого объекта с предложением чего-либо взамен;
- сделка – коммерческий обмен ценностями между двумя сторонами;
- рынок – совокупность существующих и потенциальных покупателей товара.

На ремонтных предприятиях создают отделы или бюро маркетинга, организованные по функциональным признакам. Эти подразделения изучают характеристики рынка и определяют его потенциальные возможности, анализируют распределение долей рынка между предприятиями, определяют сбыт и готовят предложения руководству предприятия для организации выпуска продукции и подготовки производства. Успешно действует в непрерывно меняющейся обстановке то предприятие, которое непрерывно корректирует свою деятельность на основе перемен на рынке.

Выбор стратегии охвата рынка зависит от производственной мощности предприятия, однородности продукции и рынка, этапа жизненного цикла товара и маркетинговой стратегии конкурентов. С учетом всех этих данных определяют, какие рыночные сегменты наиболее привлекательны для предприятия, а также решают, которые из них больше других соответствуют его сильным сторонам и опыту.

Маркетинговые исследования являются базовыми для назначения цены товара. Цена может устанавливаться на основании одного из пяти методов ценообразования:

- «средних издержек плюс прибыль»;
- анализа и обеспечения целевой прибыли;
- на основе ошутимой ценности товара;



- исходя из уровня текущих цен;
- на основе закрытых торгов.

Предприятие рекламирует свою продукцию путем рассылки рекламных проспектов потенциальным покупателям и участия в тематических выставках.

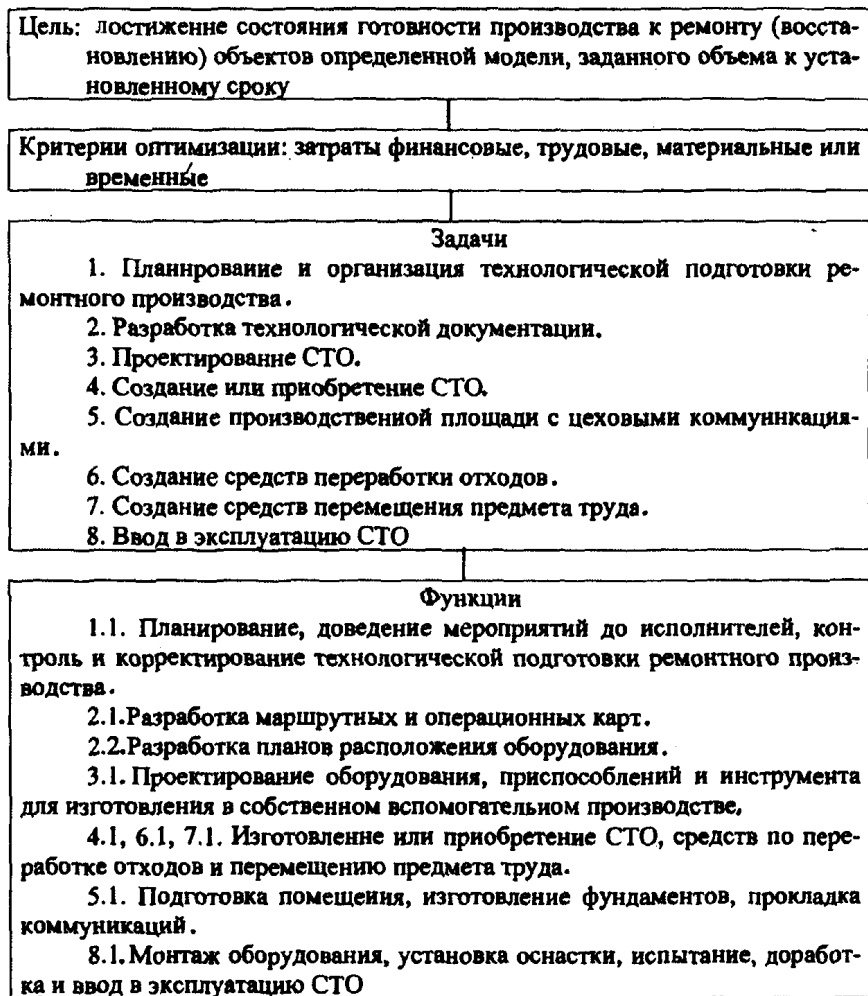
Путем маркетинговых исследований определяют производственную мощность основного производства. При определении производственной мощности действующих предприятий устанавливают:

- производственные возможности ремонтного предприятия, рассчитанные по ведущим цехам, участкам и группам основного оборудования, с целью объективного планирования его загрузки и определения направлений совершенствования;
- уровень использования производственных площадей и основного оборудования;
- организационно-технические мероприятия по ликвидации узких мест производства;
- экономический эффект от реализации организационно-технических мероприятий.

#### **7.4.2. Цель и состав технологической подготовки восстановительного производства**

Цель изложенного ранее материала заключалась в изучении и выборе эффективных технологических способов и средств, а также организации производства, обеспечивающих безусловное достижение нормативных показателей качества восстановленных деталей с минимальными материальными и трудовыми затратами. Организация труда по внедрению в производство принятых технических решений существенно влияет на затраты и сроки этого внедрения.

Создание или совершенствование участков или рабочих мест восстановительного производства происходит в результате его технологической подготовки. *Технологическая подготовка восстановительного производства* представляет собой необходимое множество работ, призванное подготовить производство к восстановлению изделий определенной модели и комплектности, заданного объема, к установленному сроку, с требуемыми показателями качества и с наименьшими затратами (рис. 7.5). Номенклатура, объемы выпуска, показатели качества восстановленных изделий и сроки освоения являются ограничительными параметрами (они должны выполняться неукоснительно), а затраты на освоение процессов восстановления – параметром оптимизации (они должны быть



**Рис. 7.5. Цель, задачи и функции технологической подготовки ремонтного производства**

наименьшими). Достижение состояния готовности восстановительного производства и представляет собой *цель* его технологической подготовки.

*Признаки* технологической готовности производства:

– подготовлено производственное помещение с коммуникационными подводами энергетических и технологических ресурсов, вентиляцией, отоплением и освещением;

- установлены и введены в эксплуатацию средства технологического оснащения;
- имеется комплект технологической документации на все операции восстановления деталей;
- восстановлена первая партия изделий и доказана возможность достижения с заданной производительностью требований к продукции, установленных нормативно-технической документацией.

Факт технологической готовности производства оформляется актом. Отдел главного технолога (разработчик технологии, средств технологического оснащения и планировочного решения) и службы вспомогательного производства, которые изготавливают и монтируют оборудование, сдают участок (рабочее место) персоналу основного производства.

Технологическая подготовка восстановительного производства выполняется силами технологической и конструкторской служб завода и собственного вспомогательного производства.

Основные работы технологической подготовки восстановительного производства – разработка технологической документации, проектирование и изготовление средств восстановления, управление процессом технологической подготовки.

Связное множество работ по приведению восстановительного производства в состояние технологической готовности представлено в виде схемы сетевого графика на рис. 7.6.

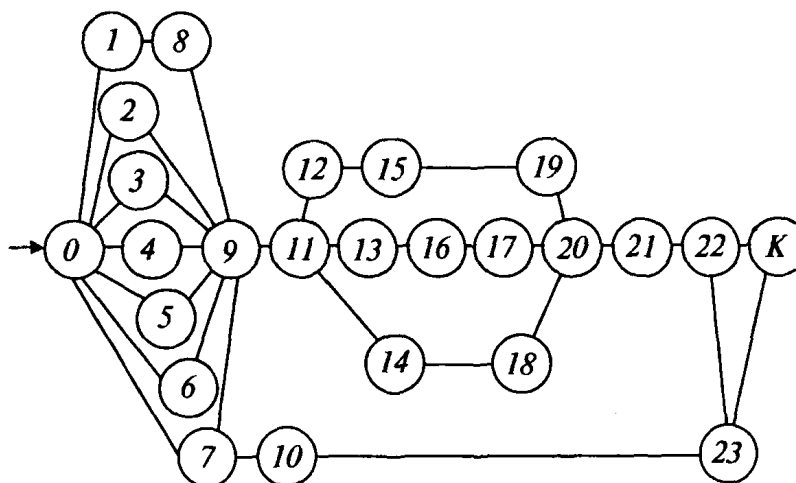
Технологическую подготовку начинают с разработки или приобретения конструкторской документации на ремонтируемое изделие, что составляет событие 1. Комплект чертежей содержит описание всех деталей и сборочных единиц с указанием материалов, размеров, точностных параметров, твердости поверхностей и других технических требований. Чертежи ремонтируемых объектов разрабатывает завод – изготовитель машин или отраслевые проектные организации.

События 2 и 3 предполагают изучение опыта предприятий по изготовлению и капитальному ремонту однотипных машин и восстановлению их деталей.

Исследование деталей ремонтного фонда в деле выявления множества устраняемых повреждений (событие 4), их характеристик и сочетаний необходимо для выбора способов восстановления деталей и определения его трудоемкости и себестоимости.

Событие 5 – это маркетинговые исследования.

Событие 6 выражает научно-исследовательскую подготовку производства с целью внедрения новейших технологий и средств восстановления.



**Рис. 7.6. Схема сетевого графика технологической подготовки ремонтного производства:**

0 – начало технологической подготовки ремонтного производства; 1 – обеспечение конструкторской документацией; 2 и 3 – соответственно изучение производства по изготовлению и капитальному ремонту предмета труда; 4 – исследование состояния ремонтного фонда; 5 – изучение рынка товарной продукции (маркетинг); 6 – научно-исследовательская подготовка; 7 – обеспечение нормативно-технической документацией; 8 – составление картотеки деталей и сборочных единиц предмета труда; 9 – разработка технологической документации с литерой «РО»; 10 – разработка материальных нормативов; 11 – составление картотеки ТП, средств ремонта и рабочих мест; 12 – составление ведомости покупных средств ремонта; 13 – составление ведомости средств ремонта собственного изготовления; 14 – разработка технологических планировок; 15 – составление заявок на приобретение средств ремонта; 16 – проектирование средств ремонта собственного изготовления; 17 – изготовление средств ремонта; 18 – подготовка производственной площади; 19 – приобретение средств ремонта; 20 – монтаж средств ремонта; 21 – испытание, доводка и ввод в эксплуатацию средств ремонта; 22 – доработка технологической документации с присвоением литеры «РА»; 23 – уточнение материальных нормативов; K – конец технологической подготовки ремонтного производства

Нормативно-техническая документация (ее приобретение соответствует событию 7) – это руководства по капитальному ремонту машин или агрегатов, директивные материальные нормативы и все стандарты, на которые имеются ссылки в технической документации. Список нормативно-технической документации уточняется и пополняется по мере разработки конструкторской и технологической документации.

Событие 8 – это появление картотеки восстанавливаемых деталей, в которой учтено состояние ремонтного фонда и товарной продукции.

Вершина 9 графика как событие, определяющее разработку технологии, обобщает ранее выполненные работы. Технологические способы, принятые на этой стадии, будут определять качество и трудоемкость восстановления изделий и эффективность производства. Для реализации способов будут закуплены и изготовлены средства восстановления, подготовлены производственные площади, установлено и подключено к цеховым коммуникациям оборудование, поэтому технические решения, принятые на этом этапе, должны быть всесторонне обоснованы.

Нормы материальных нормативов (событие 10) необходимы для заказа материалов и запасных частей.

Событие 11 – появление картотеки ТП, средств восстановления и рабочих мест предшествует планированию и организации работ по технологической подготовке восстановительного производства.

Вершины 12, 15 и 19 определяют работы по приобретению покупного оборудования, а вершины 13, 16 и 17 – работы по проектированию и изготовлению средств восстановления в собственном вспомогательном производстве. Последние работы недостаточно оценены в литературе по ремонту машин, хотя ряд участков (например, разборочно-очистных, определения повреждений, восстановления некоторых деталей, комплекточно-сборочных, окрасочных) почти полностью оснащен средствами собственного изготовления.

Параллельно с приобретением, проектированием и изготовлением средств восстановления разрабатывают технологические планировки участков (событие 14) и готовят производственные площади с прокладкой цеховых коммуникаций (событие 18).

Вершины 20 и 21 определяют монтаж и ввод в эксплуатацию средств восстановления. На этой стадии технологической подготовки восстановительного производства ремонтируют установочную партию продукции, испытывают средства восстановления, выявляют и устраняют недостатки средств оснащения, вводят коррективы в разработанную технологию (вершина 22) и уточняют материальные нормативы (событие 23).

Исполнителями работ по технологической подготовке восстановительного производства являются: 1, 7 – ОГК; 2 – 4, 8 – 16, 21 – 23 – ОГТ; 5 – служба маркетинга; 6 – научные организации; 17, 21 – инструментальный участок (ИУ); 18 – ремонтно-строительный участок (РСУ); 19 – 21 – отдел главного механика (ОГМ).

Наибольший объем инженерных работ приходится на технологов и конструкторов ОГТ.

### 7.4.3. Планирование технологической подготовки восстановительного производства

Решение о технологической подготовке производства к ремонту изделий новых видов принимают на основании изучения и прогнозирования рынка этих объектов, сопоставлении сроков подготовки производства и времени существования рынка и расчета экономических показателей.

Технологическую подготовку восстановительного производства планируют согласно приказу или распоряжению директора или главного инженера завода об освоении восстановления изделий с указанием сроков готовности производства. К приказу или распоряжению прилагают план мероприятий по технологической подготовке восстановительного производства, пример которого приводим

УТВЕРЖДАЮ.

Главный инженер ремонтного завода

#### План технологической подготовки производства

по \_\_\_\_\_  
 (приказ по заводу № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_)  
 (технологический процесс № \_\_\_\_\_)  
 (технологическая планировка № \_\_\_\_\_)

Предмет труда: наименование, номер, эскиз	Технологическая операция: наименование, номер	Средства восстановления: оборудование, приспособ- ления, инструмент; наиме- нование, номер
1	2	3

Продолжение

Мероприятия		Исполнители, сроки					
Наименова- ние	Трудоем- кость, чел.-ч	ТБ <sup>*)</sup> ОГТ	КБ <sup>**)</sup> ОГТ	ИУ	ОГМ	ОГЭ <sup>***)</sup>	РСУ
4	5	6	7	8	9	10	11

- \*) технологическое бюро  
 \*\*) конструкторское бюро  
 \*\*\*) отдел главного энергетика

Главный технолог ремонтного завода

В свою очередь, план разрабатывают на основании маршрутного (операционного) ТП с литерой «РА» и технологической планировки создаваемого участка или рабочего места (плана расположения оборудования с точками коммуникационных подводов).

В плане технологической подготовки восстановительного производства выдерживают соответствие: предмет восстановления – технологическая операция – средства технологического оснащения – мероприятия – сроки – исполнители. План технологической подготовки восстановительного производства включает: строительно-проектные работы, а также подготовку производственной площади, проектирование, изготовление средств восстановления силами собственного вспомогательного производства, приобретение покупных средств восстановления, монтаж оборудования с подключением его к цеховым коммуникациям, испытание и ввод в эксплуатацию средств восстановления. Соответствие элементов плана выражается в подчинении мероприятий определенным срокам и необходимости обеспечения параметров предмета труда, установленных нормативно-технической документацией. Другими словами, исполнители выполняют предписанные мероприятия в установленные сроки. Мероприятия, в свою очередь, подчинены созданию и вводу в эксплуатацию средств восстановления, обеспечивающих такие воздействия на предмет восстановления, которые гарантируют достижение параметров, указанных в конструкторских документах на восстанавливаемую продукцию.

Столбец 1 плана содержит эскизы предмета труда, полученного в результате технологической операции. Заключительный эскиз соответствует чертежу восстановленной детали (сборочной единицы). Последний документ включает значения точностных показателей, физико-механических свойств материалов и функциональных параметров, обеспечивающих установленную наработку восстановленных изделий.

Заводские инженерные службы разрабатывают маршрутные и операционные технологические карты (столбец 2), планы расположения оборудования и чертежи средств восстановления собственного изготовления (столбец 3). Деталям соответствуют процессы очистки, определения повреждений, создания ремонтных заготовок, механической и другой обработки и контроля. В столбец 3 вводят также средства восстановления, приобретенные на стороне и требующие монтажа и ввода в эксплуатацию. Список средств восстановления для каждой операции начинают с оборудования (станка, станда, верстака и т.д.). Список продолжают и завершают приспособления и инструменты. По мере разработки технологий и средств восстановления собственного изготовления в столбцах 2 и 3 рядом с наименованиями появляются номера или шифры разработок.

Принимают систему кодирования создаваемых средств восстановления, обеспечивающую поиск их чертежей, выбор аналогов и заводскую унификацию. Средства восстановления кодируют по их конструкторско-технологическому признаку. Конструкторская часть признака относит средства восстановления к предмету труда, подвергаемому технологическому воздействию. Предмет труда определяется его видом и моделью. Технологическая часть признака выражает вид технологического воздействия.

Столбец 4 содержит мероприятия по: составлению технического задания, проектированию и изготовлению средств восстановления, подготовке производственной площади, подключению объекта к цеховым коммуникациям (электричеству, пару, воде, газу, сжатому воздуху, канализации и вентиляции), испытанию и доработке. Множество мероприятий составляется без пропусков и повторений, при этом каждое мероприятие необходимо, а все вместе они достаточны для достижения технологической готовности производства. На каждое мероприятие назначается один исполнитель.

Мероприятия, сгруппированные в блоки по признаку «Исполнитель», вносятся в блок памяти компьютера. Мероприятия – это основные элементы плана технологической подготовки восстановительного производства, которые содержат словесные формулировки задач. От четкости, полноты и взаимосвязи их зависит своевременное и полное выполнение всего плана мероприятий.

В столбце 5 приводятся расчетные значения трудоемкости каждого мероприятия. Сумма трудоемкости по каждому виду работ определяет число привлекаемых к этому работников.

Трудоемкость месячного плана согласуется с мощностью производственного подразделения. Трудоемкость работ ИУ выражается трудоемкостью слесарно-сборочных работ.

Число исполнителей, обеспечивающих выполнение одноименных работ к установленному сроку, определяется делением соответствующей трудоемкости на время, предшествующее этому сроку.

Сроки разработки технологий отмечаются в столбце 6, а чертежей – в столбце 7. Сроки изготовления средств восстановления фиксируются в столбце 8, а сроки монтажа и подключения оборудования, подготовки производственной площади с прокладкой подпольных коммуникаций и изготовлением фундаментов – в столбцах соответственно 9, 10 и 11.

Выборки мероприятий по признаку «Исполнитель» образуют планы ТБ, КБ, ИУ, ОГМ, ОГЭ и РСУ. Планы имеют 20...30%-ный резерв



на непредвиденные работы и доработку средств восстановления по результатам испытаний.

Месячные планы работ, утвержденные главным инженером завода, доводят до подразделений-исполнителей.

#### **7.4.4. Организация работ**

Руководит технологической подготовкой производства главный технолог завода, который возглавляет ОГТ. В своем составе отдел имеет бюро по технологическому проектированию и планированию технологической подготовки восстановительного производства, а также КБ по проектированию средств восстановления. Взаимодействие между технологиями и конструкторами выражается в следующем. Технолог при разработке ТП определяет средства, которые невозможно по тем или иным причинам приобрести, и готовит техническое задание на их проектирование. Задание содержит описание технологических воздействий на предмет восстановления и все его состояния. По сути, это сведения операционной карты об оборудовании, инструменте, базах и режимах обработки и необходимых параметрах, которые выступают в качестве ограничений. Техническое задание – это совокупность ограничений технологического порядка. Конструктор должен обеспечить выполнение этих ограничений при минимальных затратах на создание и применение средств технологического оснащения.

Бюро планирования и анализа технологической подготовки восстановительного производства координирует и согласует этапы и функции этой подготовки. Система управления технологической подготовкой восстановительного производства связана с системой календарного и оперативного планирования.

Службы вспомогательного производства обеспечивают материальную реализацию мероприятий по профилю своей деятельности.

Функции служб вспомогательного производства следующие.

ИУ изготавливает оборудование, оснастку (в том числе инструмент), которые не выпускают специализированные предприятия. Эти средства производят по чертежам КБ ОГТ. В ИУ входят следующие участки: заготовительный, слесарный, механический, сварочно-термический и инструментальный. Соотношение рабочих участка выбирается таким образом, чтобы одного слесаря обслуживали полтора-два станочника. Изучение парка деталей средств восстановления собственного изготовления для нужд восстановительного производства показывает, что номенклатура и распределение станков механического участка должны быть при-

мерно следующие (в %): токарных 20; сверлильных 22 (в том числе радиальных); расточных 7; шлифовальных 20 (в том числе круглошлифовальных 10, плоскошлифовальных 8, внутришлифовальных 2); фрезерных 20; зубообрабатывающих 2; электроэрозионных 2. Станки на чистовых операциях должны быть на один-два класса точнее станков, применяемых в основном производстве.

Инструментальный отдел разрабатывает ведомости применяемого инструмента, назначает сроки его службы и графики переточки, организует приобретение инструмента, который изготовляют специализированные предприятия.

ОГМ приобретает покупное оборудование, монтирует оборудование как покупное, так и собственного изготовления и вводит его в эксплуатацию.

РСУ готовит производственные помещения и делает фундаменты и колодцы под оборудование.

Все средства, изготовленные во вспомогательном производстве, подлежат испытаниям и, как правило, доработке. При испытаниях устанавливают соответствие средств восстановления своему функциональному назначению, включая придание требуемых параметров предмету труда за установленное время. Испытания организует участок вспомогательного производства – изготовитель средств восстановления, он же организует изготовление или подбор заготовок.

Испытания ведут мастер участка – изготовителя средств восстановления, конструктор – разработчик средств восстановления и технолог – разработчик ТП. Эти лица сдают свою работу комиссии в составе начальника цеха основного производства (руководитель комиссии), метролога и инспектора по охране труда. Под наблюдением комиссии обрабатывают партию деталей (сборочных единиц) по режимам, приведенным в технологической документации. Фиксируют время воздействий и определяют значения параметров предмета труда. При положительном исходе испытаний подписывают акт внедрения средств восстановления в производство, при отрицательном конструктор, технолог и мастер анализируют результат, составляют акт испытаний, вписывают в него достигнутые значения режимов воздействий и параметров предмета труда и назначают время очередного испытания. Конструктор вносит изменения в чертежи средства, по которым, в свою очередь, участок-изготовитель изменяет само средство.

Для более быстрой и оперативной подготовки производства желательно в составе технологической лаборатории иметь станки распростра-

ненных моделей основного производства для испытания и доработки технологической оснастки.

#### **7.4.5. Контроль исполнения**

В результате реализации мероприятий технологической подготовки восстановительного производства возникают причины объективного и субъективного характера, которые мешают своевременному достижению технологической готовности производства. Это – нехватка или отсутствие материалов, оборудования, рабочей силы, документации, а также ошибки, слабая исполнительская дисциплина и др. Обнаружение отклонений хода технологической подготовки от планового, анализ причин этого отклонения и корректировка содержания технологической подготовки и сроков ее реализации и составляет предмет контроля этой подготовки.

Основной контроль технологической подготовки восстановительного производства (раз в месяц) совпадает с составлением планов службам вспомогательного производства. Текущий контроль обычно касается выполнения планов технологической подготовки производства к восстановлению отдельных деталей и выполняется еженедельно.

Главный технолог на еженедельном оперативном совещании под председательством главного инженера дает информацию о технологической подготовке, относящейся к какому-либо виду товарного изделия. Такая информация готовится с помощью компьютера, который выбирает мероприятия с просроченными сроками выполнения. На совещании присутствуют руководители вспомогательных служб, начальник отдела снабжения и начальник цеха основного производства, в котором будет ремонтироваться рассматриваемое товарное изделие. После обсуждения причин отклонения хода технологической подготовки от планового намечают соответствующие меры. Это неукоснительное обеспечение вспомогательного производства материалами и изделиями, усиление участков рабочими, перераспределение работ, переработка документации, изменение сроков и т.д. Протокол совещания отражает суть организационных решений.

Ежемесячный контроль проводит бюро планирования и анализа технологической подготовки ОГТ, по результатам которого главный технолог корректирует планы будущего месяца и готовит представление для поощрения (в виде премии) или наказания исполнителей.

## Глава 8

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чтобы завоевать позиции на рынке товаров, восстановительное производство должно достичь и поддерживать нормативный уровень качества выпускаемых деталей, а для большей эффективности своей работы – непрерывно уменьшать удельный расход производственных ресурсов. Это обеспечивается путем повышения технического уровня производства за счет совершенствования средств восстановления деталей при их полной загрузке, внедрения новых ТП и передовой организации труда.

Информационной базой для улучшения производства служат сведения о качестве своей отремонтированной (восстановленной) продукции, в том числе о ее послеремонтной наработке.

*Качество ремонта (восстановления)* выявляется с помощью четырех групп сведений:

- результатов контроля ремонтируемых объектов во время их испытания и анализа выявленных дефектов;
- группирования дефектов, обнаруженных пользователем техники в гарантийный период;
- данных о послеремонтной наработке и отказах в подконтрольной эксплуатации;
- изучения повреждений ремонтного фонда, поступившего в ремонт.

Наибольший объем информации дают сведения первых трех групп.

Директивное требование к надежности отремонтированной техники заключается в обеспечении 80%-ной послеремонтной наработки этой техники по сравнению с новыми изделиями. В свою очередь, надежность отремонтированного агрегата в значительной мере зависит от долговечности составляющих сборочных единиц и деталей. Требование конкретизировано нормативной документацией в части значений параметров отремонтированных агрегатов, восстановленных деталей и их элементов.

Практика ремонта показывает, что в количественном отношении выполняется меньше половины указанных требований. Наиболее полно значения параметров выдерживаются при централизованном восстанов-

лении распределительных валов, поршней и шатунов, отличающемся наилучшей организацией. У блоков цилиндров, например, выдерживается 54 % параметров, у гильз цилиндров 66 %, у головок цилиндров 25 %, поршневых пальцев и толкателей по 50 %, коленчатых валов 31 %, клапанов 66 %, маховиков 20 %. Наиболее полно выполняются требования к размерам, форме и шероховатости при обработке шеек валов, но с нормативной точностью обрабатываются только 56 % отверстий. Часть геометрических параметров восстановленных деталей, влияющих на послеремонтную наработку агрегата, вообще осталась вне поля зрения разработчиков нормативной документации (например, отклонение от перпендикулярности и пересечения осей коренных опор блока цилиндров и отверстий под гильзы).

Остаточная загрязненность поверхностей превышает допустимую в 5 и более раз. Динамическая и смешанная неуравновешенность движущихся частей до 1,5...2 раз превосходит нормативную.

Отремонтированные сборочные единицы и агрегаты характеризуются: точностью замыкающих линейных и угловых размеров, определяющих фактические зазоры, натяги и перекосы в сопряжениях; сборочными моментами и усилиями; приработанностью поверхностей; динамической и смешанной уравновешенностью; функциональными выходными параметрами (показателями назначения). Если соблюдаются нормативные значения замыкающих размеров в сопряжениях гильза цилиндра – поршень, поршень – поршневой палец, шатун – поршневой палец, отверстия во вкладышах – шейки коленчатого вала, отверстие во втулках – шейка распределительного вала и отверстие – направляющая втулка клапана, то не выдерживаются нормативные зазоры в сопряжениях длина коренной шейки – ширина коренной опоры с упорными шайбами, шестерни коленчатого и распределительного валов, длина гильзы цилиндра – высота блока цилиндров, тепловой зазор в стыке поршневых колец, отверстие – толкатель, отверстие – стержень клапана и натяги в сопряжениях отверстие – седло клапана. Сборочные моменты при затяжке резьбовых соединений находятся в нормативных пределах только у 30...70 % сопряжений. Сборочные усилия, как правило, не контролируются.

Функциональные выходные параметры (показатели назначения) отремонтированных агрегатов (давление и расход сред, мощность, скорость и др.) соответствуют нормативам, однако эксплуатационный темп их изменения в худшую сторону превышает соответствующий темп изменения в машинах, введенных в эксплуатацию после их первичного изготовления.

Из-за отсутствия механизированных средств ударным способом снимают ступицы коленчатого вала, головки и гильзы цилиндров, крышки коренных подшипников и шатунов, клапаны и другие детали, что приводит к трещинам, отколам, забоинам и погнутости этих деталей.

Физико-механические свойства рабочих поверхностей зависят от состава и структуры восстановительного покрытия, его термической обработки и заключительных операций обработки. В ремонте, например, практически не решена проблема восстановления плоских торцев коренных опор блока цилиндров и шатунов и стыка гильзы цилиндра.

Ряд апробированных в производстве способов восстановления деталей до номинальных размеров в настоящее время не применяется по причине дороговизны используемых материалов.

Дефекты, не замеченные во время приемочных испытаний, но выявленные в эксплуатации, могли бы быть обнаружены более точным испытательным оборудованием. Необходима разработка принципиально нового оборудования для послеремонтного диагностирования, обеспечивающего безразборное объективное нахождение неисправностей и определение остаточного ресурса сопряжений. Это, в частности, относится и к определению течей в стенках и стыках корпусов, составляющих объемы водяной и масляной систем агрегатов.

Мероприятия, обеспечивающие нормативный уровень качества, сводятся к действию системы качества и совершенствованию средств ремонта.

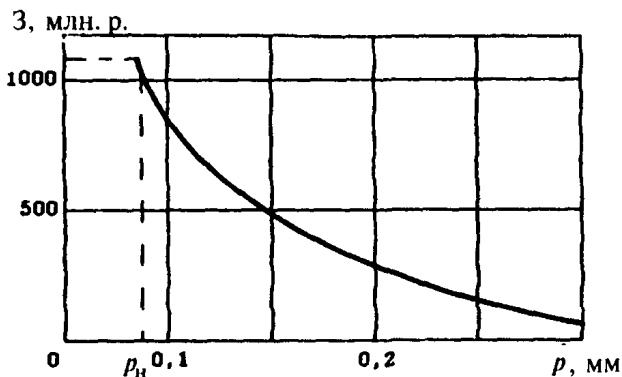
Каждый завод, заинтересованный в качестве своей продукции, должен создать и реализовать программу обеспечения качества ремонта (восстановления), направленную на выявление причин недостаточной послеремонтной наработки продукции и выработку корректирующих воздействий. Программа разрабатывается на длительный период времени, части ее входят в годовые планы внедрения новой техники и организационно-технических мероприятий завода. Программа включает разделы по: совершенствованию разборочно-очистных процессов, определению технического состояния, восстановлению и комплектованию деталей, узловой и общей сборке, окрашиванию, обкатке и испытанию агрегатов и машин, организации ремонта. Форма программы применительно к совершенствованию основных ТП при ремонте агрегатов (восстановлении деталей) представлена в табл. 8.1. Реализация этих мероприятий с целью обеспечения каждого нормативного требования к качеству ремонта (восстановления) изделий связана с начальным (на стадии технологической подготовки производства) и текущим (в процессе самого производства) расходом ресурсов.

### 8.1. Программа обеспечения качества ремонта агрегатов (восстановления деталей) на \_\_\_\_\_

(название завода)

Параметры				Причина несоответствия значений фактических параметров нормативным значениям	Корректирующие действия	
Наименования	Размерность	Норматив	Фактическое значение		Содержание	Затраты, р.
1	2	3	4	5	6	7

Кривые изменения затрат на обеспечение отдельных точностных параметров имеют вид гипербол. Даже небольшое ужесточение точности восстанавливаемых параметров требует модернизации или замены средств технологического оснащения, что связано со значительными финансовыми затратами (рис. 8.1).



**Рис. 8.1. Зависимость  $Z$  на обеспечение биения  $p$  поверхности отверстия в картере сцепления относительно поверхности коренных опор блока цилиндров (нормативное значение  $p_n = 0,08$  мм)**

Таким образом, цена качества ремонта складывается из затрат на создание и функционирование системы обеспечения качества ремонта, подготовку производственного персонала, обеспечение средствами ремонта необходимой точности и средствами измерений и контроля. Наибольшие финансовые вложения связаны с совершенствованием материальной базы ремонта, в которую входят технологическое оборудование (созданное в собственном вспомогательном производстве и приобретенное), технологическая оснастка, испытательные и контрольные средства. Расчеты показывают, что достижение нормативной послеремонтной наработки требует вложений в действующее производство денежных средств в раз-

мере выручки от реализации товарной продукции, выпущенной в течение полугода-полутора лет.

*Технический уровень восстановительного производства* – это характеристика его технического совершенства. Этот показатель оценивают путем сопоставления достигнутых значений установленных показателей с их базовыми значениями. Высокого технического уровня добивается то производство, которое располагает разнообразными современными технологиями и оборудованием для их реализации.

Показатели технического уровня восстановительного производства: себестоимость продукции; годовой выпуск продукции на 1 р. основных производственных фондов, на одного работающего, рентабельность.

До 80...90 % трудоемкости ремонта приходится на участки разборки, очистки, определения технического состояния деталей, восстановления деталей, а также сборки и обкатки агрегатов, которые определяют специфику и технический уровень ремонтного производства.

Повышение технического уровня разборочно-очистных процессов представляет одну из ключевых проблем ремонта.

Необходим переход от стационарно-постовой к поточной организации разборки, что повысит качество и производительность труда и позволит использовать механизированные средства. В результате будет исключена ручная (посредством ударов) разборка прессовых соединений, повреждающая детали. Для сохранения остаточного ресурса деталей и сборочных единиц требуется внедрить маркирование и прослеживаемость деталей, элементы необезличенного ремонта и применения механизмов для узловой разборки со статическим приложением нагрузки к деталям разъединяемых сопряжений.

Чистота поверхностей деталей обеспечивается в результате надлежащего отделения эксплуатационных и технологических загрязнений с учетом разнообразия их свойств. Наименьший расход материалов и энергии обеспечивает применение системы оборудования погружного типа для очистки внутренних и наружных поверхностей деталей от маслогрязевых и асфальтосмолистых загрязнений с непрерывной фильтрацией очистного раствора и машин ударно-диспергирующего типа для очистки поверхностей деталей от нагара и накипи. Очистные операции на ряде заводов являются самыми непривлекательными и тяжелыми, что объясняется тепловыделением от очистных машин, большой трудоемкостью загрузки, укладки и снятия детали и большой влажностью воздуха в помещении. На этих операциях требуется улучшение условий труда.

В производство следует внедрить эффективные средства для очистки и контроля герметичности каналов масляной системы.



Необходимы разработка и внедрение многошпиндельных гайковертов для разборки групп резьбовых соединений. Гайковерты должны проектироваться из унифицированных блоков. Разборка прессовых соединений должна быть полностью оснащена прессово-разборочными механизмами. Прессово-разборочные механизмы стационарного типа наиболее эффективны при поточной организации труда на постах узловой разборки. Технический уровень разборочного оборудования определяется давлением энергоносителей и частотой потребляемого тока. Нужны исследования по определению оптимального сочетания разборочных и очистных воздействий на предмет ремонта.

Запас остаточной долговечности деталей, необходимый для их повторного применения, определяют на стадии выявления их технического состояния. По причине отсутствия или несовершенства средств для измерения этого параметра на восстановление направляются и те детали, которые не имеют достаточного запаса долговечности, что приводит к увеличению количества изломов деталей в эксплуатации. Технический уровень контрольно-сортировочного оборудования недостаточен. Это относится главным образом к оборудованию для определения течей в стенках и стыках и усталостных трещин в поверхностном слое металла.

Применяемое оборудование для определения трещин в шейках валов и теле деталей типа шатуна не обеспечивает объективного контроля. Наиболее актуально создание средств для определения опасных усталостных трещин на шейках чугунных коленчатых валов. При определении трещин с помощью промышленных магнитно-люминесцентных или токовых средств невозможно обнаружить опасные трещины в основном металле детали среди наплавочных трещин в нанесенном покрытии. Оборудование для обнаружения течей сквозь стенки корпусных деталей устроено таким образом, что при создании замкнутого объема, в который вводят пробное вещество, стыковые поверхности детали соприкасаются с герметизируемыми плитами. Трещины, выходящие на стыковые поверхности, закрываются и не могут быть обнаружены.

В производстве по восстановлению деталей должны быть сконцентрированы прогрессивные процессы создания припусков на восстанавливаемых поверхностях.

Большая доля ремонтных работ связана с обработкой отверстий. В большинстве случаев поверхности отверстий должны быть обработаны с точностью до шестого качества и шероховатостью до  $Ra\ 0,32\ \text{мкм}$ . Кроме того, в корпусных деталях поверхности отверстий выполняют функции элементов, ориентирующих между собой сопрягаемые детали. Взаимное расположение поверхностей различных деталей определяет величину линейных и угловых замыкающих размеров, недопустимые значе-

ния которых приводят к нерасчетным режимам смазки, паразитным нагрузкам в сопряжениях и циркуляции мощности в кинематических контурах. Эти явления вызывают снижение послеремонтной наработки агрегатов и перерасход топлива и масла.

Точной обработке подлежат, например, отверстия: в коренных опорах, втулках распределительного вала, под гильзы и толкатели в блоках цилиндров двигателей, в верхней и нижней головках шатуна, под поршневой палец в поршне и др. Анализ применяемого в ремонтном производстве расточного оборудования, например станков 2Е78, РД-2, РД-53 и КИ-14574, показывает невозможность получения параметров отверстий, установленных нормативной документацией. Нормативную точность обработки обеспечивают расточные станки повышенной точности Одесского и Самарского станкозаводов.

Процессы механической обработки восстанавливаемых деталей в большинстве случаев копируют соответствующие процессы машиностроения. К механической обработке в ремонте должны быть иные подходы, чем в машиностроении, по причине различий исходных заготовок. Скорость резания при лезвийной обработке достигает 80 м/мин, а при абразивной 50 м/с, что в 1,5...2 раза меньше, чем в передовых отраслях машиностроения.

Для одних и тех же деталей рекомендуется много разных способов восстановления, в то время как каждому способу ставится в соответствие необоснованно большая номенклатура деталей. Рекомендации о применении различных способов восстановления не согласованы с объемами производства. Низкое качество восстановительных покрытий объясняется несоответствием действительных и расчетных значений технологических режимов протекающих процессов, что, в свою очередь, связано с отсутствием или большой погрешностью приборов, контролирующих значения технологических параметров, и несовершенством оборудования.

К снижению ресурса отремонтированной техники приводит статическая и динамическая неуравновешенность вращающихся и поступательно движущихся ее частей. Точность распространенных в ремонте балансировочных машин БМ-4У и КИ-4274 не отвечает современным требованиям. Нормативную точность балансировки обеспечивают станки МС-9715 и МС-9716, работающие в резонансном режиме. При ремонте агрегатов необходимо балансировать не только их валы, но и сами агрегаты в сборе.

Недостаточная точность замыкающих размеров при групповой сборке сопряжений объясняется отсутствием или малой точностью измерительных средств. К недостающим средствам относят индикаторы с делением 1...2 мкм и средства пневматического контроля. Наиболь-

шие трудности представляет обеспечение замыкающих размеров, которые устанавливаются подгонкой или подбором компенсирующих элементов. Необходимо организовать непрерывно восполняемый до сменного объема запас компенсирующих элементов и иметь индикаторные средства для определения размеров этих элементов.

Точность затяжки резьбовых соединений достигается внедрением предельных и динамометрических ключей и устройств к сборочным машинам для кинематического отключения привода при достижении установленного крутящего момента и стендов для контроля и поверки инструмента, используемого при сборке резьбовых соединений.

Разработка единого методологического подхода в ремонтном производстве к созданию системы СТО обеспечивает экономически обоснованное и технически оправданное количество типов технических устройств и их модулей. Это ведет к уменьшению времени на создание техники, упрощает ее обслуживание и ремонт. Необходим системный подход к проектированию функционально связанных СТО.

Средства, процессы и методы, предлагаемые для внедрения в ремонтное производство в результате его технологической подготовки, и их сравнение с действующими объектами и процессами приведены в табл. 8.2. Около половины эффекта от применения предлагаемых технических решений дают мероприятия по восстановлению деталей, а остальную долю – мероприятия по определению технического состояния деталей, совершенствованию разборочно-очистных, обкаточно-испытательных и комплектовочно-сборочных процессов.

## 8.2. Действующие в ремонтном производстве средства, процессы и методы и предлагаемые для внедрения в результате технологической подготовки

Технические объекты и процессы, методы		Источник получения эффекта
базовые	предлагаемые	
1	2	4

### *Разборочно-очистной участок*

Оборудование для струйной очистки	Оборудование для погружной очистки с активацией очистного раствора	Повышение качества и производительности очистки
Ручной сбор метизов	Ленточный конвейер для сбора и перемещения метизов	Уменьшение затрат живого труда

Продолжение табл. 8.2

1	2	4
Машины для барабанной очистки метизов с ручными загрузкой и выгрузкой	Барабанно-шнековая машина для очистки метизов с их автоматической разгрузкой	Повышение качества и производительности очистки
Разборка на стационарных стендах или эстакаде	Подразборка и общая разборка на линейном конвейере	Уменьшение затрат живого труда
	Оптимальное сочетание разборочных и очистных воздействий	Повышение качества и производительности воздействий
Гайковерты для ручной разборки	Гайковерты для одновременной разборки групп соединений	Уменьшение затрат живого труда
Ручная разборка посредством ударов	Средства блочно-модульного типа для узловой разборки прессовых соединений	
Машины для очистки в растворах лабонида и потоком косточковой крошки	Машины для отделения прочных загрязнений от поверхностей деталей в расплаве солей, потоком стеклянных шариков, в растворе кислот	Повышение качества и производительности очистки
Средства для очистки сред отстаиванием	Средства для регенерации очистных сред флотацией, коагуляцией, фильтрованием	

*Сортировочный участок*

Универсальные средства	Машины для полуавтоматической сортировки деталей — тел вращения; машины для пневмоконтроля отверстий в корпусных деталях и гильзах; машины для комплексных измерений параметров деталей; машины для полуавтоматической сортировки пружин по критерию их жесткости	Повышение производительности труда, использование остаточной долговечности деталей ремонтного фонда, уменьшение расхода запасных частей
------------------------	---	---

Продолжение табл. 8.2

1	2	4
<i>Участок восстановления деталей</i>		
Единичные машины индивидуального проектирования	Машины блочно-модульной компоновки для нанесения покрытий на поверхности основных и базовых деталей	Уменьшение времени и затрат на создание машин
	Машины с новыми схемами базирования деталей при механической обработке	Уменьшение трудоемкости механической обработки, повышение точности расположения поверхностей
Недостаточное количество используемых видов процессов создания ремонтных заготовок	Внедрение современных прогрессивных процессов и технологических машин по нанесению покрытий и пластическому деформированию материала	Повышение качества и производительности восстановления деталей

*Инженерные службы завода*

Применение методов проектирования единичных машин и единичных и типовых процессов	Применение системы методов проектирования машин и процессов: структурно-параметрический метод синтеза исполнительных агрегатов (модулей) и их рядов, компоновка технологических машин и планировка производственных участков	Уменьшение объема проектных работ, уменьшение трудоемкости изготовления технологических машин и объема технологической подготовки ремонтного производства, повышение качества создаваемых машин
---	--	---

Использование СТО, ТП и форм организации, изложенных в справочнике, будет способствовать повышению технического уровня и эффективности восстановительного производства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батищев А.Н., Голубев И.Г., Лялякин В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники. М.: Информтехиздат, 1995. 296 с.
2. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. М.: Колос, 1981. 351 с.
3. Ворошинин Л.Г., Пантелеев Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. Минск: ФТИ, Новополоцк: ПТУ, 1999. 133 с.
4. Дорожкин Н.Н., Гимельфарб В.Н. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин. Минск: Ураджай, 1987. 140 с.
5. Есенберлин Р.Е. Восстановление автомобильных деталей сваркой, наплавкой и пайкой. М.: Транспорт, 1994. 320 с.
6. Газотермические покрытия из порошковых сплавов: Справочник / Ю.Н. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. Киев: Наукова думка, 1987. 544 с.
7. Иванов В.П. Разработка и обоснование технологического процесса восстановления деталей на специализированном предприятии // Технология металлов. 2001. № 9. С. 28–31.
8. Иванов В.П. Организация восстановления изношенных деталей машин // Восстановление, ремонт, модернизация. 2002. № 6. С. 2–7.
9. Ивашко В.С., Куприянов И.Л., Шевцов А.И. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий. Минск: Навука і тэхніка, 1996. 375 с.
10. Иващенко С.А., Фролов И.С., Мрочек Ж.А. Газотермические и вакуумно-плазменные покрытия со специальными физико-механическими свойствами. Минск: УП «Технопринт», 2001. 236 с.
11. Какуевникий В.А. Ресурсосберегающие технологии восстановления деталей автомобилей. М.: Транспорт, 1993. 176 с.
12. Лившиц Л.С., Гринберг Н.А., Куркумелли Э.Г. Основы легирования наплавленного металла: Абразивный износ. М.: Машиностроение, 1969. 188 с.
13. Лялякин В.П. Методы повышения ресурса деталей дизельных двигателей при их восстановлении: Дисс. д-ра техн. наук: 05.20.03. М.: ВНИИТУВИД, 1996. 54 с.
14. Молодых Н.В., Зекин А.С. Восстановление деталей машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1989. 480 с.
15. Наплавочные материалы стран – членов СЭВ: Каталог / Под ред. И.И. Фрумина, В.Б. Еремина. Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1979. 620 с.
16. Пантелеев Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия из них. Минск: УП «Технопринт», 2001. 300 с.
17. Поляк М.С. Технология упрочнения: Технол. методы упрочнения: В 2-х т. Т. 1. М.: Л.В.Т. – Скрипт, Машиностроение, 1995. 852 с.
18. Поляк М.С. Технология упрочнения: Технол. методы упрочнения: В 2-х т. Т. 2. М.: Л.В.Т. – Скрипт, Машиностроение, 1995. 688 с.
19. Рудик Ф.Я., Элькин С.Ю., Кузнецов В.Ф. Электромеханическая обработка клапанных пружин // Вестник машиностроения. 2001. № 1. С. 22–24.
20. Рыжов Э.В., Клименко С.А., Гуцаленко О.Г. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями. Киев: Наукова думка, 1994. 180 с.
21. Схиртладзе А. Г. Технология восстановления корпусных деталей // Технология металлов. 2001. № 12. С. 30 – 33.
22. Схиртладзе А.Г. Технология восстановления гладких и шлицевых валов // Ремонт, восстановление, модернизация. 2002. № 5. С. 18–21.
23. Тельнов Н.Ф. Технология очистки сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1983. 256 с.

24. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, А.Ф. Ильющенко и др. Минск: Беларуская навука, 1998. 583 с.
25. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахнебадба. М.: Машиностроение, 1980. 783 с.
26. Технологии размерно-чистовой и упрочняющей обработки: Учебн. пособие для студентов техн. спец. вузов / П.С. Чистосердов, Б.П. Чеминов, Л.М. Кожуро, Л.М. Акулович. Минск: Университетское, 1993. 188 с.
27. Точение износостойких защитных покрытий / С.А. Клименко, Ю.А. Муковоз, Л.Г. Полонский, П.П. Мельничук. Киев: Техніка, 1997. 146 с.
28. Точность и производственный контроль в машиностроении: Справочник / И.И. Балонкина, А.К. Кутай, Б.М. Сорочкин, Б.М. Тайц; Под общ. ред. А.К. Кутая, Б.М. Сорочкина. Л.: Машиностроение, 1983. 368 с.
29. Хромов В.Н., Сенченков И.К. Упрочнение и восстановление деталей машин термоупругопластическим деформированием. Орел: Изд-во ОГСХА, 1999. 221 с.
30. Черноиванов В.И. Организация и технология восстановления деталей. М.: Агропромиздат, 1989. 336 с.
31. Усков В.П. Справочник по ремонту базовых деталей двигателей. Брянск, 1998. 589 с.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

**Агрегат исполнительный технологической машины** 51

- основной 51
- вспомогательный 51

**Адсорбция ПАВ** 94

**Азотирование** 497

**Асфальтены** 90

**Аттестация производства** 637

**Базирование адаптивное** 460

**Базы**

- выбор 460
- технологические 458

**Безошибочность контроля** 478

**Бор** 149

**Борирование** 497

**Валы** 581

**Вдавливание** 398

**Вкладыши подшипников** 587

**Восстановление деталей**

– источники экономической эффективности 35

- критерий оптимизации 557
- определение 33
- структура процесса 26
- технические требования 26
- централизованное 618

**Восстановление**

- взаимного расположения 511
- жесткости 542
- формы 401
- массы 546

– прочности 527

– размеров 395, 512

– уравновешенности 548

– усталостной прочности 537

– шероховатости 517

**Вставки спиральные** 391

**Вставки фигурные** 392

**Выглаживание** 405

**Выпрямитель инверторные** 261

**Вытяжка** 398

**Выход по току** 409

**Герметичность** 126, 527

**Главная задача ремонтного производства** 32

**Деталь**

– определение 14

– состояния 14

– – исправное 14

– – неисправное 14

– – работоспособное 14

– – неработоспособное 14

– – предельное 14

**Детали корпусные** 574

**Дефектоскоп ультразвуковой** 121

**Деформация детали** 117

**Деформирование материала пластическое** 393

– виды 399

– механическое 399

– область применения 395

– расчет значений технологических режимов 395

**Деформирование термопластическое** 399

- Диски сошников и лушильников 603
- Диспергирование 95
- Диссоциация электролитическая 407
- Дифференциация операций 613
- Долговечность деталей остаточная 35
- Дополнительные ремонтные детали 385
  - закрепление заклепками или винтами 389
  - – клееварным способом 390
  - – натягом 386
  - – пастообразным припоем с приложением импульсов тока 390
  - – полудой 390
  - – раскатыванием 388
  - – сваркой 389
  - – силами упругости и упорами 391
  - – электрозаклепками 390
- Дробление механическое 105
- Дуга электрическая 233
- Железные 424
- Жесткость детали 543
- Жидкости смазывающе-охлаждающие 476
- Заготовка
  - исходная 26
  - ремонтная 26
  - – определение 136
  - – классификация способов создания 138
  - – анализ затрат 449
  - – структура затрат 448
- Загрязнения деталей
  - эксплуатационные 87
  - технологические 87
  - минеральные 88
  - органические 88
- Закалка 488
- Измерение линейных размеров поверхностей
  - наружных 480
  - внутренних 480
- Изнашивание 520
  - механическое 21
  - – абразивное 21
  - – кавитационное 23
  - – усталостное 22
  - – при заедании 23
  - коррозионно-механическое 24
  - – фреттинг-коррозия 24
  - – эрозийное 25
- Износ 520
- Износостойкость 520
- Испытания продукции
  - предварительные 633
  - приемочные 633
  - квалификационные 633
  - приемосдаточные 633
  - периодические 633
- Источники питания 253
- Источники тепла
  - тепловая мощность 231
  - газовое пламя 231
  - электрическая дуга 233
  - плазма 237
  - индукционный нагрев 239
  - искровой разряд 239
  - электронный луч 240
  - лазерное излучение 240
  - процессы трения 241
  - прохождение тока 241
- Калибрование отверстий 405
- Карбены 90
- Карбоиды 90
- Качество восстановления 656
- Клапаны 594
- Клеи 533
- Коагуляция 103
- Контроль линейных размеров 117
- Контроль магнитопорошковый 119
- Колеса зубчатые 595
- Комплект технологической документации 572
- Компонование технологических машин 74
- Композиции эпоксидные 527
- Концентрация операций 613
- Концепция качества 628
- Коромысла 590
- Коррозия поверхностей 117
- Кремний 158
- Лапы культиваторные 599
- Лемеха плужные 598
- Лента
  - стальная наплавочная 169
  - порошковая 213
  - спеченная металлокерамическая 222
- Лужение 443
- Марганец 159
- Маркетинг 643
- Маркирование продукции 633
- Масла 90
- Масса загрязнений допустимая остаточная 105
- Материал 90
  - основной 143
  - вспомогательный 143
- Машинна струйная 106
- Машина погрузная 107



**Мероприятие**

- предупреждающее 635
- корректирующее 635

**Метод средних и размахов 515****Модуль функциональный 51****Нагар 90****Накатка поверхности 398****Накипь 90****Наклеп материала**

- определение 402
- ротационным упрочнителем 404

**Наплавка**

- определение 271
- аргонодуговая 297
- вибродуговая 298
- в среде защитных газов 293
- газопорошковая 324
- импульсно-дуговая 302
- индукционная 318
- лазерная 312
- лежачим электродом 286
- многоэлектродная 286
- намораживанием 322
- открытой дугой самозащитными ма-

**териалами 297**

- плазменная 302
- – с тепловым насыщением 307
- по слою порошка 287
- ручная электродуговая 279
- самозащитными материалами 297
- электродуговая под слоем флюса 280
- электромагнитная 311
- электроионо-лучевая 316
- электрошлаковая 290

**Напекание центробежное индукционное 578****Наполнители 529****Напыление**

- определение 337
- технологический процесс 341
- вакуумное конденсационное 372
- газопламенное 354
- – активированное 356
- детонационное 366
- индукционное 371
- микроплазменное 364
- плазменное 358
- последующая упрочняющая обра-

**ботка 378**

- с оплавлением 365
- электродуговое 347
- – активированное 352

**Наследственность технологическая 29****Настройка размерная**

- динамическая единичная 513
- динамическая на партию 514

**Науглероживание 495****Непрерывность производства 614****Неуравновешенность детали**

- статическая 548
- динамическая 550
- смешанная 551

**Никель 158****Никелирование 441****Обезвреживание отходов гальванического производства 439****Обезуглероживание 492****Обжатие 397****Обкатывание 402****Обнаружение поверхностных трещин 118****Оборудование технологическое**

- универсальное 42
- специализированное 43
- специальное 43
- перестраиваемое 44
- переналаживаемое 44
- гибкое 44

**Обработка механическая 456**

- абразивная 469
- лезвийная 465

**Обработка дробеструйная 404****Обработка термомеханическая 494****Обработка электрохимическая 406****Обработка электроискровая 379****Объем здания 608****Объем технологического потолка 608****Обслуживание техническое 32****Организация организационные 606****Окисление 492****Оксидирование**

- химическое 443
- электрохимическое 445
- микродуговое 430

**Окснкислоты 90****Оплавление покрытий 365****Определение технического состояния исходных заготовок 116****Организация контроля качества 638****Организация процессов 606****Осадка 396****Оси 581****Оснастка технологическая 42****Отвердители 528**

# Ответственность за качество

- рабочего 630
- мастера 630
- начальника цеха 631
- начальника ОТК 631
- главного бухгалтера 631
- главного инженера 631
- заместителя директора 631
- директора 631

# Отжиг I рода 486

# Отжиг II рода 488

# Отклонения

- от круглости 118
- взаимного расположения поверхностей 118

# Отложения

- асфальтосмолистые 90
- лаковые 90

# Отставание 103

# Очистка потоком

- косточковой крошки 111
- стеклянных шариков 111

# Пасты герметизирующие 539

# Пламя газовое 231

# Планирование качества 625

# Пластичность материала 394

# Пластификаторы 528

# Пленки оксидно-фосфатные 445

# Повреждения деталей

- внутренние 117
- наружные 117
- деформации 117
- изломы 117
- износы 117
- коррозия 117
- пробоины 117
- усталостные 117

# Погрешности взаимного расположения 512

# Погрешности

- систематические 512
- случайные 512

# Подача электролита

- газолитная 435
- под напором 435
- эжекторная 436

# Подвал технологический 610

# Показатели качества

- единичные 81
- комплексные 81
- интегральный 81
- назначения 79

- надежности 80

- экономические 81

# Покрытие

- определение 137
- толщина 456
- гомогенное 145
- композиционное 145, 429
- электродное 176

# Поликристаллические сверхтвердые материалы 466

# Полирование 475

# Пористость 365, 522

# Порошки

- диффузионно-легированные 203
- композиционные 209
- объемно-легированные 203
- самофлюсующиеся 195
- смеси механические 211
- сплавов 190
- тугоплавких соединений 203
- чистых металлов 190

# Поршни 592

# Порядок заказа специального оборудования 78

# Правка

- горячая 401
- двойная 401
- наклепом 402
- позлементная 402
- холодная 401

# Предел выносливости остаточный 537

# Приварка электроконтактная металлического слоя 326

# Принципы компоновки производственного корпуса 611

# Приспособления 42

# Притирка 475

# Проволока

- для напыления 169
- наплавочная 169
- порошковая 213
- стальная сварочная 168

# Прокладки жидкие уплотняющие 536

# Производство обслуживающее 40

# Производство вспомогательное 40

# Производство основное 39

# Производство по восстановлению деталей

- виды 40
- определение 36
- особенности 37
- признаки отличительные 37
- состав 37

- структура 37
- цель 36
- Производство ремонтное 36
- Простукивание 117
- Профилографы 519
- Профилометры 519
- Процеживание 103
- Процесс электрохимический 406
- Прочность 527
- Прочность усталостная 539
- Прослеживаемость продукции 633
- Прутки наплавочные 187
- Работа** сил трения 241
- Рабочие органы почвообрабатывающих машин 598
- Задача 397
  - механическая 399
  - термопластическая 399
  - электрогидравлическая 400
- Разряд искровой 240
- Расплав солей и щелочей 105
- Расстановка оборудования
  - в порядке следования технологических операций 609
  - по типам 609
- Растворение 92
- Растворители органические 97
- Ремонт машин 32
- Ресурс остаточный 131
- Ритмичность производства 614
- Руководство качеством 625
- Рычаги 590
- Сварка**
  - определение 241
  - классификация 241
  - газовая 244
  - – левым способом 245
  - – правым способом 246
  - электродуговая 248
  - трением 262
  - термитная 264
  - контактно-стыковая 264
  - ультразвуковая 264
  - в вакууме 264
  - деталей из углеродистых сталей 265
  - чугуновых деталей 265
  - медных сплавов 268
  - алюминиевых сплавов 268
  - свинца 271
- Свойства
  - технологические 143
  - эксплуатационные 145
- Система исполнительных агрегатов 69
- Система качества восстановления деталей
  - концепция 628
  - основные принципы 626
  - политика 629
  - цель 624
  - структура функциональная 624
  - структура организационная 624
- Система средств восстановления деталей
  - анализ 48
  - определение 47
  - синтез 48
  - – структурный 49
  - – параметрический 49
  - системный подход 50
- Слой поверхностный 137
- Смачивание 93, 115
- Смоли нейтральные 90
- Совместимость 526
- Специализация производства 615
- Способ контроля качества очистки деталей
  - смачиванием 115
  - весовой 115
  - протиранием 116
  - люминесцентный 116
- Способ
  - магнитографический 122
  - феррозондовый 122
  - капиллярный 122
  - – цветной 123
  - – люминесцентный 123
- Способы магнитные 118
- Средства растворяюще-эмульгирующие 99
- Средства технические моющие 100
- Средства технологического оснащения 41
- Стабилизация 95
- Старение материала 26
- Стекла металлические 317
- Струя плазменная 237
- Суперфиниширование 475
- Тела вращения полые 577
- Технологическая подготовка восстановительного производства
  - контроль 655
  - организация 653
  - планирование 650
  - признаки 646
  - цель 646
- Технологические расчеты
  - плазменно-порошковой наплавки 310
  - электродуговой наплавки 275
- Технологический процесс восстановления деталей

- единственный 572
- операционный 572
- маршрутный 572
- типовой 569
- групповой 569
- модульный 570
- Технология
  - маршрутная 569
  - подефектная 569
- Технический уровень восстановительного производства 660
- Точность формы 511
- Трещины
  - опасные 538
  - неопасные 538
- Углерод 157
- Угледороды хлорированные 97
- Улучшение качества 625
- Ультрафильтрация 103
- Управление качеством 625
- Управление процессами производства 632
- Уполномоченный по качеству 632
- Упрочнение деталей
  - определение 35
  - содержание 35, 402, 533
- Уравнивание производственной мощности 613
- Условия работы 149
- Фильтрование центробежное 103
- Финишная антифрикционная безабразивная обработка 523
- Фосфатирование 446
- Флюс
  - керамический 285
  - плавный 283
- Химический способ нанесения покрытий 441
- Хонингование 475
- Хром 157
- Хромирование 426
- Цианирование 497
- Цинкование 428
- Чеканка 403
- Чертеж ремонтный 571
- Шатуны 590
- Шероховатость поверхностей 517
- Шнуры 212, 213
- Электроды
  - сварочные 169
  - наплавочные покрытие 177
- Электроконтактный способ нанесения гальванического покрытия 436
- Электролиз 408
- Элементы
  - легирующие 149
  - упругие 597
- Эмульгирование 95

#### СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Паителеев Федор Иванович, Лялякин Валентин Павлович,  
Иванов Владимир Петрович, Константинов Валерий Михайлович**

#### ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Редактор *А.П. Лебедева*

Художественный редактор *Т.Н. Погорелова*

Корректор *С.В. Сидоренко*

Инженеры по компьютерному макетированию: *Т.В. Курохтина, О.В. Мочалина,  
Е.А. Плотникова, С.Н. Целуйко*

Лицензия ИД № 05672 от 22.08.2001

Сдано в набор 7.07.2003 г. Подписано в печать 5.09.03. Формат 60×88/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 41,16. Уч.-изд. л. 40,1. Тираж 2000 экз. Заказ 8642

Ордена Трудового Красного Знамени ФГУП «Издательство «Машиностроение»,  
107076, Москва, Стромынский пер., 4

Оригинал-макет изготовлен в издательско-полиграфическом центре  
Тамбовского государственного технического университета

Отпечатано в ГУП ППП «Типография «Наука» РАН, 121099, Москва, Шубинский пер., 6