

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

Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко, 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 специвлистов 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

ВВЕДЕНИЕ	11
Глава 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДСТВА ПО ВОССТА- НОВЛЕНИЮ ДЕТАЛЕЙ	14
1.1. Характеристика восстанавливаемых деталей	14
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
1.2. Содержание процесса восстановления деталей	26
1.2.1. Технические требования к восстановленным дета- лям	26
1.2.2. Структура процесса восстановления деталей	26
1.3. Место восстановительного производства в техноло- гии ремонта машины	31
1.3.1. Ремонт машин в системе содержания их в исправ- ном состоянии	31
1.3.2. Определенные понятия «восстановление» и «уп- рочнение» деталей	32
1.3.3. Восстановление деталей в процессе ремонта ма- шин	35
1.4. Состав и особенности восстановительного производ- ства	36
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
1.5. Система средств технологического оснащения вос- становительного производства	41
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
Глава 2. ИСХОДНЫЕ ЗАГОТОВКИ РЕМОНТА	87
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 поврежденных	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	136
Глава 3. РЕМОНТНЫЕ ЗАГОТОВКИ	136
3.1. Виды и применение способов создания ремонтных заготовок	136
3.1.1. Определение и назначение ремонтных заготовок ..	136
3.1.2. Классификация и общая характеристика способов создания ремонтных заготовок	138
3.2. Материалы	143
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
3.3. Источники тепла в процессах нанесения покрытий ..	230
3.3.1. Распределение источников теплов 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
3.4. Сварка в процессах создания ремонтных заготовок ..	241
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
3.5. Наплавка покрытий	271
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 намораживанием	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. Электроннолучевая обработка в процессах восстановления деталей	379
3.8.1. Сущность процесса	379
3.8.2. Применение электроннолучевой обработки в процессах восстановления деталей	380
3.8.3. Материалы	384

3.8.4. Оборудование	384
3.9. Установка и закрепление дополнительных ремонтных деталей	385
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
3.10. Пластическое деформирование материала	393
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
3.11. Электролиз в процессах создания ремонтных заготовок	406
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
3.12. Нанесение покрытий химическим способом	441
3.12.1. Нанесение металлических покрытий	441
3.12.2. Нанесение неметаллических покрытий	443
3.13. Технико-экономический анализ способов создания ремонтных заготовок	448
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
Глава 4. МЕХАНИЧЕСКАЯ, ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА В ПРОЦЕССАХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ	456
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
Глава 5. ВОССТАНОВЛЕНИЕ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ	511
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
5.4. Восстановление усталостной прочности элементов детали	537
5.5. Восстановление жесткости деталей	542
5.5.1. Содержание процесса восстановления жесткости .	542
5.5.2. Способы восстановления жесткости	544
5.6. Восстановление массы детали и ее распределения относительно осей вращения и инерции	546
5.6.1. Восстановление массы детали	546
5.6.2. Восстановление распределения массы детали относительно осей вращения и инерции	547
5.7. Основы упрочнения элементов восстанавливаемых деталей	553
Глава 6. ВЫБОР ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УНИФИКАЦИЯ	557
6.1. Выбор и оптимизация способа восстановления детали	557
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
6.2. Направления технологической унификации процессов восстановления деталей	569
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
6.3. Восстановление типовых деталей	574
6.3.1. Корпусные детали	574
6.3.2. Полюса 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 почворезущих машин	598

Глава 7. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ	606
7.1. Задачи и принципы организации процессов восстановления деталей	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
7.2. Централизованное восстановление деталей	618
7.3. Организация системы качества восстановления деталей	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
7.4. Организация маркетинговой и технологической подготовки восстановительного производства	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
Глава 8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	656
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	666
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	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. Какуевичкий, 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.), Новополюцке (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 деталей, 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 одичино 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, В.В. Бойцова, Т. Опитцера, Д. Циммермана и других ученых. В ремонтном производстве применяют классификации К.Т. Кошкина и Г.А. Малышева 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.

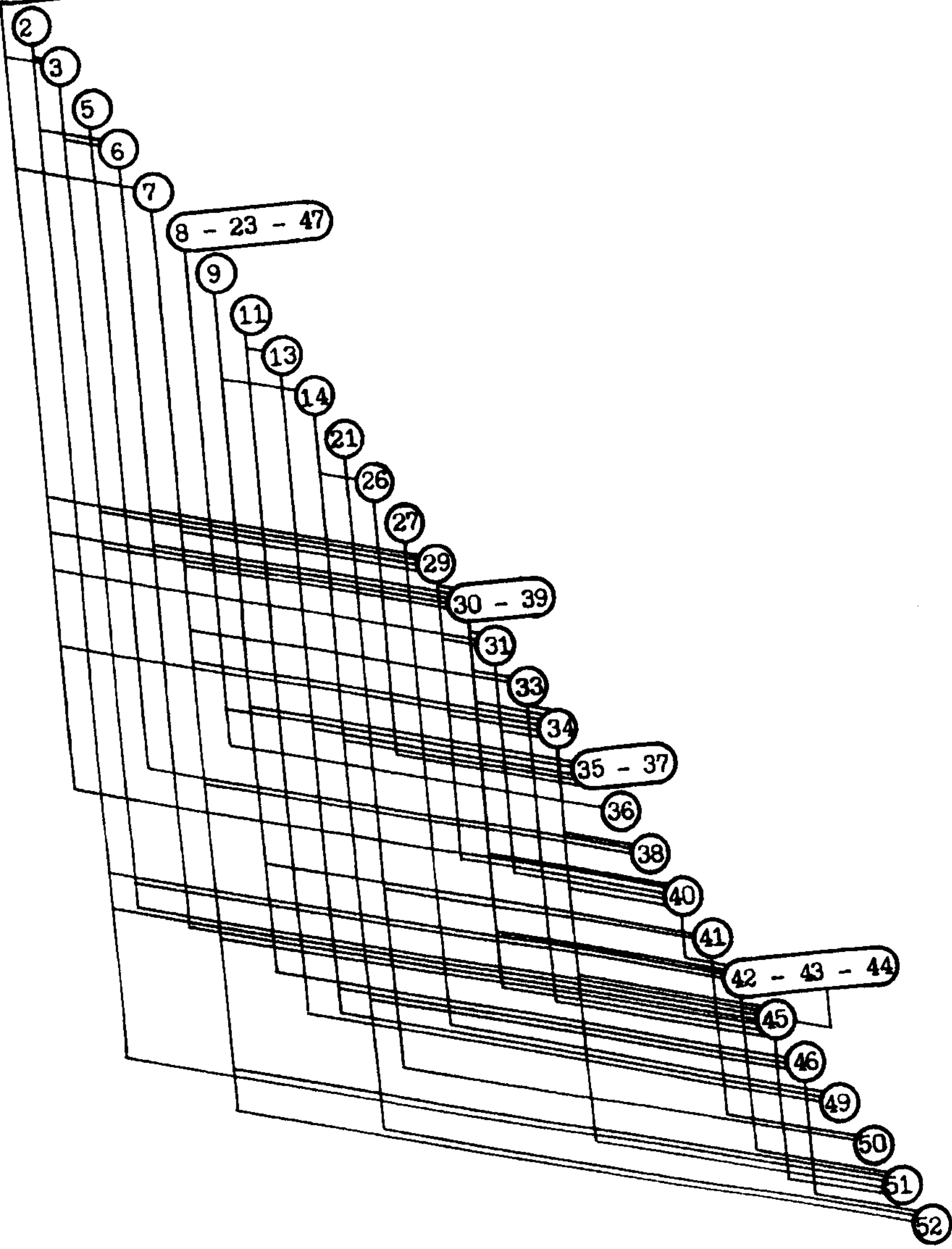
Работы по классификации ремонтируемых объектов проводят для конкретных ремонтных предприятий.

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

- 4 - 25 - 32 - 48



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, эксцентрикеров;

– 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). Элементам 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	Пробоины, 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 торцы			
Стыки	Усилия смятия 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. Основным 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 ~ 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: мелкаячеистая 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 см² 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 сопряжения 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 вернуть 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.*

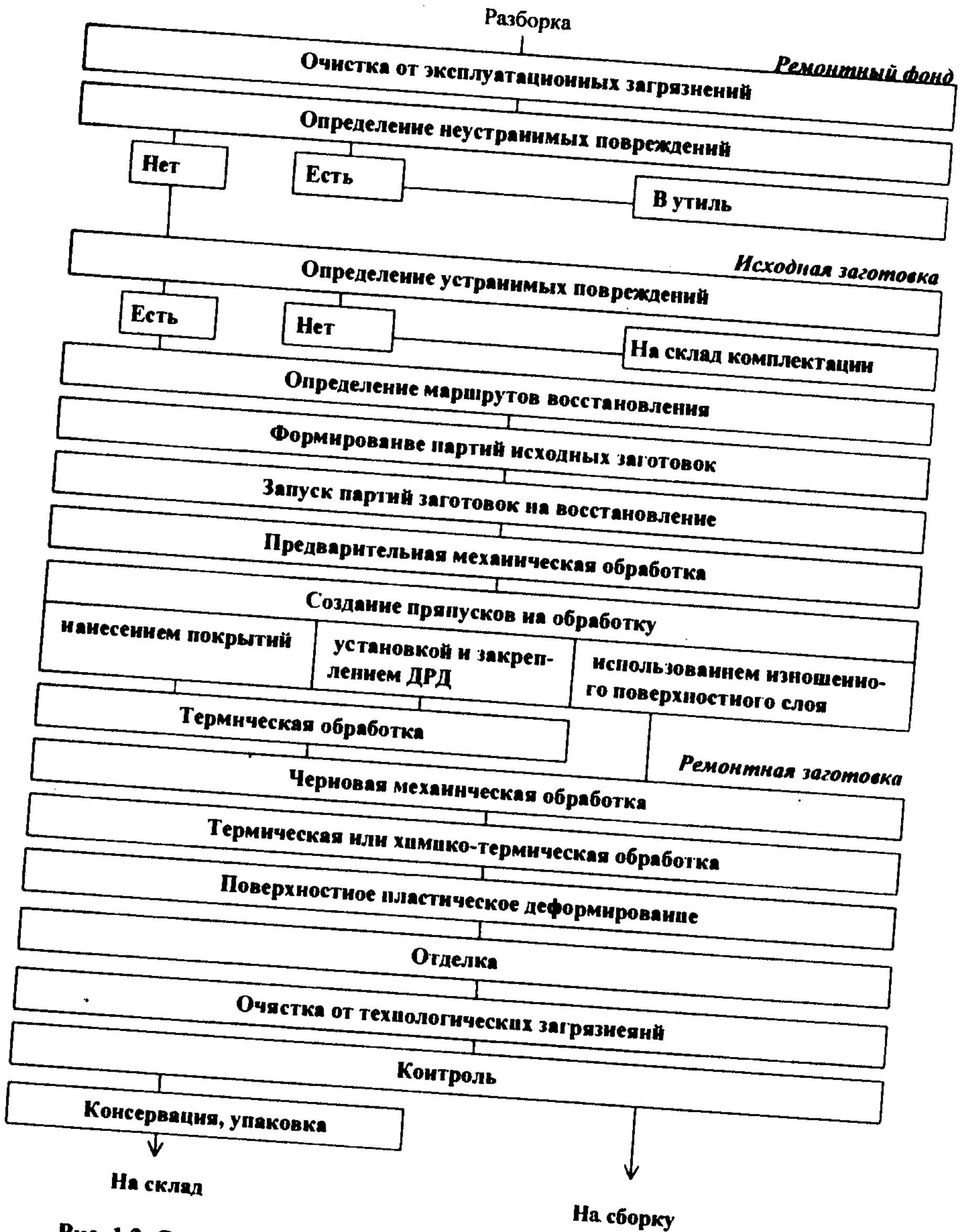


Рис. 1.2. Схема технологического процесса восстановления детали

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 устранимых 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 получаются 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 технологиче 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 машины. 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 плано-предупредительном 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 обеспечиваются 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 покрытий. В большинстве случаев после нанесения восстановительных навливать 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.

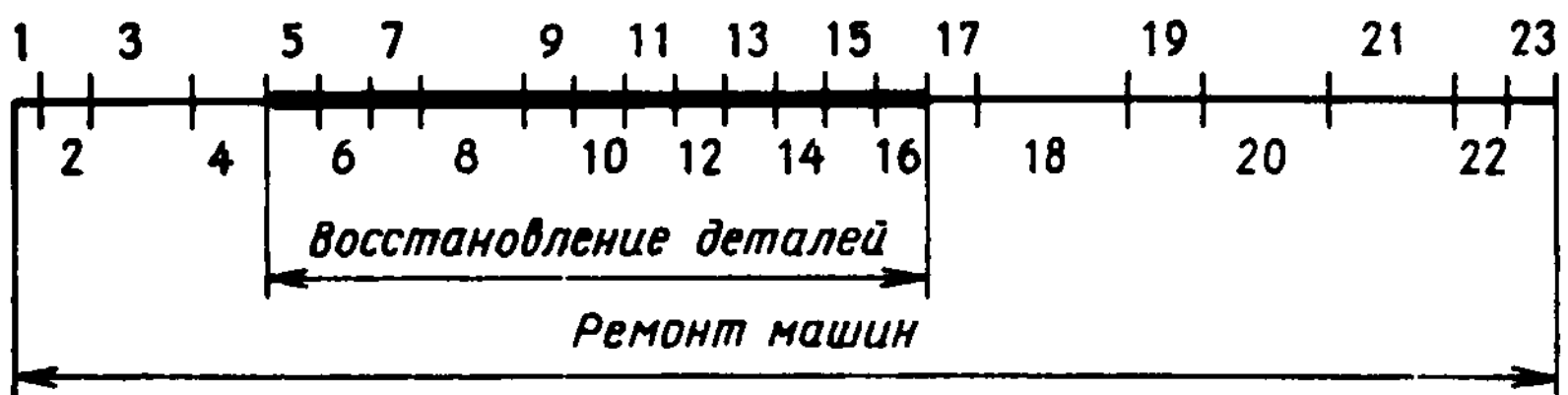


Рис. 1.3. Операции восстановления деталей в процессе ремонта машин:

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.

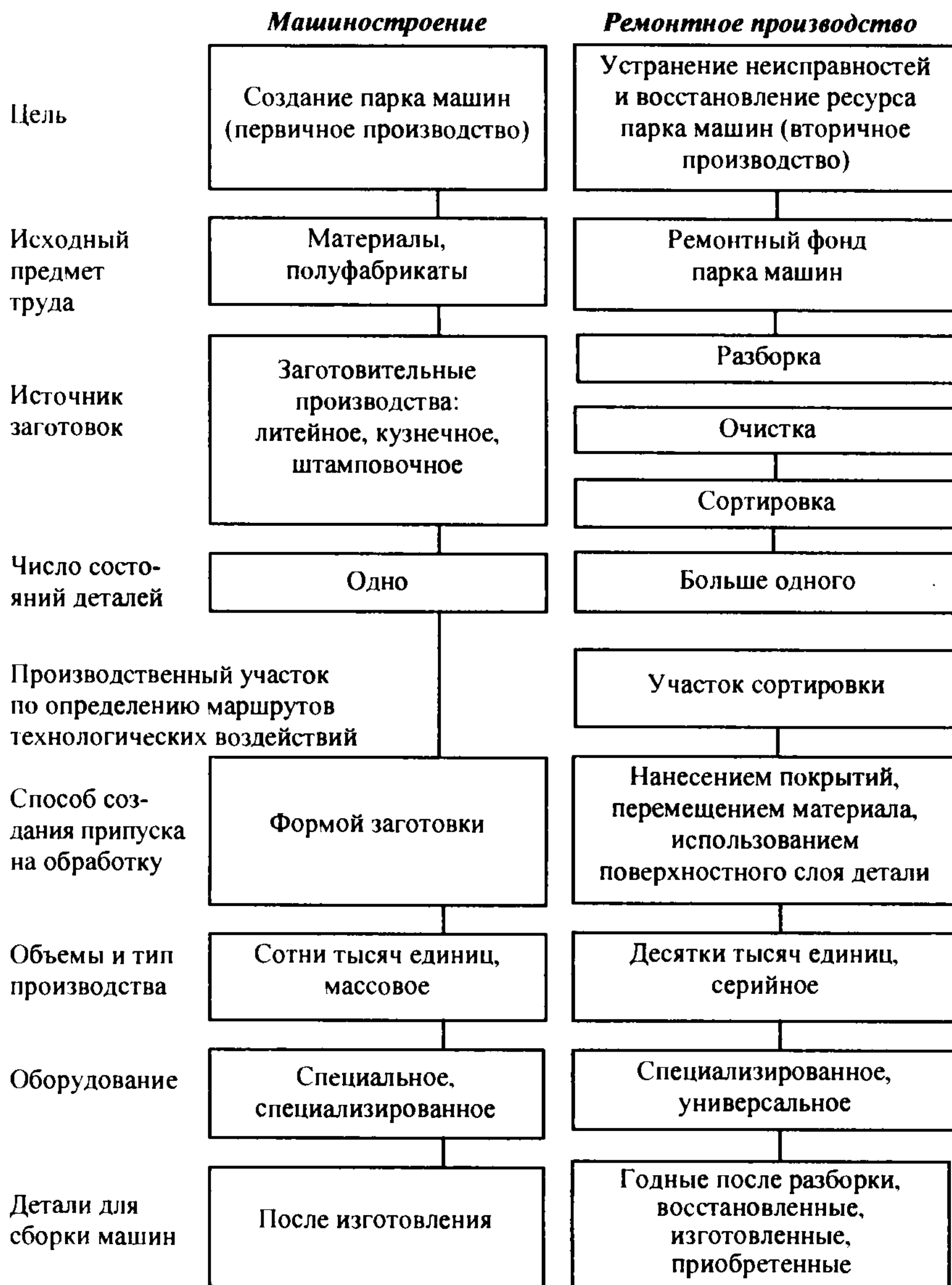


Рис. 1.4. Сопоставление признаков машиностроения и ремонтного производства

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. Исключением 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 комплектный 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 станки 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, как 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, переналаживаемое и гибкое.

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

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

Гибкое оборудование при переходе на обработку другой детали или группы деталей не требует ни дополнительных вложений, ни остановки 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; m — число показателей элементов с номерами r и k ; l_{rk} и l_{rm} — значения r -го признака

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 применимостью обладают устройства для базирования и закрепления предмета восстановления, приложения разборочных и сборочных усилий и моментов, внутриоперационного перемещения деталей, 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 средств восстановления и соответствующую оптимизацию. Структурный синтез — это описание различных структур технологических объектов, а выбор из них наилучшего варианта является структурной оптимизацией. Расчет 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 обновлений их компонентов (смена, дифференциация, интеграция) определяется таким образом: многообразие технической системы N при отсутствии ограничений в ее развитии увеличивается пропорционально параметрам интенсивности обновления P_H , интеграции P_I и дифференциации P_D исполнений системы по закону

$$N = N_0 P_H P_I P_D, \quad (1.6)$$

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 множества исполнений технической системы; число тактов преобразования 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 повторений) 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

техико-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-

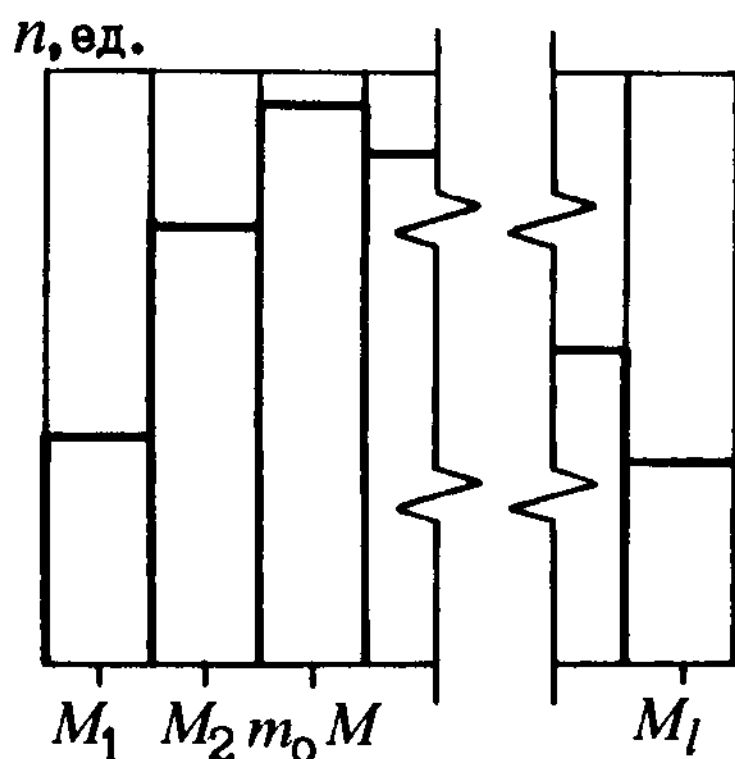


Рис. 1.6. Гистограмма распределения количества одноподобных технологических переходов n со значениями главного параметра M_1, M_2, \dots, M_i : m_0M – модальное значение главного параметра

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 графоаном представлении возможных вариантов структуры агрегата и поиске его оптимальной структуры с применением аппарата динамического программирования.

Структура агрегата (рис. 1.7) описывается графом Γ , 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

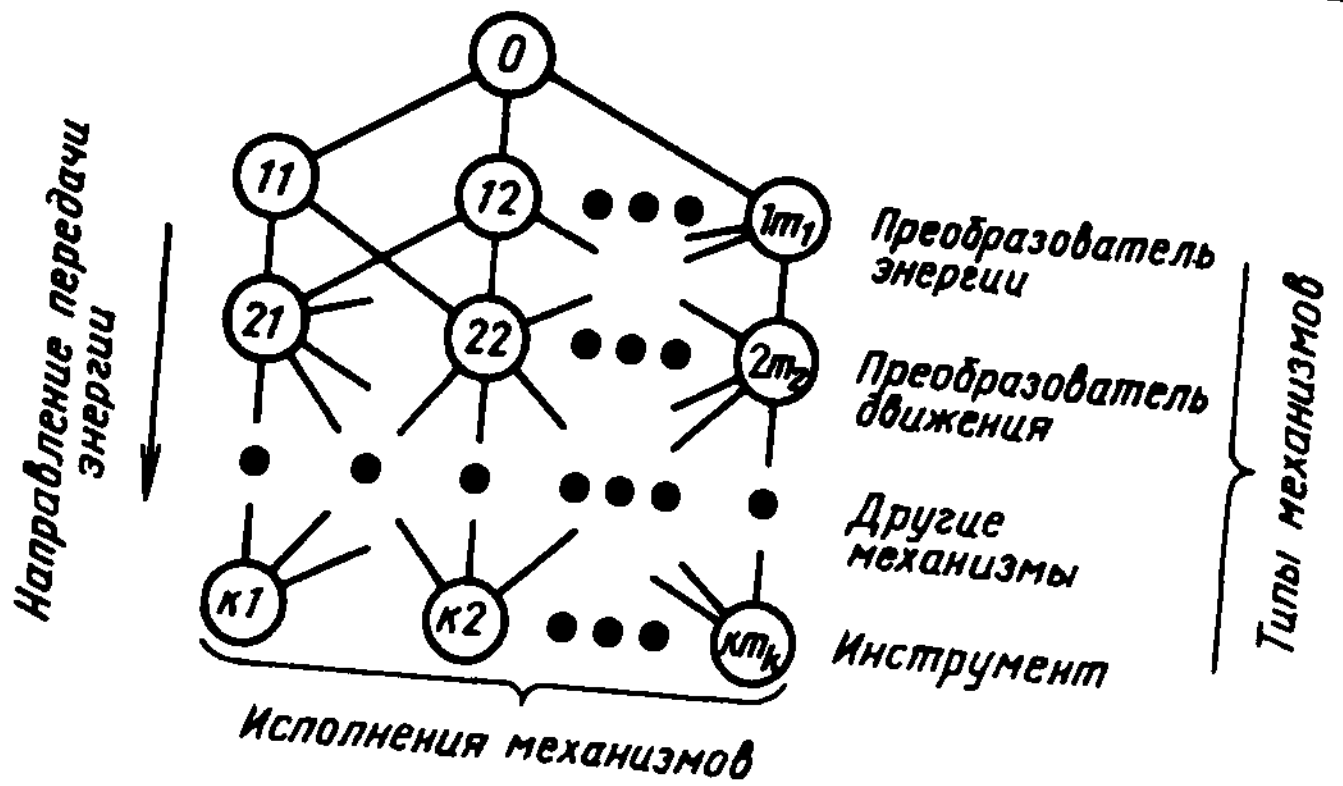


Рис. 1.7. Граф структур исполнительного агрегата:
 $1, 2, \dots, k$ – типы механизмов; m_1, m_2, \dots, m_k – количество видов механизмов первого, второго, k -го типов соответственно

альных признаков. Основываясь на идеях «морфологического анализа»
 • Цвикки, граф строят 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 l_{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

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

l_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.

Выборные на графе направления движения из его вершин обозначают стрелками. Эти связи обуславливают оптимальные сочетания механизмов 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 применяются 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, подогрева раствора с деталями 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.

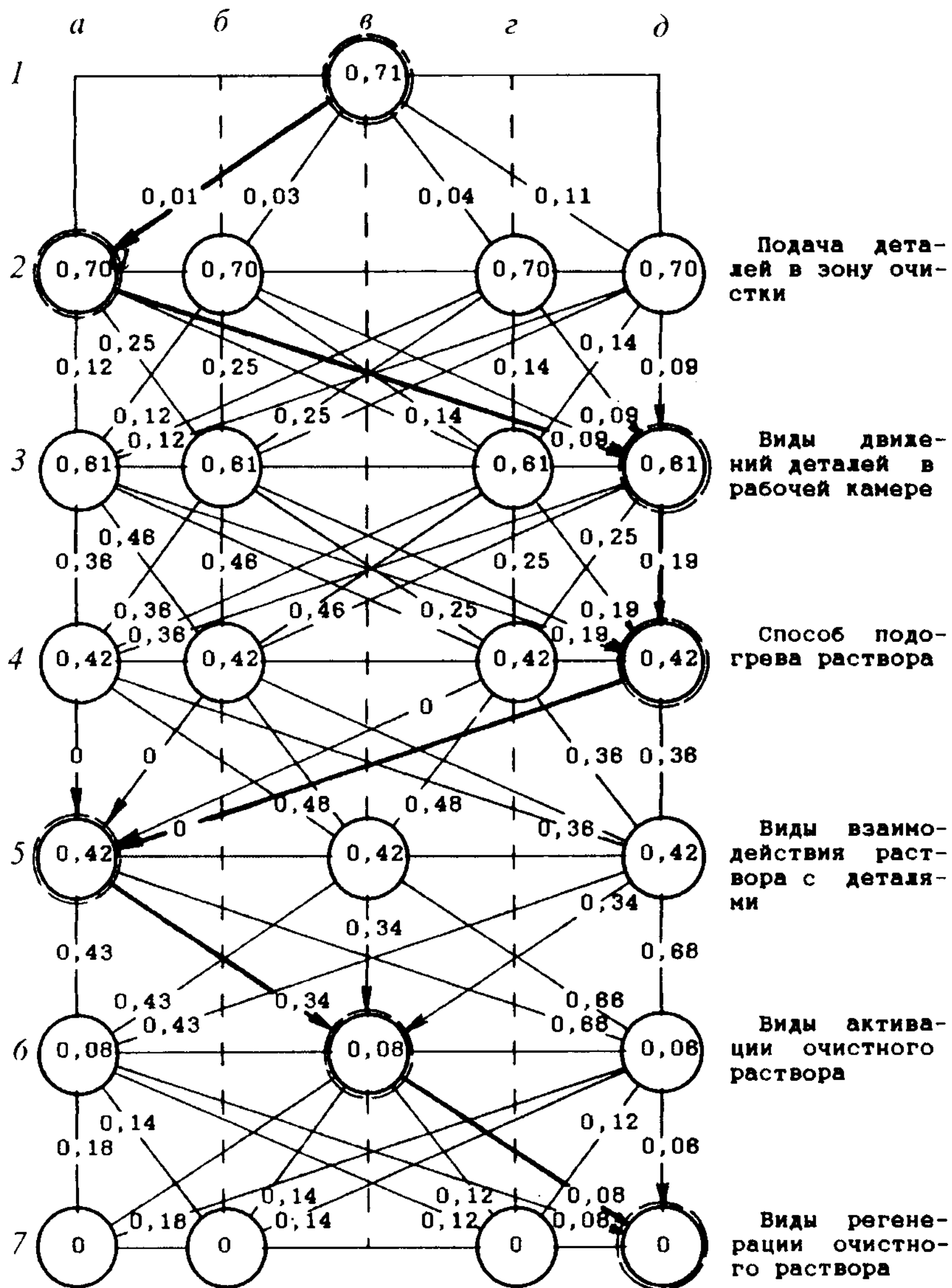


Рис. 1.8. Граф составляющих устройств технологического модуля для очистки деталей от маслогрязевых и асфальтосмолистых загрязнений в растворах ТМС

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 устанавливаются 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.

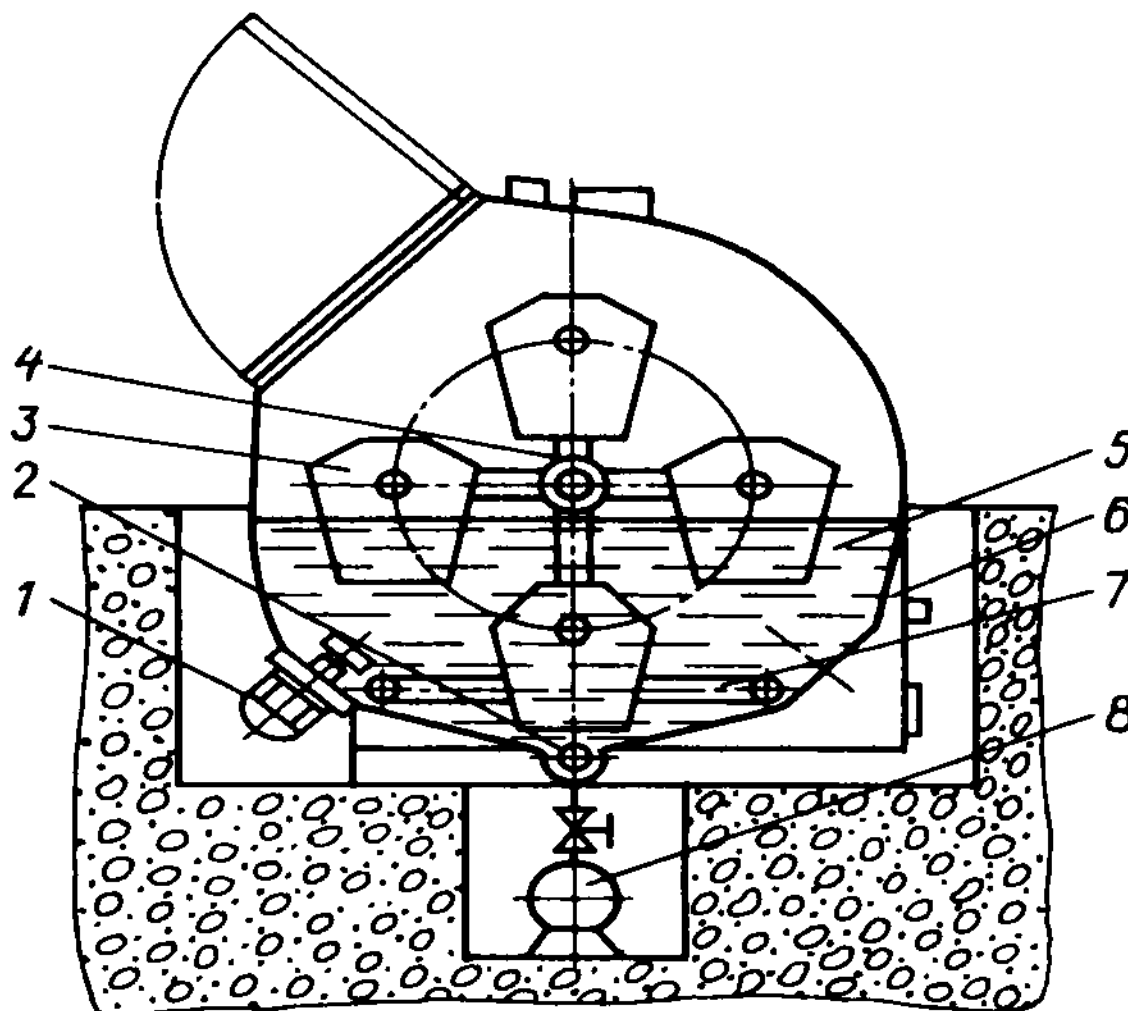


Рис. 1.9. Технологический модуль для очистки деталей от маслогрязевых и асфальтосмолистых загрязнений

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,

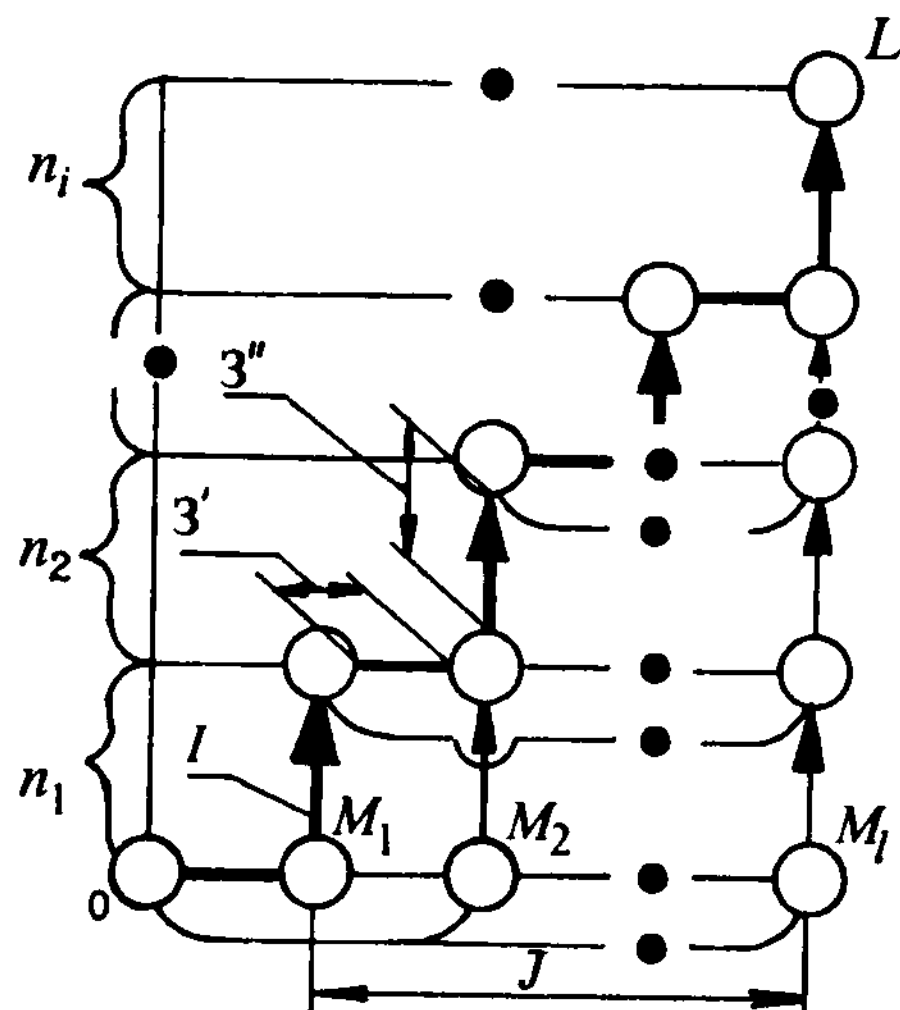


Рис. 1.10. Схема интегральных гистограмм спроса (I) и предложений на ряды агрегатов с различными значениями главных параметров:

n_1, n_2, \dots, n_i – потребность в агрегатах, выраженная годовым количеством технологических переходов, выполняемых этими агрегатами;
 M_1, M_2, \dots, M_i – 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 корреляционного анализа – до 10 %, а методов, основанных на изучении парка деталей СТО, – до 5 %.

Агрегат со значением главного параметра M_i 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-

лью 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 Z' (в рублях) соответствуют длине горизонтальных ребер, их величины рассчитывают по формуле

$$Z' = k_1 K, \quad (1.10)$$

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 Z'' 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 $\Sigma Z'_i + \Sigma Z''_i$, определяют решением рекуррентного соотношения

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

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

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

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 $(M_{l-1}, \Sigma n_i)$ 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	
		пневматического	гидравлического	пневматического	гидравлического	пневматическим	гидравлическим
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.

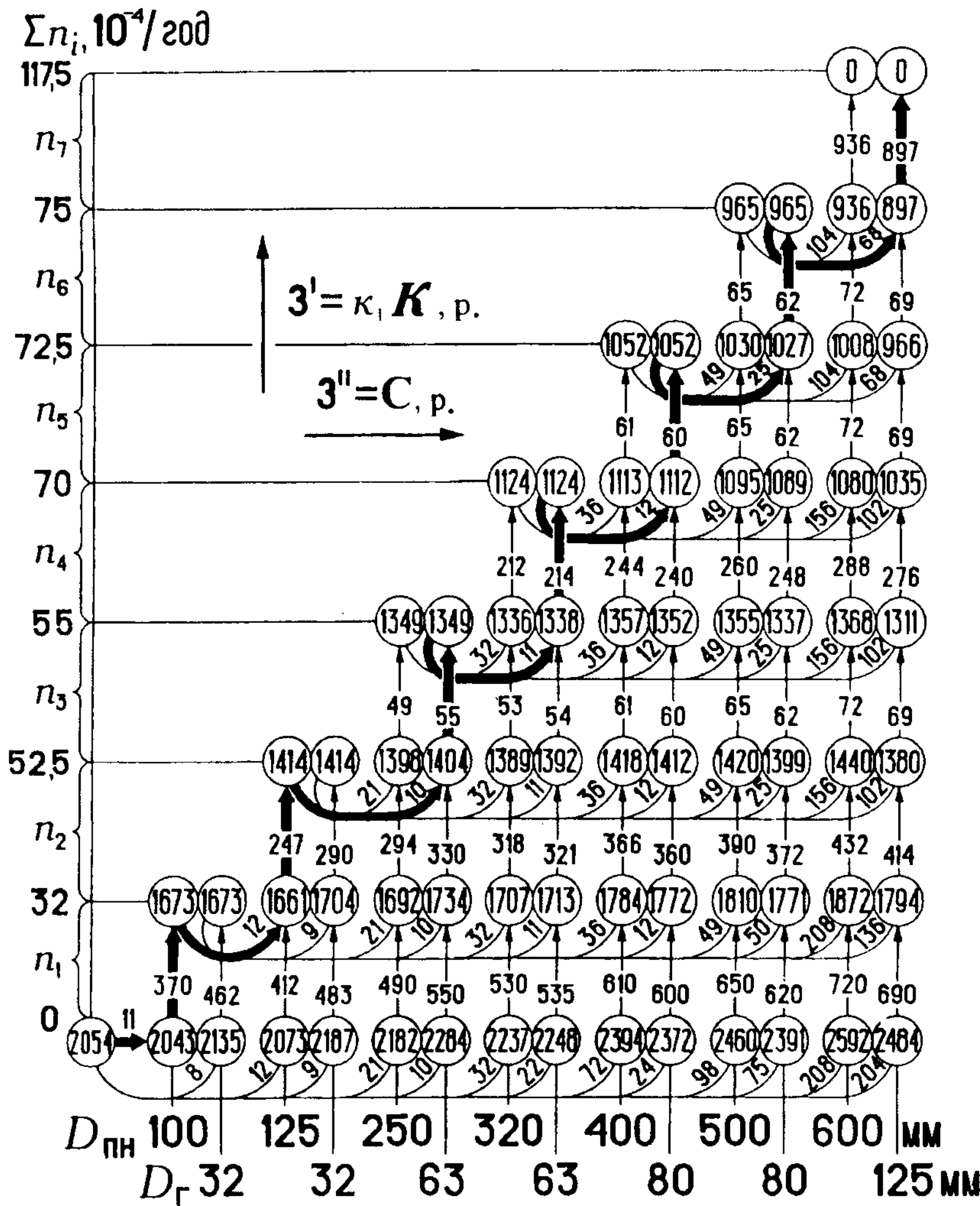


Рис. 1.11. Схема поиска ОПР исполнительных механизмов для разборки прессовых соединений

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	
Внутриперационное перемещение	—	Масса предмета труда, кг	0,005...300	—	
Базирование	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 ³	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 ³ /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 очищающей 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	Пневмовихревая ячейка	Рабочий диаметр, мм	5...16	6 – 8 – 10 – 16
Измерение параметров расположения	Корпус – оправки – индикаторы	Наибольший измеряемый 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 ³	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 по- ступательного движения детали	Корпус – направ- ляющие – двигатель – опорно-установочные элементы	Наибольшая сила пе- ремещения, развиваемая агрегатом, Н	50...5000	100 – 630 – 1000 – 2500 – 4500 – 6300
Нанесение гальванического покрытия	Гальваническая ванна	Объем ванны, м ³	0,6...1,5	0,63 – 1 – 1,6
Приложение деформирующе- го усилия		Сила, кН	10...100	25 – 40 – 63 – 100
Определение величины и на- правления ста- тического дис- баланса	Корпус – силовой механизм	Наибольшая масса балансируемой детали, кг	3...20	6,3 – 10 – 25
Испытание	Опорно-установоч- ные элементы – при- вод – измерительные средства	Мощность, кВт	$1,1 \cdot 10^{-6} \dots 60$	$1,1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-3} - 1,6 \cdot 10^{-2} -$ $1 - 1,6 - 60$
Межоперац- ионное переме- шение	Транспортирую- щее 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 многошпindelных 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 отбрасывания 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:

$$\begin{aligned} T_v &= \{T_1; T_2; \dots; T_i\}; \\ T_1 &\subseteq \{T_1'; T_1''; \dots; T_1'^n\}; \\ T_2 &\subseteq \{T_2'; T_2''; \dots; T_2'^n\}; \\ &\vdots \\ T_i &\subseteq \{T_i'; T_i''; \dots; T_i'^n\}, \end{aligned}$$

СИСТЕМА СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ

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, элементарным 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 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 присоединяют коды агрегатов последовательно добавляемых агрегатов. Последними будут коды тех агрегатов, которые взаимодействуют с предметом восстановления и осуществляют технологическое воздействие. Совокупность 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 станда может быть изображена в виде, представленном на рис. 1.13.

В координатно-блочном виде структурное выражение станда 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-

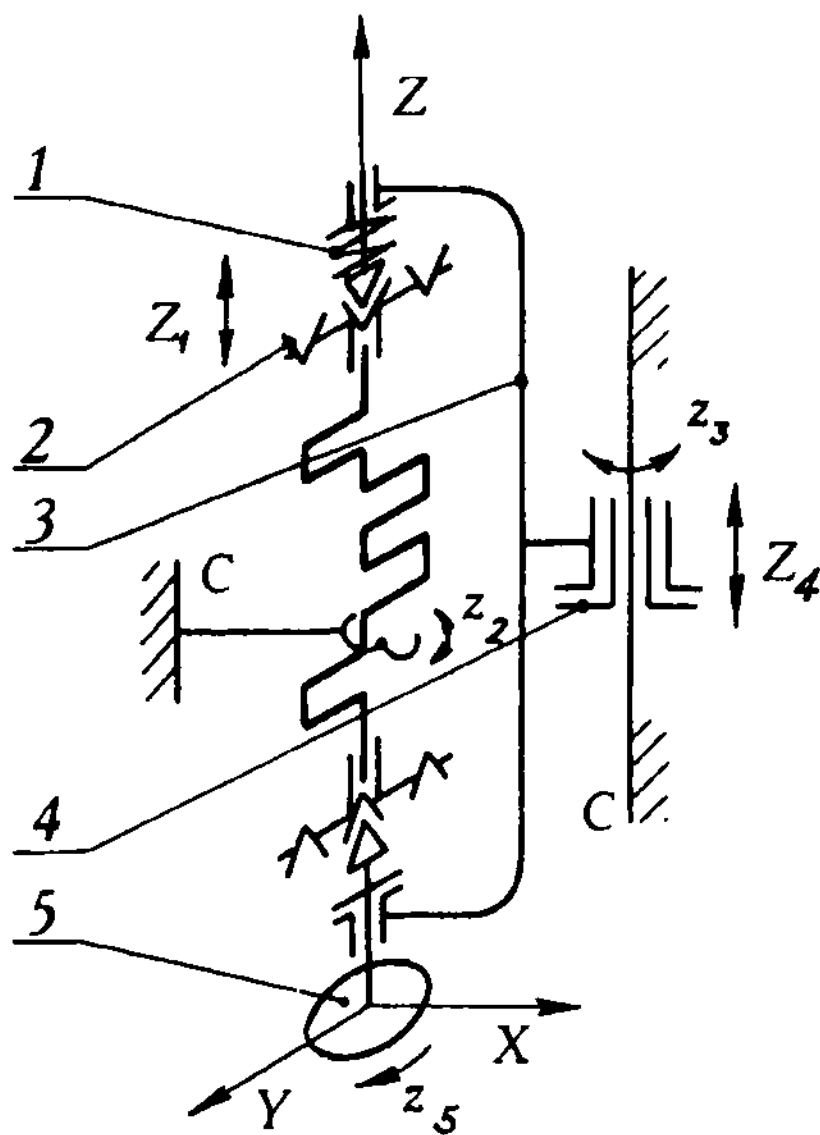


Рис. 1.12. Схема станка для закалки шеек коленчатого вала:

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

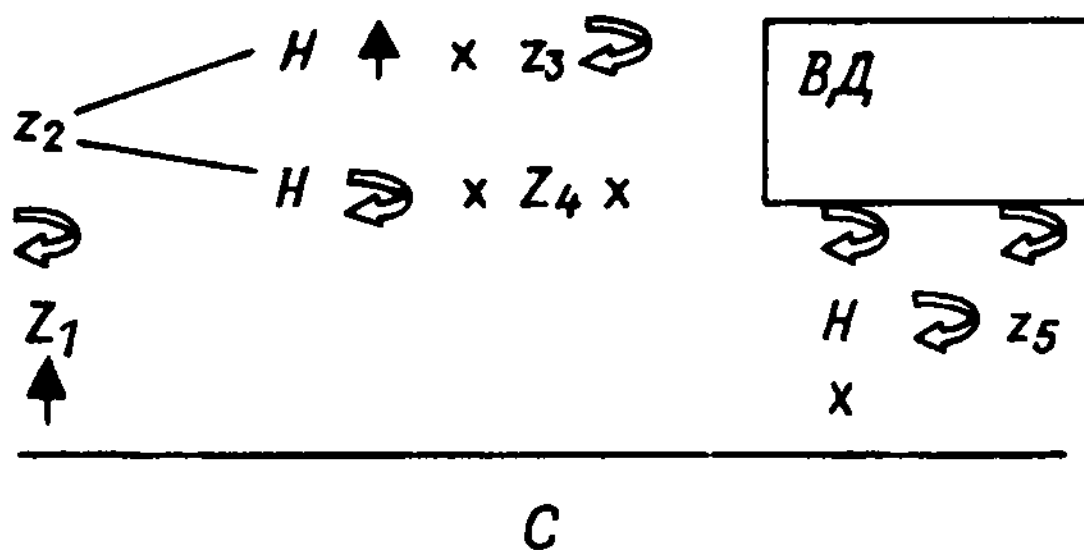


Рис. 1.13. Структурная схема станка для закалки шеек коленчатого вала:

- ↑, ↻, X - соответственно символы поступательного и вращательного перемещений и неподвижного закрепления блока;
H - неподвижный блок; ВД - восстанавливаемая деталь; C - 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 (расчет 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 заявочными техническими 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 и 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 сдаточных норм: прямолинейности перемещений, параллельности поверхности стола направлению перемещений, относительного расположения осей шпинделей и их осевых и торцовых 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 Π_n выражает соотношение суммарного полезного эффекта \mathcal{E} от применения продукции и суммарных затрат \mathcal{Z} на ее создание и эксплуатацию:

$$\Pi_n = \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{Z}} . \quad (1.16)$$

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 специфичного 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 ϵ -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), в то время как газовое пламя – только 3 кВт/см² 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 разборку, очистку подбранного 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

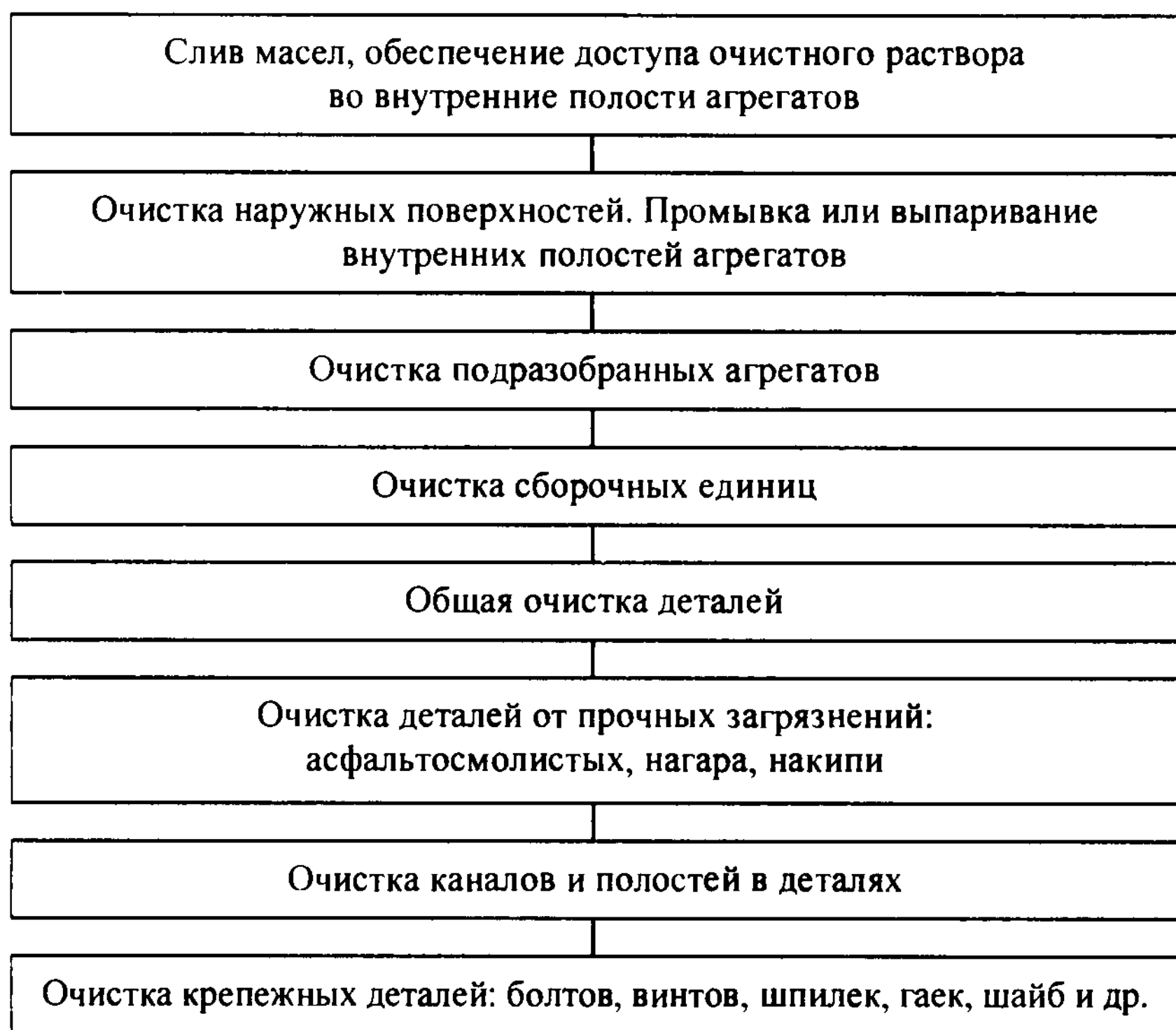


Рис. 2.1. Последовательность операций очистки поверхностей деталей от эксплуатационных загрязнений

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

Загрязнения

эксплуатационные

технологические

на наружных
поверхностях

на внутренних
поверхностях

Остатки
материалов

Масляные
отложения с
продуктами
изнашивания

Производственная
пыль

Маслогрязевые
отложения

Асфальто-
смолистые
отложения

Стружка, абразив

Продукты
коррозии

Лаковые
пленки

Окалина, шлаки,
флюсы

Лакокрасочные
материалы

Нагар

Металлическая
дробь,
стеклянные
шарики,
косточковая
крошка

Почвенные
отложения

Накипь

Притирочные
пасты, эмульсии

Мастики

Герметики и
разрушенные
прокладки

Продукты
приработочного
изнашивания

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 ≥ 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 CaSO_4 , силиката магния MgSiO_3 и др. При нагревании воды до $70...80^\circ\text{C}$ 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 (CaCO_3 и MgCO_3), сульфатную (CaSO_4), силикатную (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 м², 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 м². 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,

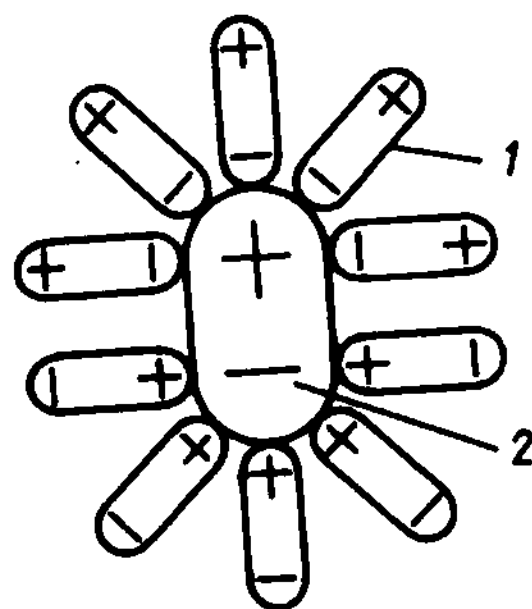


Рис. 2.3. Модель агрегатированной молекулы:
1 – молекулы растворителя;
2 – молекулы растворяемого вещества

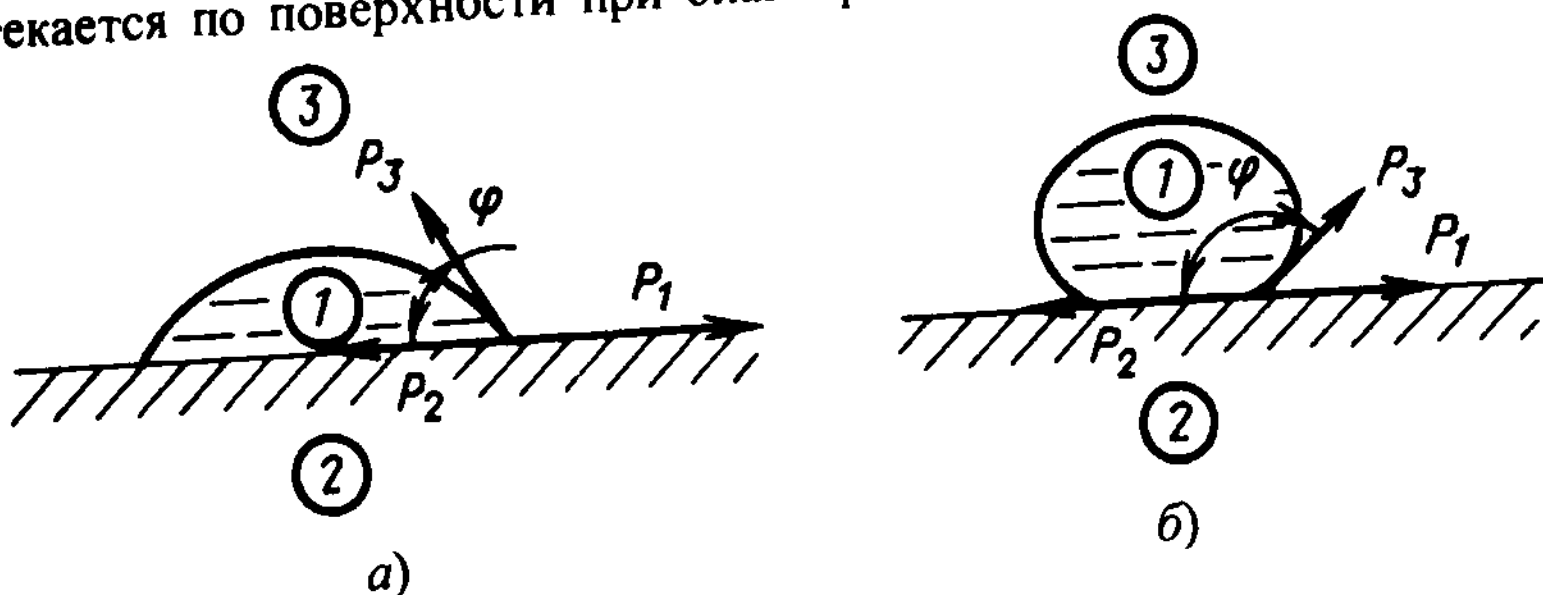


Рис. 2.4. Схема взаимодействия капли жидкости с поверхностью твердого тела и газовой средой:
а – смачивание поверхности; б – поверхность не смачивается;
1 – капля жидкости; 2 – твердое тело; 3 – газовая среда (воздух)

зависящих от свойств взаимодействующих веществ. Краевой угол смачивания φ определяется из соотношения

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

Чем меньше значение угла φ , 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 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 COOH , гидроксильную OH , сульфатную OSO_3 или аминогруппу 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.

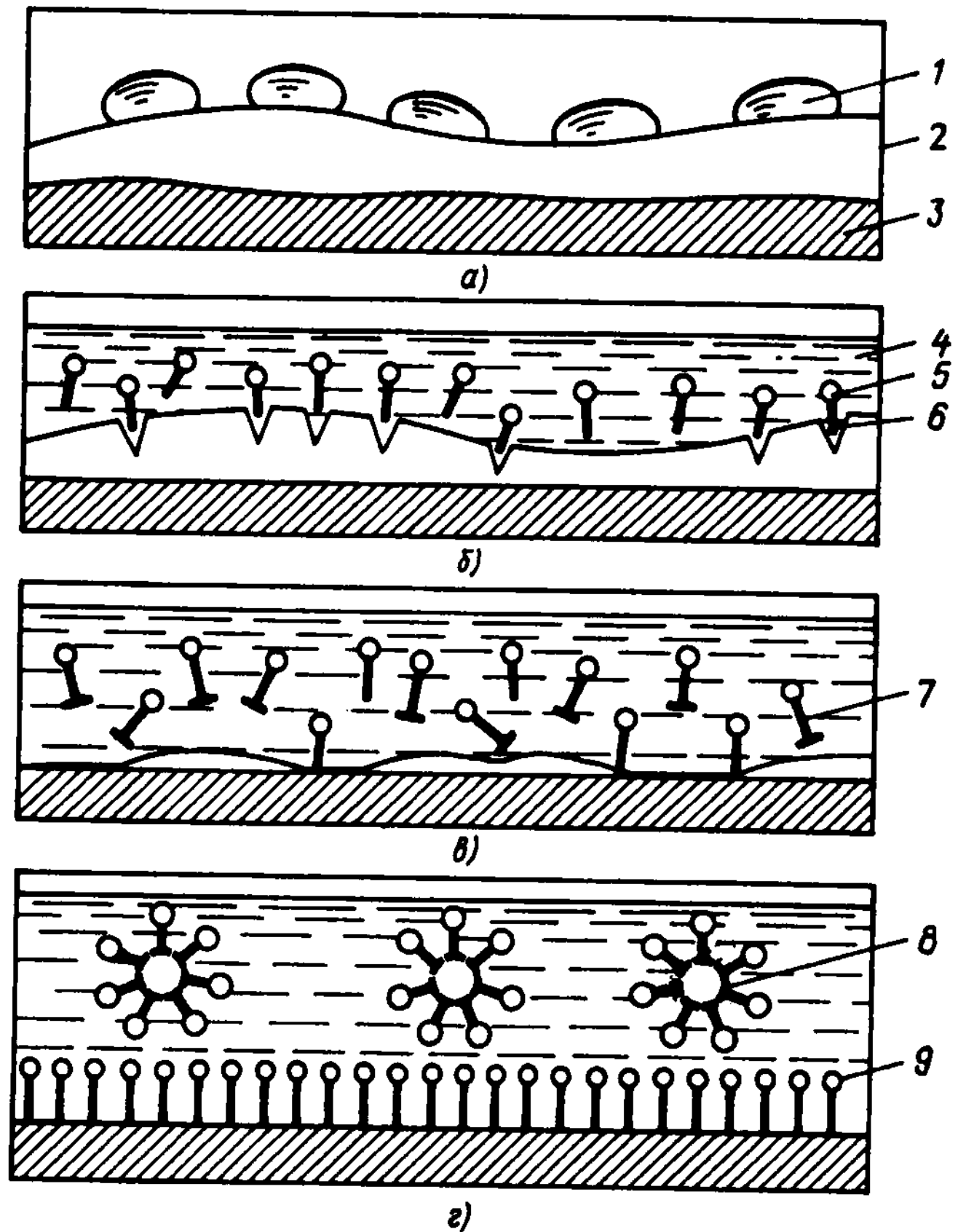


Рис. 2.5. Схема очистного процесса в жидких технологических средах:

a-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 загрязнения, 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, исключаящих 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 ³	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/м²·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; ализариновое 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

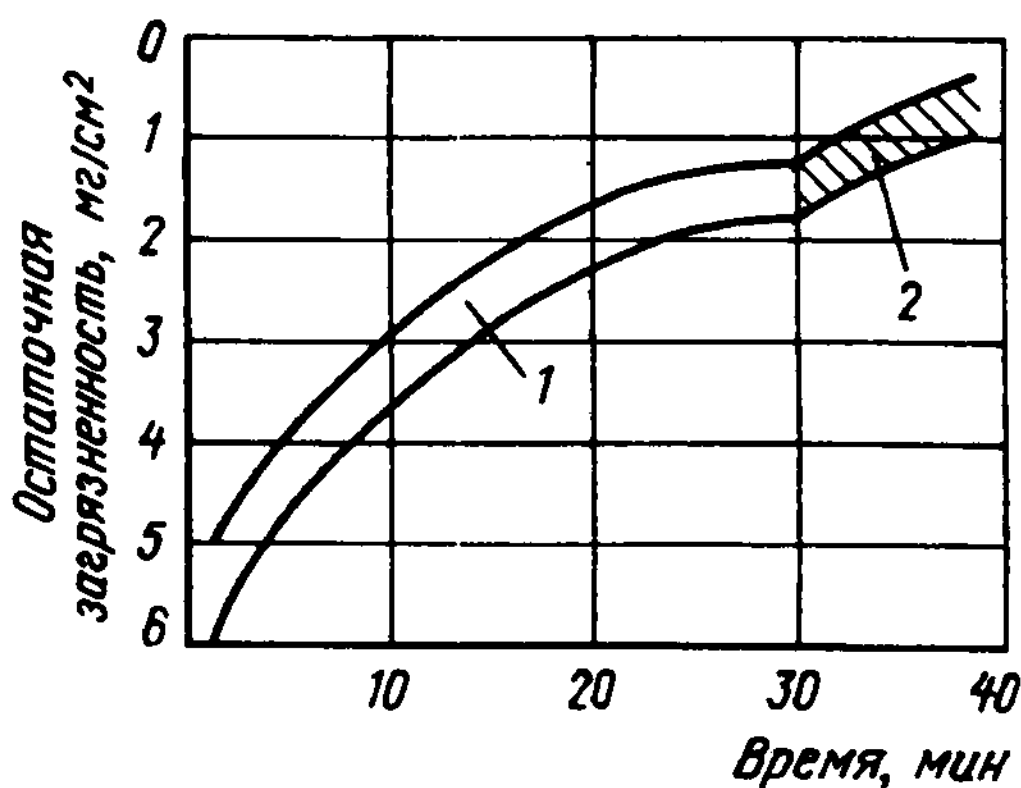


Рис. 2.6. Интенсивность очистки в РЭС АМ-15 (фаза 1) и техническом моющем средстве Лабомид-101 (фаза 2)

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 рН).

Во избежание коррозии металлов необходимо ограничивать значение показателя рН раствора. При очистке цинка и алюминия рН должен составлять 9...10, олова – не выше 11, латуни – не выше 12...12,5, а сталь допускает очистку при рН до 14. Легкие и цветные металлы можно очищать при значительно больших значениях рН, 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 рН.

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 горюче-смазочных материалов, маслогрязевых отложений и консервационных покрытий. МЛ-52 служит для очистки деталей от остатков горюче-смазочных 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 прилипанию 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-

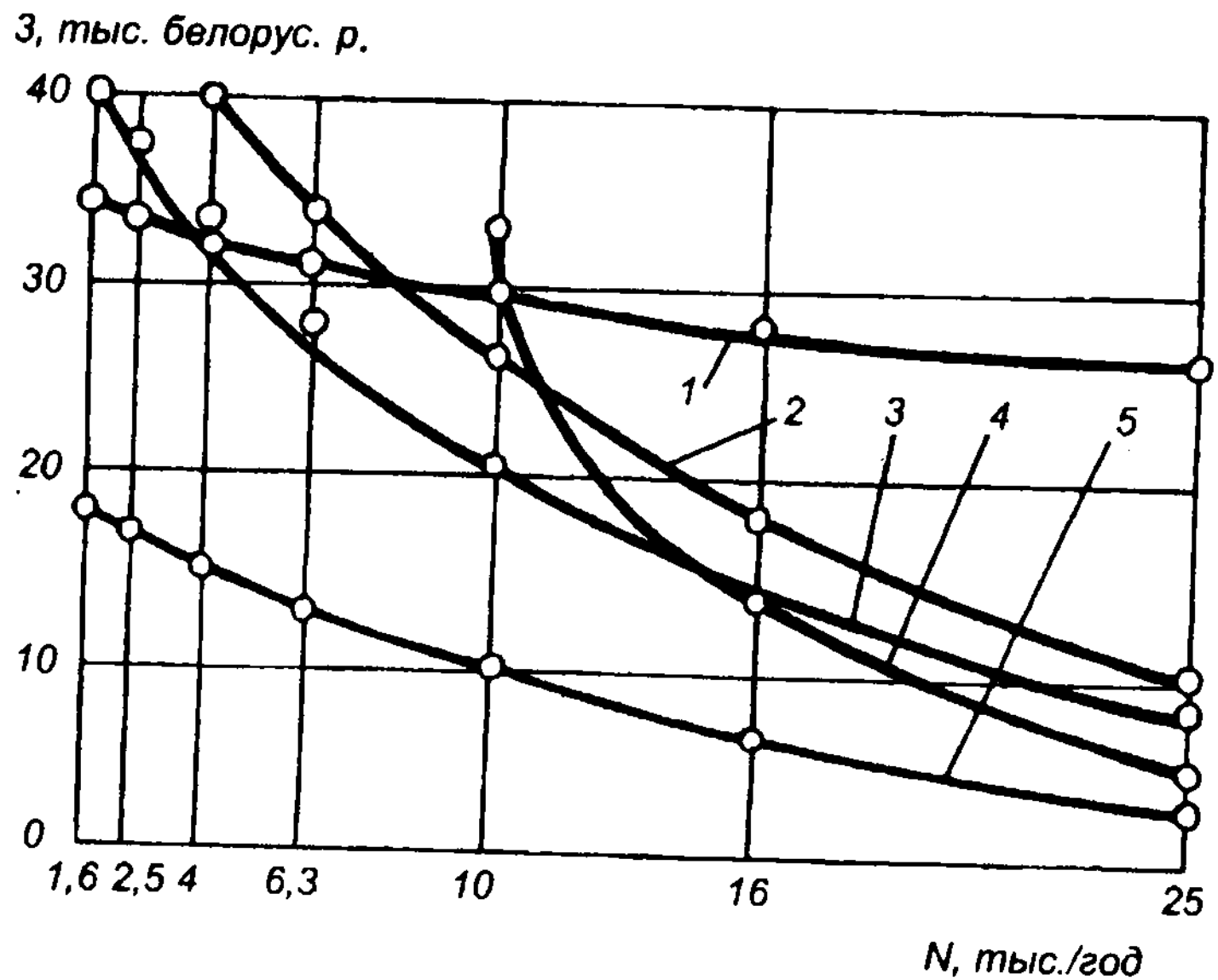


Рис. 2.7. Зависимость технологических затрат Z на суточный объем очистки раствора очистного участка от программы ремонта N двигателей с рабочим объемом 4,5 л различными способами: 1 – отстаиванием; 2 – коагуляцией; 3 – флотацией; 4 – ультрафильтрацией с предварительным осветлением; 5 – самоочищающимся 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 очищающего 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 NaOH, азотнокислого натрия NaNO_3 и хлористого натрия NaCl, очищает поверхности деталей практически от всех видов загрязнений.

Серную и соляную кислоты используют для травления, очистки от продуктов коррозии, накипи, лакокрасочных покрытий и асфальтосмолистых отложений. Применяют также уксусную, щавелевую, олеиновую, лимонную и нафтеновую 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 подобранных агрегатов, очистку сборочных единиц, общую очистку деталей и очистку деталей от прочных загрязнений.

На первой операции очистки удаляют до 80 % загрязнений, главным образом маслопочвенных 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-

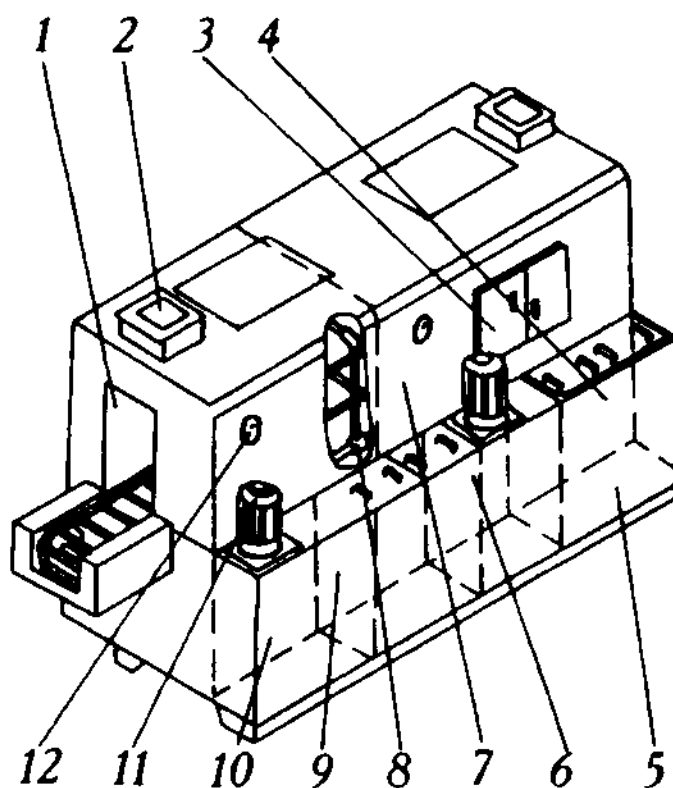


Рис. 2.8. Машина для струйной очистки деталей:

- 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 ³	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. м²/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, м ³	14	10	5
Расход пара, кг/ч	100...150	до 160	до 130
Вместимость контейнеров, кг	600	400	200
Число контейнеров	4	4	4
Максимальный размер изделий, мм	1200	800	600
Производительность, т/ч	3,2	3,8	3,2
Установленная мощность, кВт	16	10	7
Габаритные размеры, мм	6600 × 4700 × × 3960	5120 × 4450 × × 4200	5970 × 2950 × × 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/см², 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 окутании 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 ванн	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 NaOH (65 %), азотнокислого натрия NaNO₃ (30 %) и хлористого натрия 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 приемки 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 производителен, 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 ² /ч	3...5	2...3
Установленная мощность, кВт	3	0,4
Расход воздуха форсункой, м ³ /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 устанавливаются 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

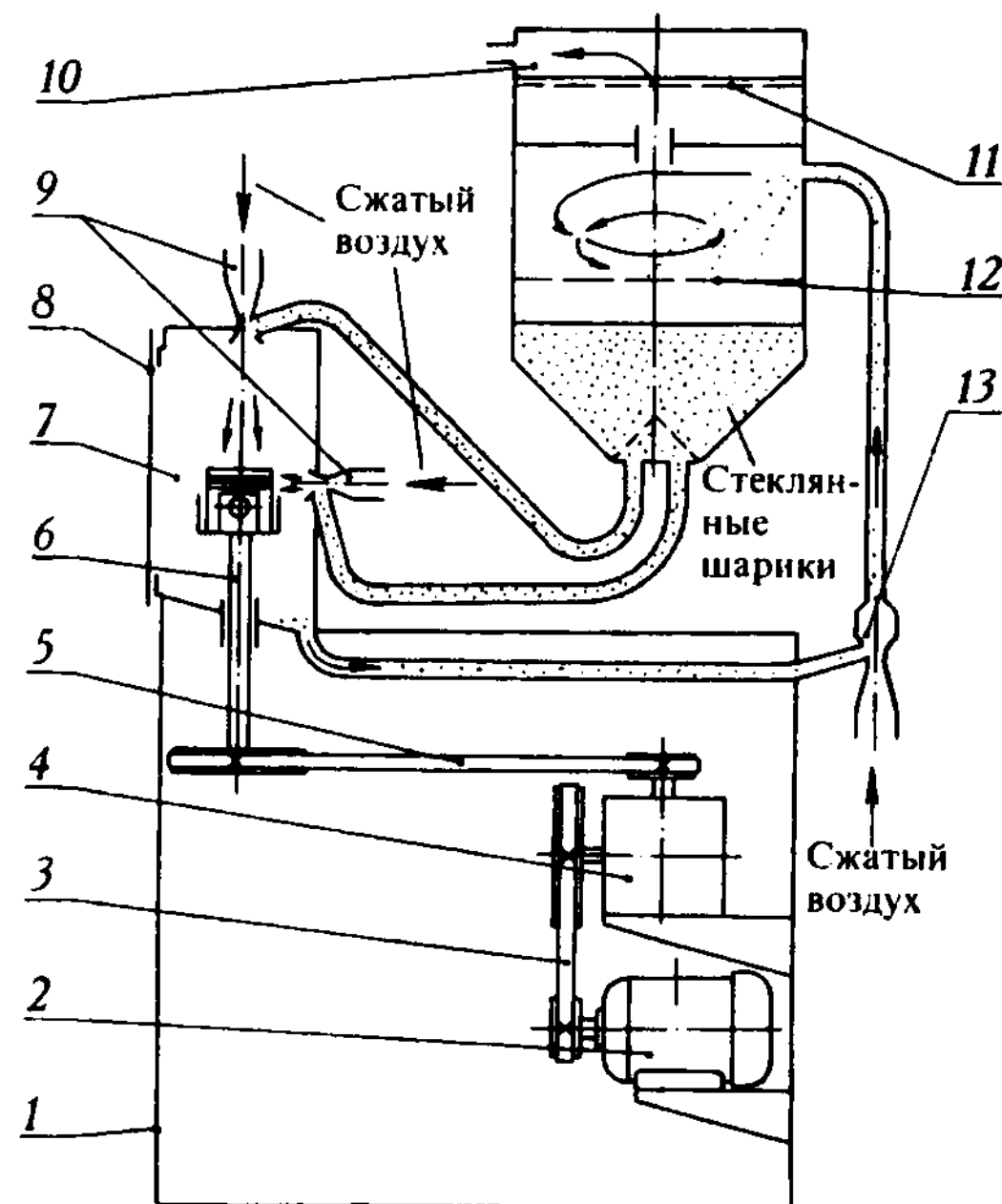


Рис. 2.9. Машина для очистки деталей потоком стеклянных шариков

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 ⁻¹	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 барабанные средства, 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

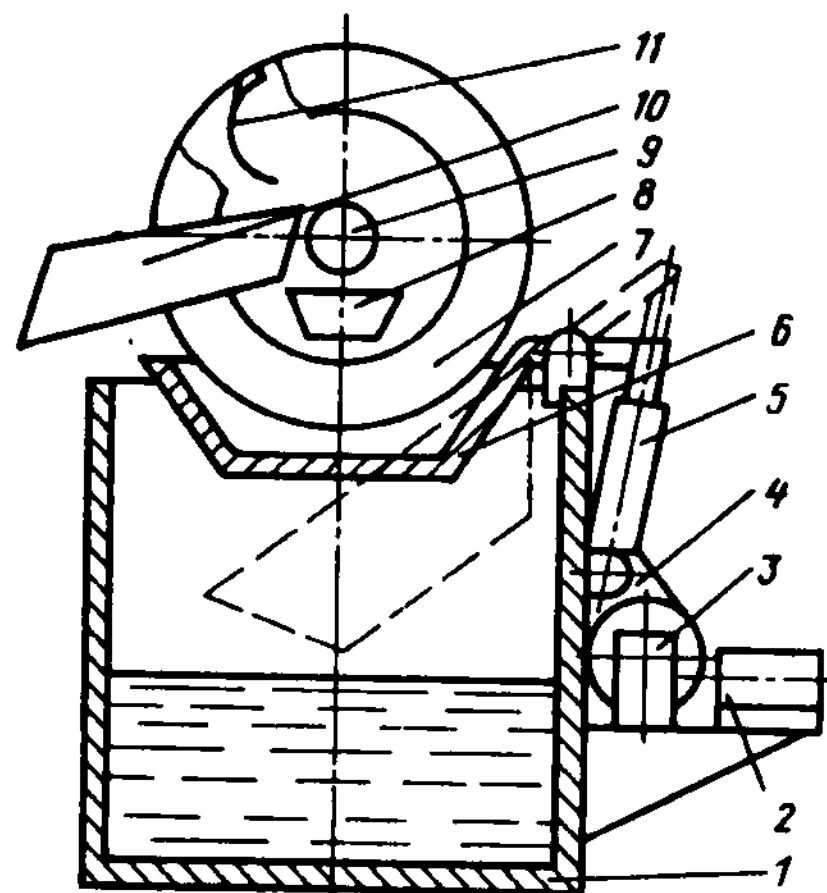


Рис. 2.10. Установка для очистки метизов

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 подработорванных 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...0,05 мг/см².

В заводских условиях контролируют температуру очистного раствора и массовую долю ТМС. Последний показатель определяют косвенными методами: путем измерения щелочности рН 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 АМР-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 $Fe(CO)_5$ или диспергированием железа электрической дугой в керосине, а порошок ферромагнитного оксида железа – окислением магнетика.

Наибольшее распространение получили черный или темно-коричневый магнитный порошок, представляющий собой измельченный оксид-закись железа Fe_3O_4 , и буро-красный порошок – оксид железа Fe_2O_3 . Для контроля деталей с темной поверхностью используют светлые порошки (с добавлением алюминиевой пудры) или люминесцентные порошки, содержащие люминофор-люмоген 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 пропусканьем 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

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

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-

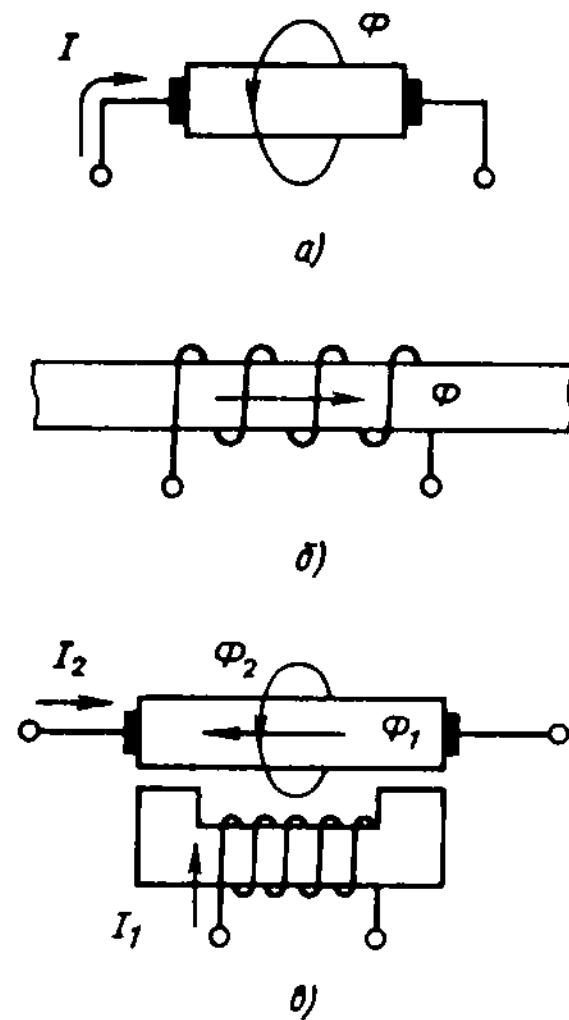


Рис. 2.11. Схемы намагничивания деталей

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

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

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

а в поле остаточной намагниченности – по формуле

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

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 магнитомягких 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 ≥ 500 лк для выявления цвета судана, а ультрафиолетовым излучением длиной волны $315 \dots 400$ нм ≥ 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.

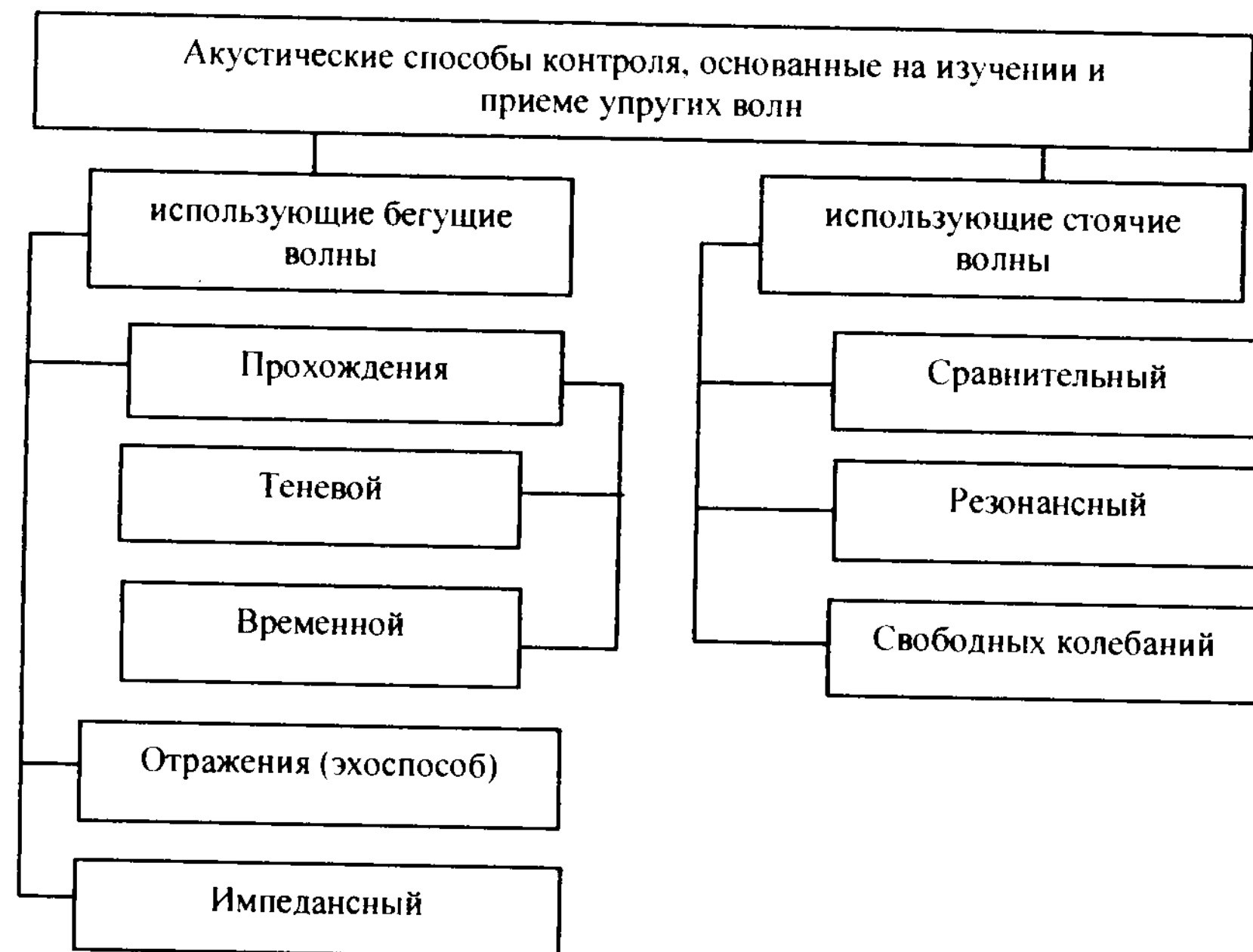


Рис. 2.12. Классификация акустических способов контроля

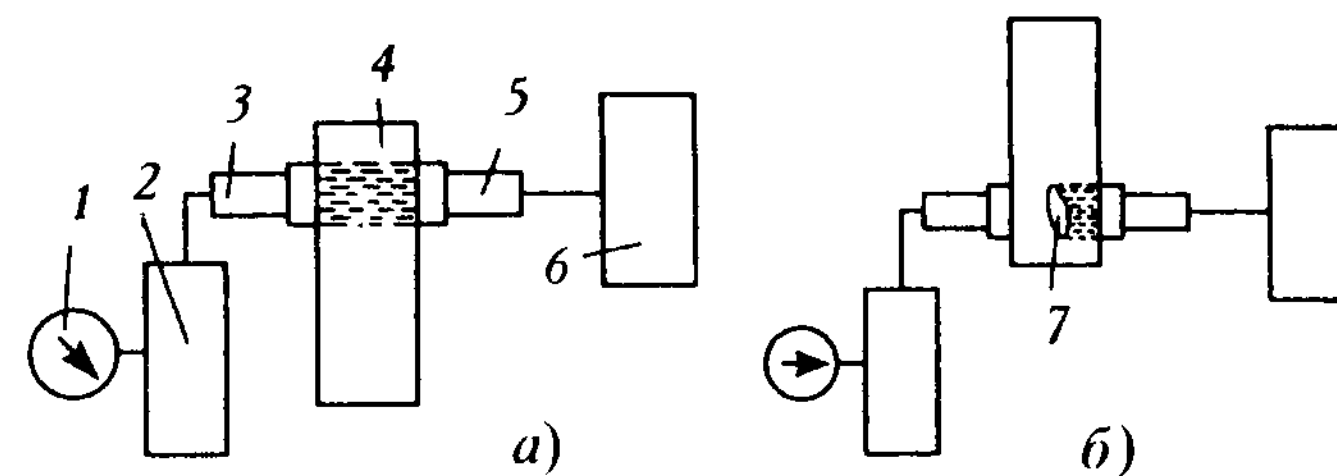


Рис. 2.13. Схемы определения повреждений теневым способом:
а – заготовка без повреждения; б – заготовка с повреждением;
1 – индикатор; 2 – усилитель; 3 – пьезоприемник; 4 – заготовка;
5 – излучатель; 6 – генератор; 7 – повреждение

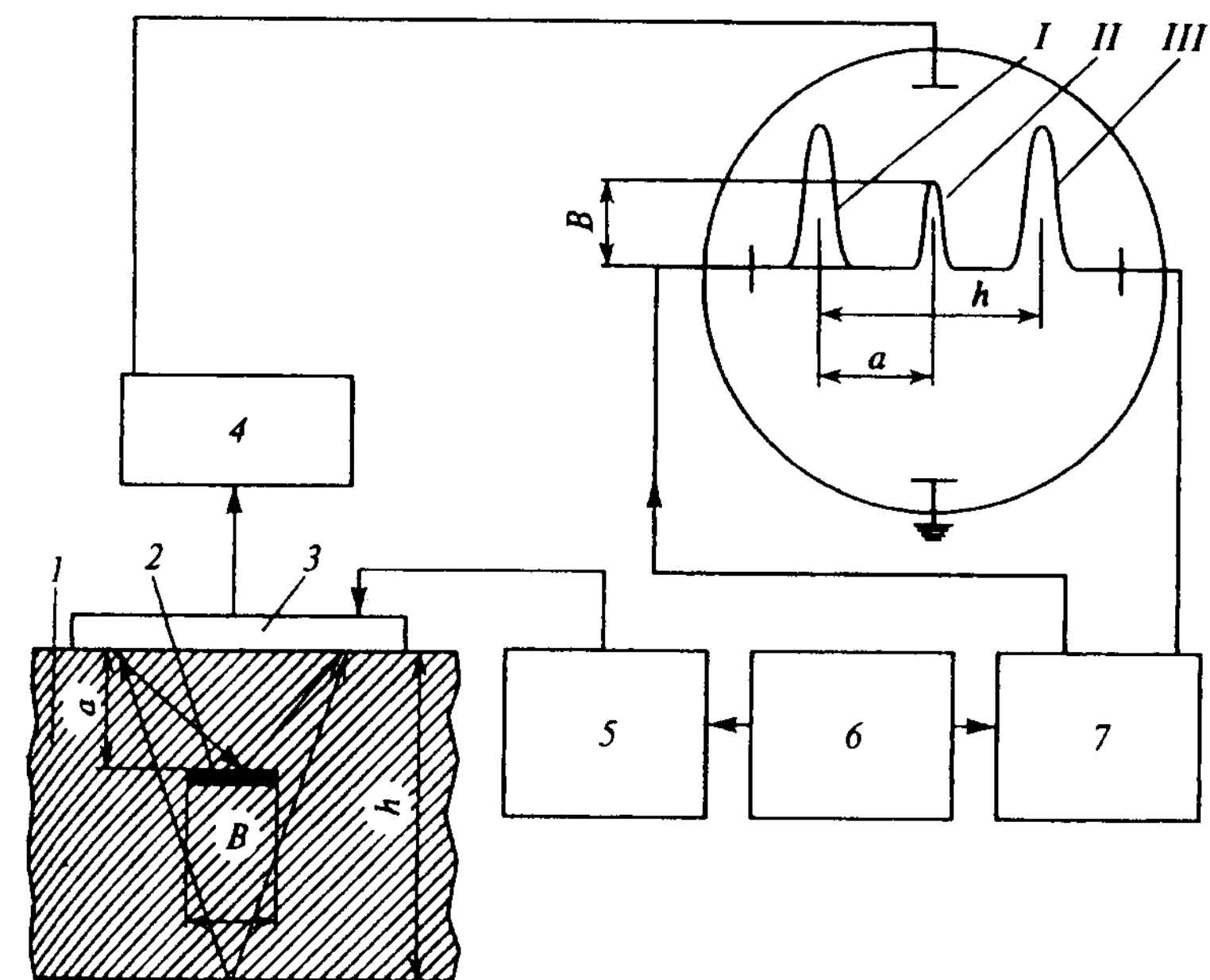


Рис. 2.14. Схемы определения повреждений эхоспособом:
1 – заготовка; 2 – повреждение; 3 – преобразователь; 4 – усилитель; 5 – генератор;
6 – синхронизатор; 7 – блок развертки; I, II, III – импульсы соответственно зондирующий, от повреждения и донный; B – относительный размер повреждения; h – толщина 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 радиointроскопов, 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 втягивается и поворачивает рычаг 6 по часовой стрелке; плита 2 перемещается в верхнее положение. Проверяемую головку цилиндров устанавливают и закрепляют на плите, при этом

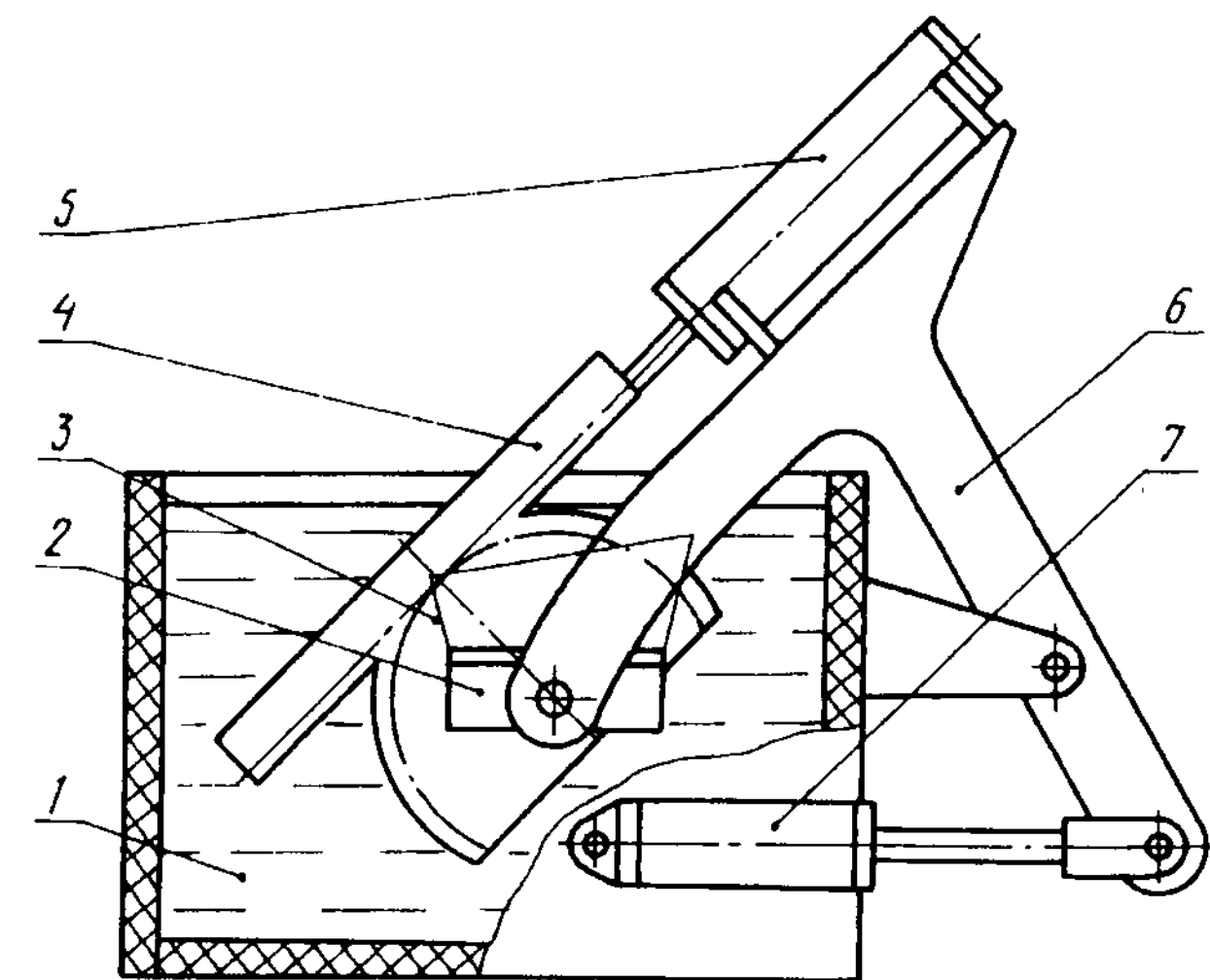


Рис. 2.15. Стенд для контроля герметичности головки цилиндров

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

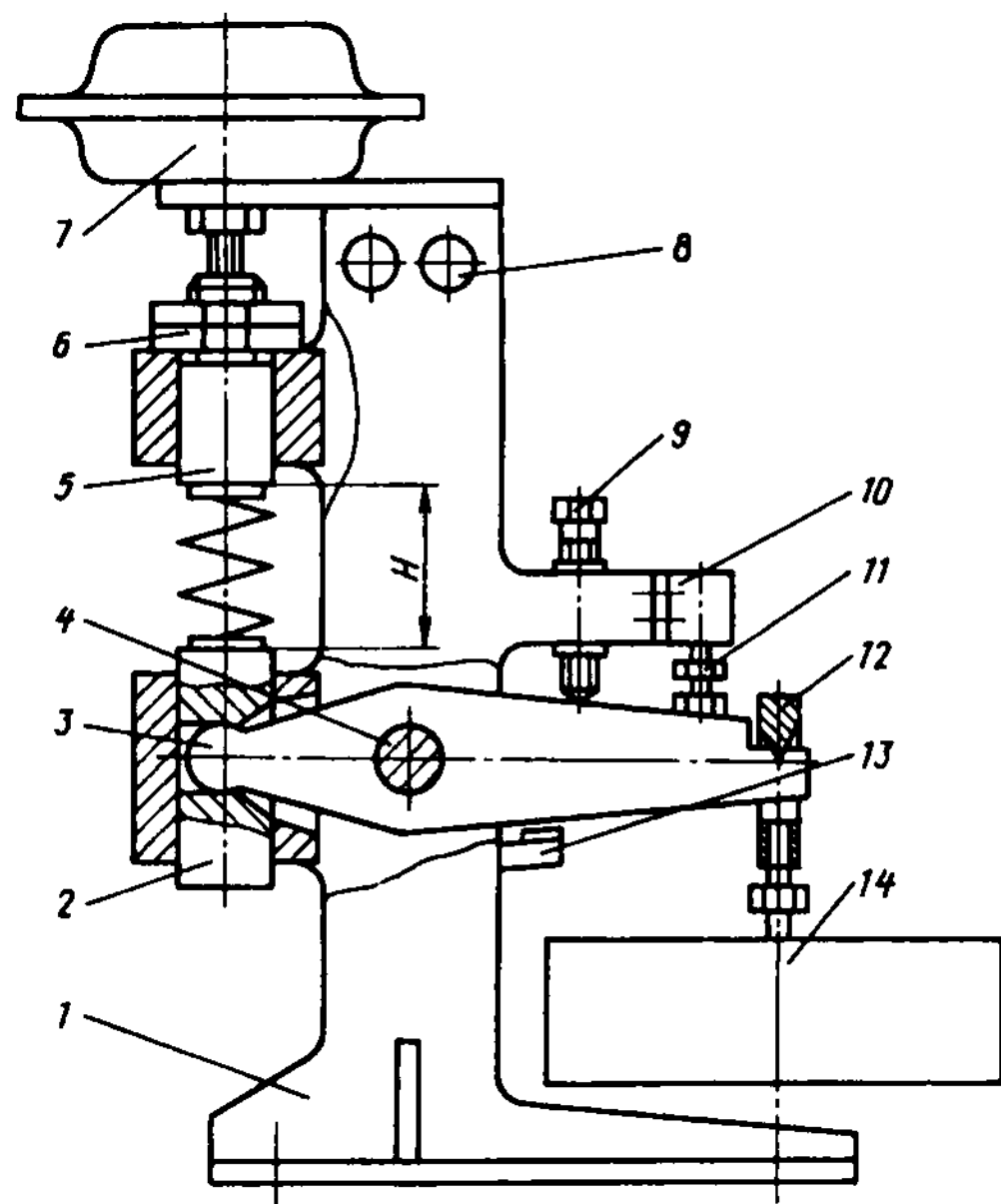


Рис. 2.16. Стенд для контроля жесткости пружин

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 пневмокамеры 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

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

где t_n – наработка детали с начала эксплуатации (или после восстановления) до диагностирования; α – 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 α для различных деталей и их элементов

Изнашиваемые детали или их элементы	Значение α
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

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

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

где $P_{\text{изм}}^*$, $P_{\text{изм}}^{**}$ – измеренные значения параметров при предыдущем и последующем диагностировании 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 $V = 0,33 \dots 0,40$. 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 устанавливаются 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 изнашиваемого 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 подслой 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 подслоу. 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 извор. 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 «времени сечения» открытия клапанов.

Приведенные примеры подчеркивают важность восстановления номинальных размеров деталей.

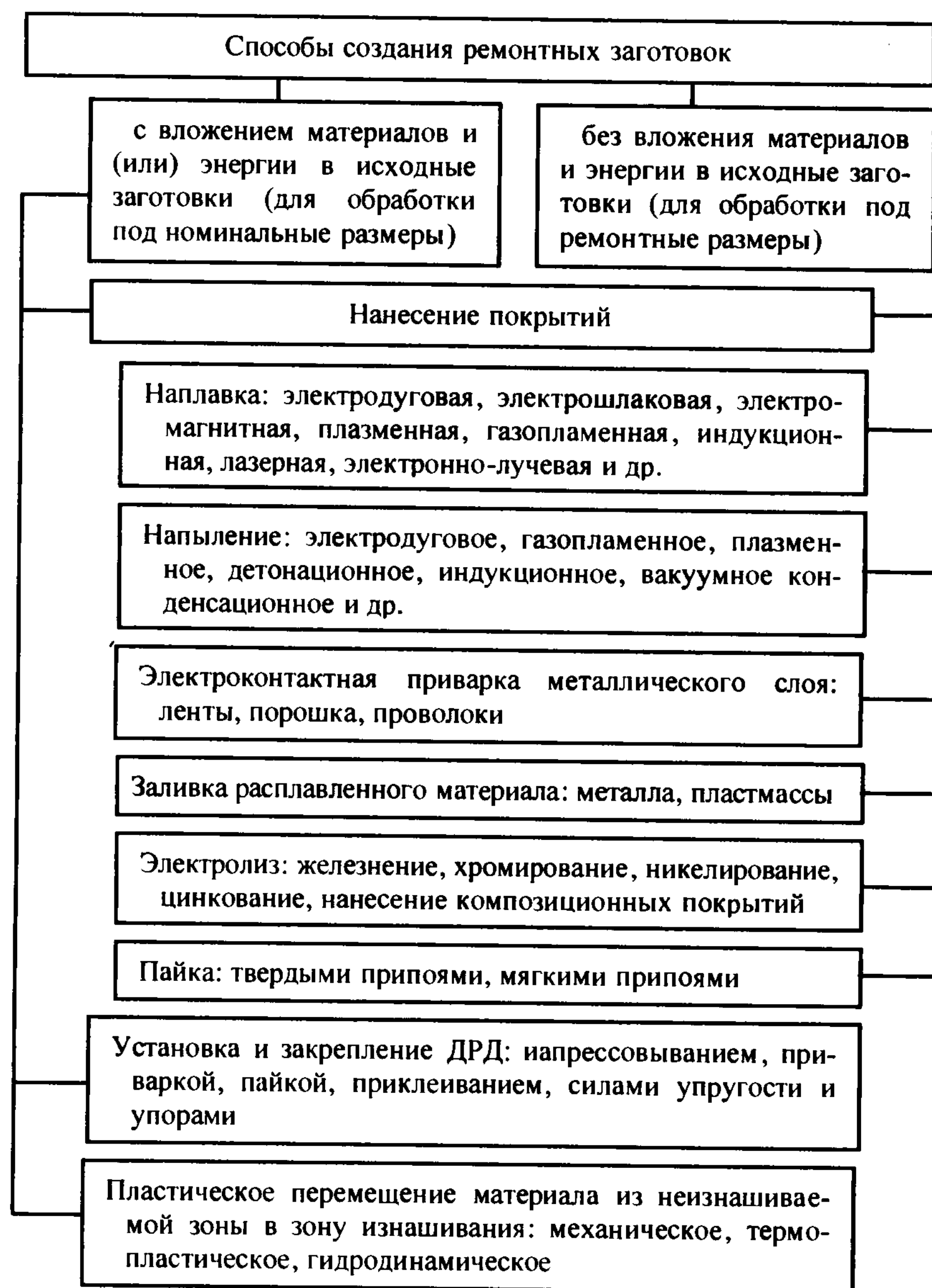


Рис. 3.1. Классификация способов создания ремонтных заготовок

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/см²) 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						Газотермическое напыление
	Наплавка						
	газопрошковая	индукционная	электродуговая	плазменная	лазерная	Электроконтактная приварка	
Низкая температура плавления, °С	5	5	3	3	3	4	4
Самофлюсуемость (флюсуемость)	5	5	4	3	3	4	3
Жидкотекучесть, смачиваемость расплавом 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.

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

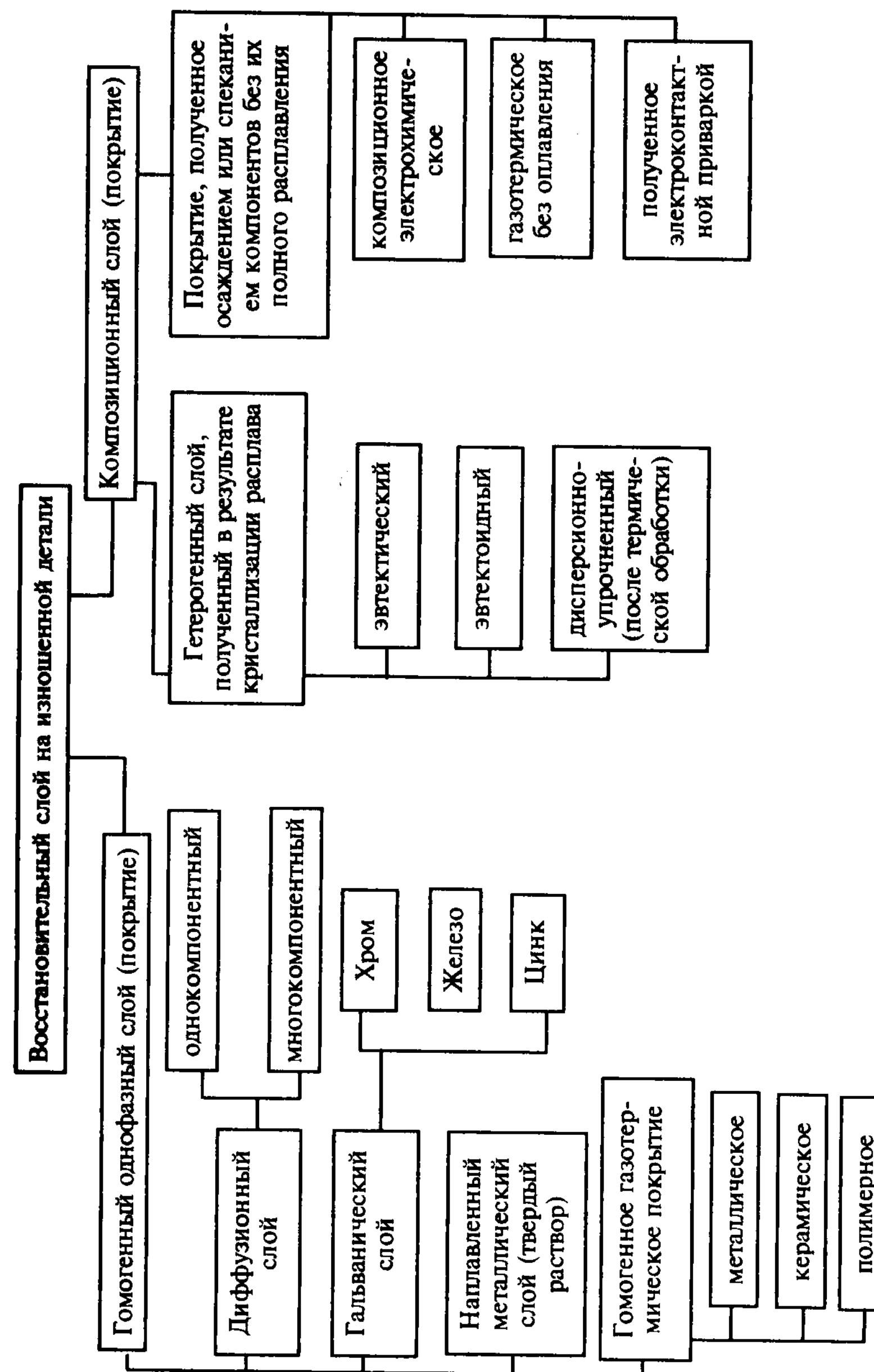


Рис. 3.2. Классификация восстановительных слоев и покрытий на деталях машин

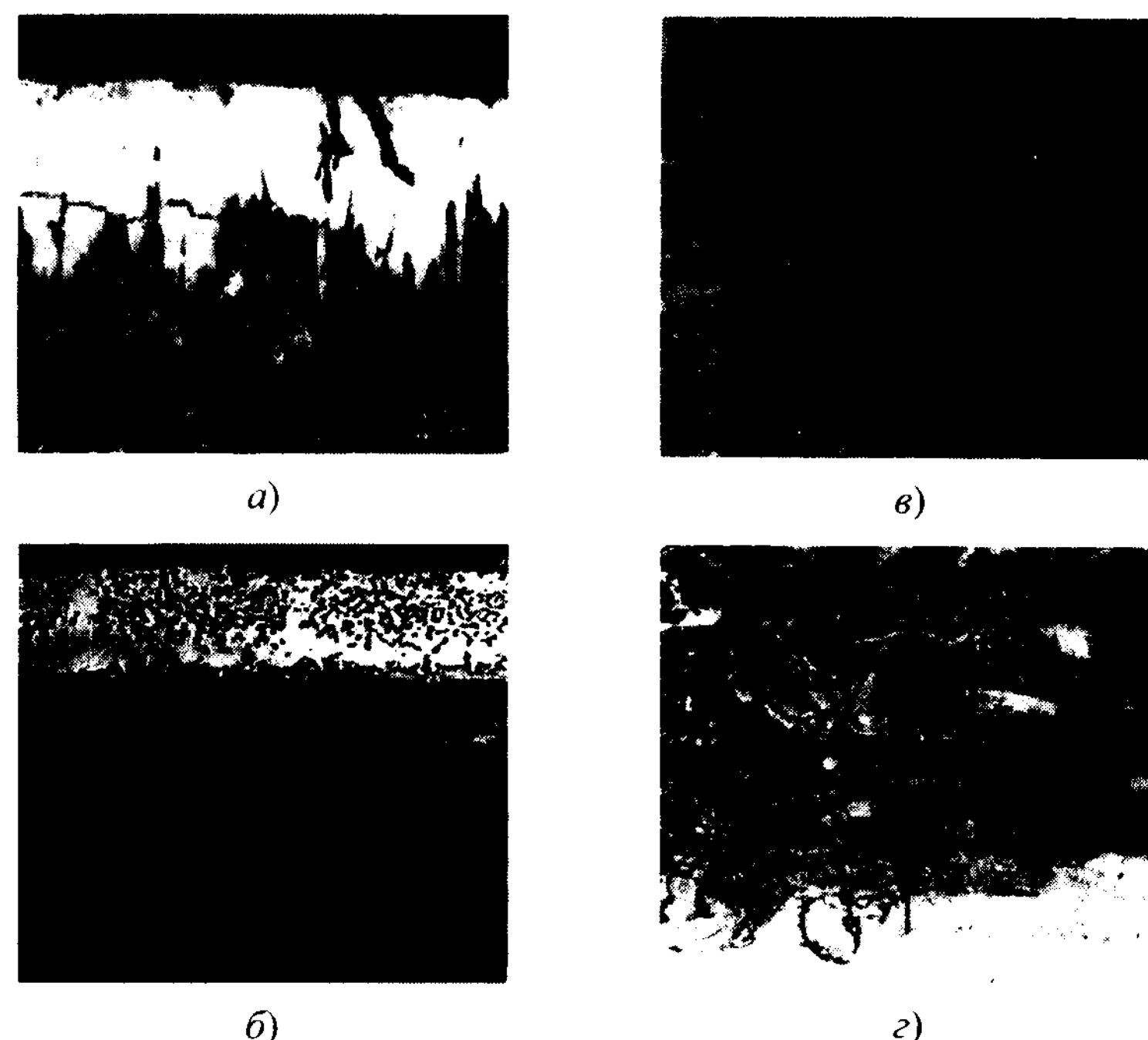


Рис. 3.3. Микроструктуры износостойких слоев и покрытий:
 а – диффузионный боридный слой на углеродистой стали. Гомогенная однофазная структура из боридов Fe_2B ; б – карбидный слой на углеродистой стали, полученный диффузионным хромированием с предварительным цинкованием. Гетерогенная структура, состоящая из карбидов $(Cr, Fe)_{23}C_6$, $(Cr, Fe)_7C_3$ и α -твердого раствора, легированного хромом и цинком; в – наплавленный слой из самофлюсующегося композиционного порошка ПР-Х18Н9Р4. Гетерогенная заэвтектическая структура, состоящая из эвтектики $[Fe_\gamma(Cr, Ni) + (Fe, Cr)B_2]$ и избыточных призматических боридов $(Fe, Cr)B_2$; г – газотермическое антифрикционное покрытие, полученное плазменным напылением композиционного порошка системы Fe–C–B–Cu. Гетерогенная структура, состоящая из α -твердого раствора, боридов Fe_2B 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:

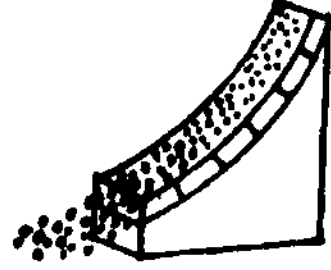
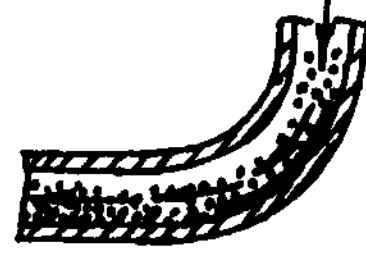
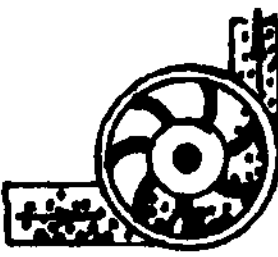
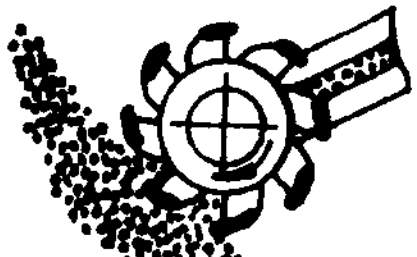
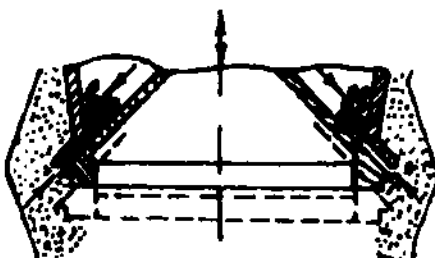
- воздействию каких видов изнашивания подвержена деталь;
- из какого материала изготовлена деталь;
- какой технологический процесс предпочтителен;
- каковы свойства восстановленной поверхности;
- какова допустимая стоимость восстановления.

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).


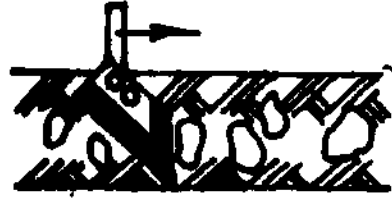

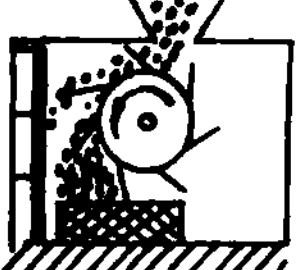

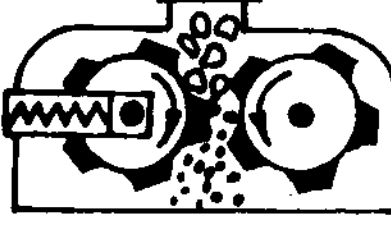
Для обеспечения высокой стойкости против разрушения при различных видах изнашивания наплавленный металл по структуре и свойствам должен отвечать требуемым свойствам. Свойства материала определяются химическим составом и структурой. Ниже приведена краткая характеристика основных легирующих элементов, 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

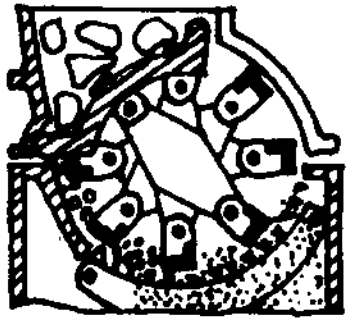
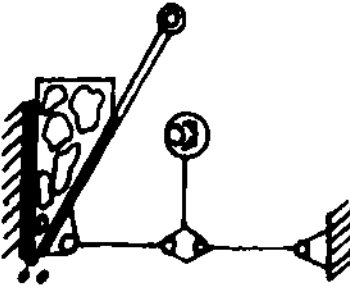
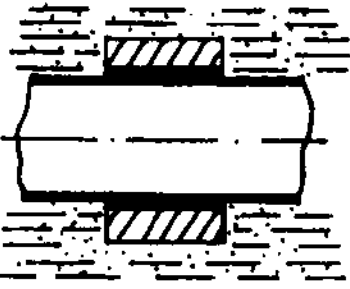
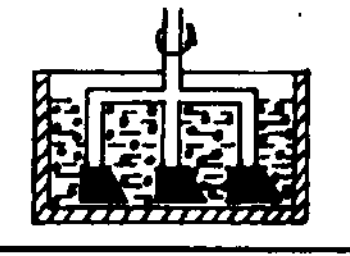
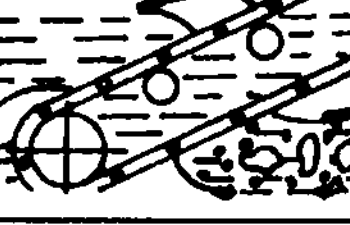
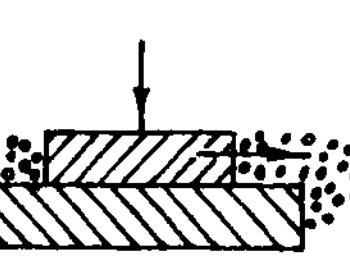
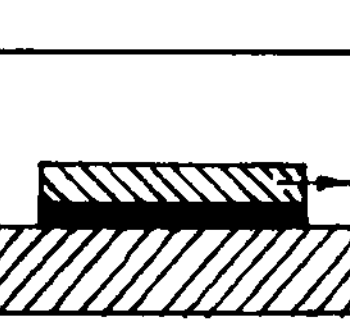
3.3. Характерные условия работы восстанавливаемых и упрочняемых деталей

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, лопатки дробеметов
	4	Кварцевый песок, дробленая сухая порода		Клыки роторного экскаватора, режущие зубья, рабочие детали брикетных прессов
	5	Сталь. При открывании затвора – агломерат, шихта, коллоидная пыль		Газоабразивное. Температура газа до 800 °С

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5
	6	Пластмассы 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 дробеметов, 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		Валки дробилок с шипами

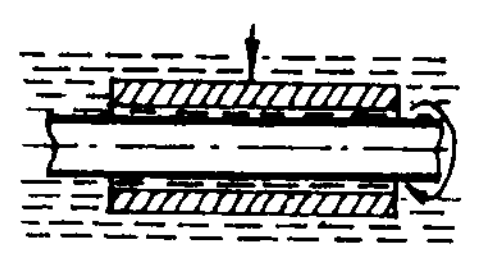
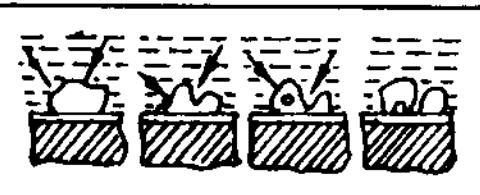
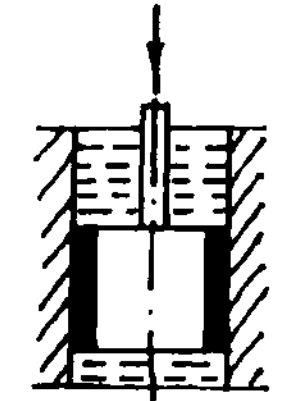
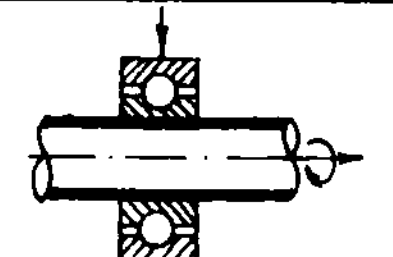
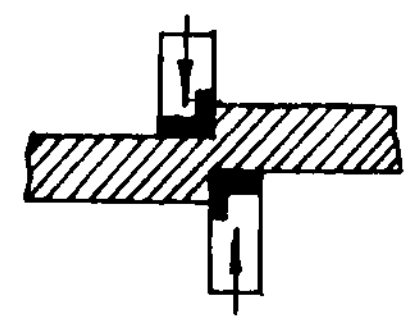
Продолжение табл. 3.3

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

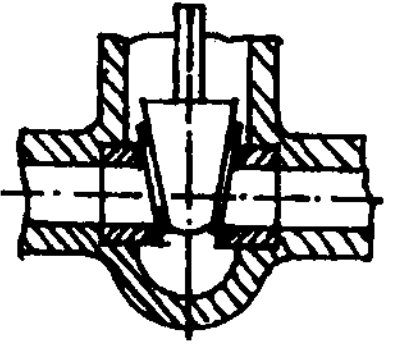
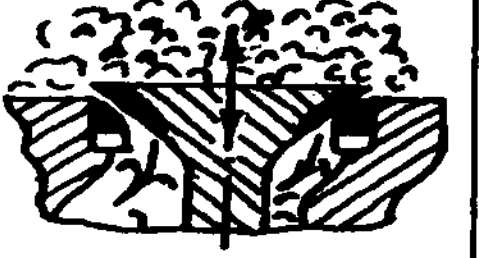
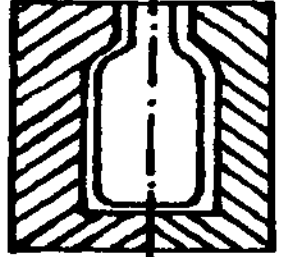
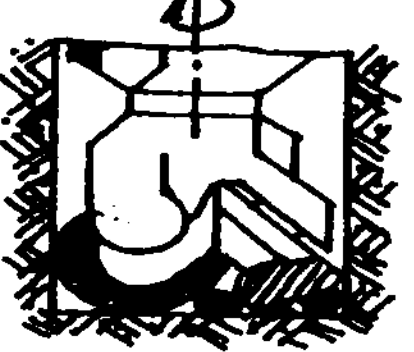
Продолжение табл.3.3

1	2	3	4	5
	27	Сталь	Гидроэрозионное	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, обрезные 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 газообразное	Днища котлов, стенки резервуаров, трубы (внутренние поверхности)
	38	Зола, песок, уголь	Газообразное. 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 σ -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 Cr_3C_2 , тригональный Cr_7C_3 и кубический $Cr_{23}C_6$. Карбид Cr_3C_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 Cr_7C_3 и $Cr_{23}C_6$. 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_7C_3 , 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 $Ni-Cr-B-Si$ гетерогенной 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_c растворяется до 15% Si. В системе $Fe-Si$ образуется ряд силицидов: Fe_3Si , $FeSi$, $FeSi_2$, Fe_5Si_3 , Fe_7Si_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. Высокремнистый 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. Образующая 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 $Fe_{0,4}Mn_{3,6}C$ на фоне боридов Fe_2B . 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 ³	Модуль нормальной упругости, ГПа
Cr_7C_3	13 700...24 000	1655	6,92	360
$Cr_{23}C_6$	12 250...22 800	1550	6,97	380
Cr_3C_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
CrB_2	20 600...21 000	2200	5,2	220
VB_2	21 000...27 400	2400	5,28	~ 270
TiB	32 000...33 000	2980	4,45	455...540
W_4B	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
Al_2O_3	20 000...25 400	2050	3,9	410
SiO_2	11 500	1720	2,65	73
TiO_2	15 000	1850	4,24	280
Cr_2O_3	29 400	2300	5,21	405
B_4C	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; В; Ni; Si	ВСН-9 (140Х10Н2Г2АР), ВСН-6 (110Х14В13Ф2)	ПП-А11170 (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			
		$\alpha > 60^\circ$ 60 М, 20 А	То же	0,8...2 С; ≤ 15 Cr; Mn; Ni; Si		

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 (110Х14В13Ф2) ОМГ-Н (65Х11Н3) ВСН-10 (50Х12Н4М2)	ПП-АН135 (250Х10Н8С2) ПП-АН122-П (30Х5Г2СМ)
		90 АН		0,3...0,7 С; $\leq 7...9$ 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 (350Х15Н4М2)	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 (50Х12Н4М2)	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	≤ 1 С; ≤ 15 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	$\leq 0,5$ С; ≤ 5 Cr; ≤ 3 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	$\leq 0,5$ С; Cr; Mn; $\leq 1,2$ С; 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 С; 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	$\leq 1,5$ С; ≤ 20 Cr; Ni; Mo; Ti		
36-38, 40	Клапаны в потоке горячих газов. Окислительное изнашивание и прогар. Клапаны двигателей внутреннего сгорания	20 К		То же	≤ 2 С; ~ 25 Cr; Ni; Mn	ЦН-2 (190К62Х29В5С2)
		5, 38, 3920 К	≤ 2 С; ~ 25 Cr; 60 Co			
5, 38, 39	Воздействие абразива в коррозионно-активной среде. Коррозионно-механическое разрушение. Насосы и аппараты химического производства, оборудование газоконденсатных месторождений	20 К	10 К	~ 2 С; ≤ 10 Cr; Mn; Ni	ЭЛ-898/21Б (8Х18Н9Г2Б3И08)	ПП-АН106 (10Х14Т) ПП-АН133 (10Х17Н9С5ГТ)
		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; α – угол атаки потока (струи) с абразивом.

3.6. Рекомендации по применению наплавочных электродов фирмы «ESAB» (Швеция)

Основной металл	Рекомендуемые электроды для восстановления и упрочнения деталей (химический состав, мас. %) (индекс условий работы взят по табл. 3.2)				
	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; ≥ 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
Нержавеющая сталь	OK 92.35 ($\leq 0,1$ 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		
	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 % Сг, 2 % Мп, 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, ЛОКС2-1-0,3 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 нержавеющей 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; $\leq 0,25$ Cr; $\leq 0,3$ 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; $\leq 0,25$ Cr; $\leq 0,3$ 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; $\leq 0,25$ Cr; $\leq 0,3$ 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; $\leq 0,25$ Cr; $\leq 0,3$ 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; $\leq 0,3$ Cr; $\leq 0,3$ 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; $\leq 0,3$ Cr; $\leq 0,3$ 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; $\leq 0,3$ Cr; $\leq 0,3$ 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; $\leq 0,4$ Ni; $< 0,025$ S; $< 0,025$ P; остальное Fe
<i>Высоколегированная</i>	
Нп-50ХS	0,27...0,35 С; 0,4...0,7 Мп; 0,20...0,50 Si; 4,0...6,0 Cr; $\leq 0,4$ Ni; $< 0,04$ S; $< 0,03$ 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...0,45 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; ≤ 0,35 Si; 10...12 Cr; ≤ 0,6 Ni; 0,15...0,3 Ti; < 0,03 S; < 0,035 P; остальное Fe
Нп-40Х13	0,35...0,45 С; ≤ 0,8 Мп; ≤ 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; ≤ 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; ≤ 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; ≤ 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; ≤ 0,4 Si; ≤ 0,6 Cr; ≤ 0,6 Ni; 2,5...3 W; 0,2...0,4 V; < 0,03 S; < 0,03 P; остальное Fe
Нп-Х15Н60	≤ 0,15 С; ≤ 1,5 Мп; ≤ 1 Si; 15...18 Cr; 55...60 Ni; < 0,02 S; < 0,03 P; остальное Fe
Нп-Х20Н80Т	≤ 0,12 С; ≤ 0,7 Мп; ≤ 0,8 Si; 19...23 Cr; 0,15...0,4 Ti; < 0,015 S; < 0,02 P; остальное Ni, Fe
Нп-03Х15Н35Г7М6В	≤ 0,03 С; 5...7,5 Мп; ≤ 0,98 Si; 13...16 Cr; 33...36 Ni; 5...7,5 Mo; 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; остальное Fe	Высококачественная легированная сталь. Высокая технологичность нанесения и износостойкость покрытия. Возможность нанесения толстых покрытий без растрескивания
Metco Copper	99,8 Cu	Декоративные и электропроводящие 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 электропроводности, способность радиочастотного экранирования
Sprababbit	7,5 Sb; 3,5 Cu; 0,25 Pb; остальное Sn	Оловянистый баббит. Антифрикционное покрытие подшипников скольжения
Metco Zinc	99,9 Zn	Покрытия, стойкие против атмосферной коррозии
Metco 405	20 Al; остальное Ni	Сплав никеля и алюминия, дающий во время напыления экзотермическую реакцию. Плотное покрытие 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 коррозионная стойкость

Плавающие 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 (сода, 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 ± 5 В; 4, 5 и 6 – то же для напряжения 70 ± 10 В; 7, 8 и 9 – то

же для напряжения 90 ± 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 ≥ 2% и (5) – ударная вязкость ≥ 34,5 Дж/см² при температуре – 40 °С; 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,

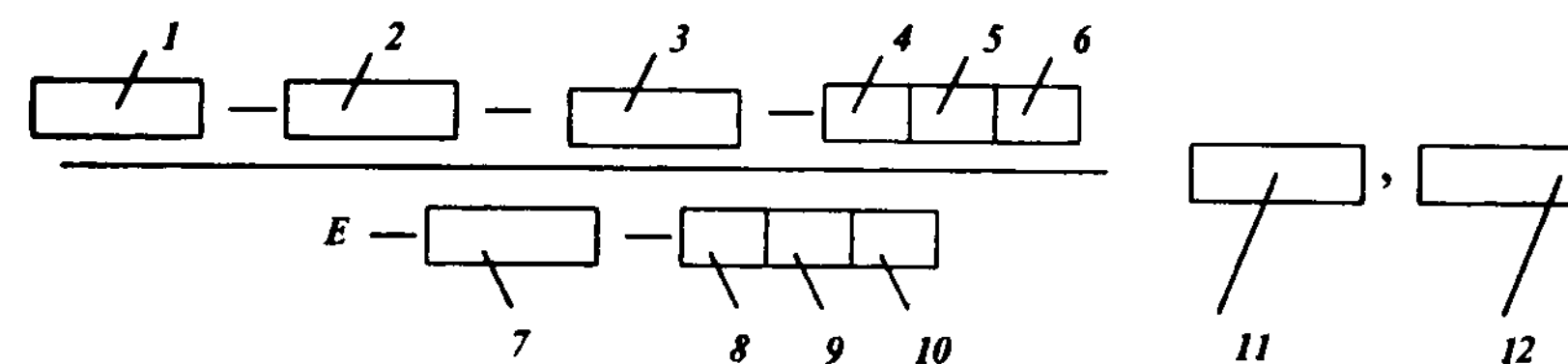


Рис. 3.4. Структурная схема условного обозначения электрода:
1 – тип электрода; 2 – марка электрода; 3 – диаметр электрода; 4 – обозначение назначения электрода; 5 – обозначение толщины покрытия; 6 – группа качества электрода; 7 – группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла 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 покрытие металлических электродов 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 изготовляют 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).

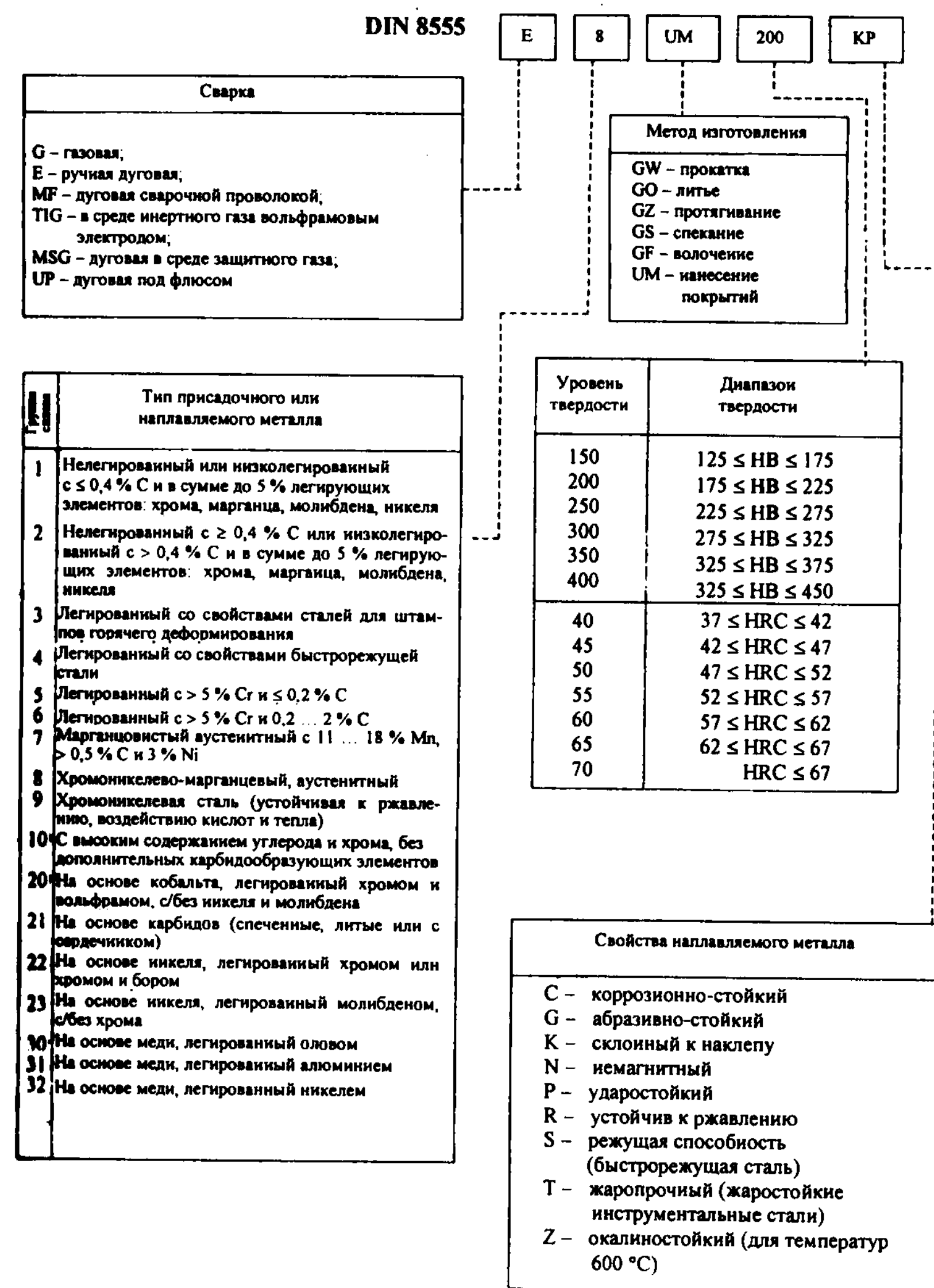


Рис. 3.5. Классификация материалов для наплавки поверхностей твердым сплавом в соответствии с DIN 8555 T1 (1983 г.)

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-65Х25Г13Н3	Наплавка изношенных участков и заварка дефектов литья 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	90X4Г2СЗР	Наплавка быстроизнашиваемых деталей горнодобывающих и строительных машин и металлургического оборудования. > 58 HRC (1-4; 9)
ОЗН-7	75X5Г4СЗРФ	Наплавка быстроизнашиваемых деталей преимущественно из стали 110Г13Л. > 56 HRC (10-14)
ОЗН-7М	75X5Н2СФР	Наплавка быстроизнашиваемых деталей преимущественно из стали 110Г13Л. > 56 HRC (10-14)
ВСН-6	Э-110X14В13Ф2	Наплавка быстроизнашиваемых деталей из углеродистых и высокомарганцовистых сталей. 51...56,5 HRC (22; 18; 19)
ЭНУ-2	360X15ГЗР	Наплавка быстроизнашиваемых стальных и чугунных деталей (ударные нагрузки умеренные). > 58 HRC (2; 27)
Т-590	Э-320X25С2ГР	Наплавка быстроизнашиваемых стальных и чугунных деталей (ударные нагрузки минимальные). 58...64 HRC (1; 7; 6)
Т-620	Э-320X23С2ГТР	Наплавка быстроизнашиваемых стальных и чугунных 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	110X4М8В2СФ	Наплавка при изготовлении металлорежущего инструмента, ремонте тяжело нагруженных штампов холодной и горячей (до 650 °С) штамповки. 59...64 HRC (31-33; 35)
ЦН-6Л	Э-08X14Н8С6Г	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-13X16Н8М5С5Г4Б	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	10X33Н11М3СГ	Наплавка кузнечно-штамповочной оснастки холодного и горячего деформирования металлов, быстроизнашиваемых 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	11X31М3ГСЮФ	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 Mn; 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 C; 0,4 Mn; 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 C; 1,0 Mn; 1,0 Si; 2,0 Mo; 27,0 Ni; 3,5 Co; 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; $\leq 0,04$ C; $\leq 0,1$ Mn; $\leq 0,14$ Si; $\leq 0,06$ Cu; $\leq 0,1$ Fe)	То же	Высокая технологичность при обработке резанием
ОЗЧ-4	Сплав на никелевой основе (0,3 C; 0,05 Mn; 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	≤ 0,5 Si; ≤ 0,2 Fe; Al – основа	Сварка и наплавка изделий из технически чистого алюминия
ОЗАНА-2	≤ 5,0 Si; ≤ 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; ≤ 0,005 Ti; 0,19 Al; ≤ 0,15 Fe; Cu – основа	Сварка и наплавка технически чистой меди, содержащей ≤ 1 % O ₂
АНЦ/ОЗМ-3	≤ 0,4 Mn; ≤ 0,15 Si; ≤ 0,15 Al; ≤ 0,15 Fe; ≤ 0,03 B; Cu – основа	
АНЦ/ОЗМ-4	≤ 0,2 Mn; ≤ 0,05 Si; ≤ 0,2 Al; ≤ 0,3 Fe; ≤ 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
ВХН-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)	≥ 52 HRC ≥ 50 HRC ≥ 44 HRC	Абразивное изнашивание с умеренными ударными нагрузками (1; 2; 6; 7)
Стеллиты: ПР-В3К (ПРН-У10ХК63В5) ПР-В3К-Р (ПРН-У20ХК57В10) ПР-В16К	≥ 40 HRC ≥ 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
Ultimum 8811 (Швейцария)		Высокое сопротивление деформации
Drultek 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 _{пл.} , °C	HRC	Свойства покрытий
ПГ-С27	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-С1	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-Х30ГСП	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
ПР-10P6M5	1 C; 6,5 W; 5,2 Mo; 4,1 Cr; 1,9 V	Высокая износостойкость в сочетании с высокой прочностью и ударной вязкостью
ПР-Р0М6Ф3	1,1 C; 6,2 Mo; 4,2 Cr; 2,6 V	
ПР-Р0М6Ф1	0,7 C; 6,2 Mo; 4,2 Cr; 1 V	
ПР-17X5B3MФ5C	1,7 C; 3,1 W; 0,4 Mo; 5,4 Cr; 5,1 V; 2,4 Si	Высокая износостойкость в условиях воздействия механических нагрузок, абразива и повышенных температур
ПР-22X6BMФ8C	2,1 C; 1 W; 0,4 Mo; 5,9 Cr; 7,8 V; 1,4 Si	
ПР-Х3ВМФ5C	1,7 C; 1,5 W; 1,4 Mo; 2,9 Cr; 5,1 V; 0,8 Si	
ПР-Х12МФ	1,5 C; 0,5 Mo; 11,9 Cr; 0,2 V	Термическая устойчивость в сочетании с высокой ударной вязкостью
ПР-Х12МФ3Т	3,9 C; 26 Cr; 1,5 Si; 1,7 Ni; 0,3 W; 1,1 Mo	
ПР-25X5МФС	2,9 C; 29 Cr; 0,8 Si; 4,2 Mn; 4 Ni	
ПР-30X4B2M2ФС	0,3 C; 2,7 W; 3,5 Mo; 4 Cr; 0,5 V; 0,8 Si	Высокая износостойкость при температуре до 700 °C. Повышенная вязкость и износостойкость при трении и работе с ударами
ПР-0X7H8M6C	0,006 C; 7,5 Mo; 6,7 Cr; 0,4 V; 0,8 Si	
ПР-25X10Г10Ю	0,25 C; 10 Cr; 0,4 Si; 10,2 Mn; 0,2 Al	
ПР-65X25Г13Н3	0,6 C; 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, износостойкость 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, износостойчивы 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-10К01 (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
ПГ-1180X13C2P	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
ПГ-1177X15C3P2		0,5 C; 15,0 Cr; 3,2 Si; 2,0 B; до 5 Fe	37...42	1050
ПГ-1171X16C3P3		0,7 C; 16,0 Cr; 3,2 Si; 2,7 B; до 5 Fe	47...52	
ПГ-1170X17C4P4		1,0 C; 17,0 Cr; 4,1 Si; 3,6 B; до 5 Fe	55...59	990
ПГ-1167X18C5P4		1,2 C; 17,5 Cr; 4,5 Si; 4,3 B; 1,0 Mn; до 5 Fe	60...62	1000
ПГ-1165X25C3P3		1,2 C; 25 Cr; 2,7 Si; 2,5 B; 0,2 Mn; до 5 Fe	45...51	
ПГ-1168X21C5P		0,4 C; 21,0 Cr; 4,5 Si; 1,1 B; до 5,5 Fe	44...50	1050
ПГ-CP2	ГОСТ 21448-75	0,3 C; 13,5 Cr; 2,5 Si; 1,8 B; до 5 Fe	40...45	
ПГ-CP3		0,5 C; 15,0 Cr; 3,0 Si; 2,4 B; до 5 Fe	50...55	
ПГ-CP4		0,8 C; 16,5 Cr; 3,7 Si; 3,3 B; до 5 Fe	58...62	
ПГ-11X1C4P3		0,4 C; 6,8 Cr; 4,1 Si; 3,0 B; до 3 Fe		980
ПГ-11Д42CP	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 НВ	
НПЧ-2		0,2 C; 2,5 Si; 2,4 B; 0,6 Fe; 4...5 Cu	300... 345 НВ	
НПЧ-3		0,2 C; 0,75 Si; 0,8 B; 0,3 Fe; 40 Cu	180... 220 НВ	
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 НВ	
ПГ-12Н-01		0,6 C; 11,0 Cr; 2...3 Si; 42,0 B; 2,0 Fe	35...40	
ПГ-12Н-02	ТУ 48-4206-156-82	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
ПГ-АН4	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 B; до 3,0 Fe	40...48	Нет сведе- ний
ПГ-АН5		0,9...1,5 C; 14,0...18,0 Cr; 2,5...3,5 Si; 2,0...3,0 B; до 3,0 Fe	45...55	
ПГ-АН6	ТУ ИЭС 874-83	0,9...1,8 C; 14,0...18,0 Cr; 2,5...3,5 Si; 2,5...3,5 B; до 3,0 Fe	54...55	
ПГ-АН8		1,4...2,0 C; 28,0...32,0 Cr; 2,8...3,5 Si; 3,0...4,5 B; до 3,0 Fe	55...65	
ПГ-АН9		0,5...1,2 C; 6,0...10,0 Cr; 1,5...3,5 Si; 2,8...3,5 B; 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, НРС	T _{пл} , °C
1	2	3	4	5
MSFNI 1	Япония	0,25 C; 0...10,0 Cr; 1,5...3,5 Si; 1,0...2,5 B; 4 Fe; до 4 Cu	15...30	Нет сведе- ний
MSFNI 2		0,5 C; 9...11 Cr; 2,0...3,5 Si; 1,5...2,5 B; 4 Fe	30...40	
MSFNI 3		0,4...0,9 C; 10,0...15,0 Cr; 3,0...4,5 Si; 2,0...3,0 B; 5 Fe	40...50	
MSFNI 4		0,4...0,9 C; 12,0...17,0 Cr; 3,5...5,0 Si; 2,5...4,0 B; 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	США, «Woll Colmonoy»	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 42А		0,45 C; 10,0 Cr; 2,25 Si; 2,0 B; 2,5 Fe	35...40	1105
Колмоной 42Н		0,45 C; 10,0 Cr; 2,75 Si; 2,0 B; 2,75 Fe	40...50	1110
Колмоной 5		0,65 C; 11,5 Cr; 3,75 Si; 2,5 B	45...50	1066
Колмоной 52М		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; 0,8 Fe	30	
1-35		0,17 C; 4,7 Cr; 3,1 Si; 1,5 B; 1,0 Fe	35	1020
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		
XP1	Герма- ния	0,05 C; 10,0 Cr; 2,0 B	40	1050
XP2		0,05 C; 2,0 B	20	1080
B55-P		0,03 C; 17,0 Cr; 3,5 B	60	1050
B55-Mo-P		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.

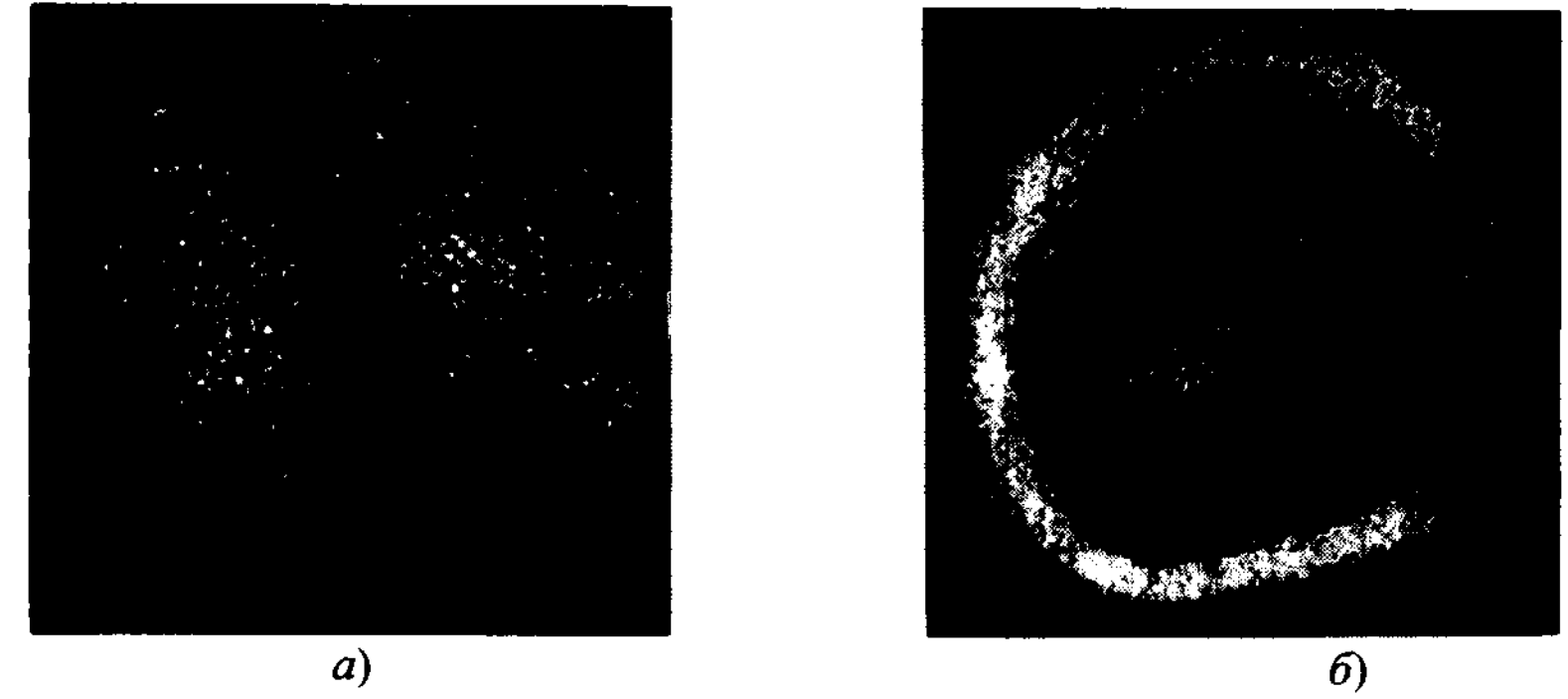
3.22. Объемно-легированные самофлюсующиеся порошки на железной основе

Марка порошка	Изготовитель, стандарт	Химический состав, мас. %	Твердость покрытий, HRC	Температура плавления, °С
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 ГОСТ 14546-75	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		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		2,0 В; 5,5 С; 2,5 Si; 37,0 Cr; 4,0 Mn	54	
ПГ-АН-1		1,8 В; 2,8 С; 2,5 Si; 32 Cr; 1,5 Mn	36...42	
ЛГС-1	ГОСТ 21448-75	0,7 В; 1,5 С; 5,0 Si; 2,0 Cr; 4,0 Ni; 4,0 Mn; 2,5 Cu		
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	

С-300	Молодечненский завод порошковой металлургии (Беларусь), ТУ 231-130-004-89	3,2 В; 1,2 С; 3,5 Si; 14,0 Cr; 6,0 V	Нет све- дений
Колмоной С 290	США	1,5 В; 0,45 С; 13,3 Si; 2,5 Cr; 37,0 Ni	Нет све- дений
Колмоной С 395			
Колмоной С 495			
Ф303	Япония	0,5 В; 2,0 Si; 13,0 Cr; 37,0 Ni; 5,0 Mo	Нет све- дений
Ф307		0,7 В; 2,0 Si; 13,0 Cr; 37,0 Ni; 4,5 Mo	
А-276	Швеция	0,007 В; 0,03 С; 0,6 Si; 15,0 Cr; 1,5 Mn; 1,0 Co; 1,2 Mo	Нет све- дений
МРАZIS 550	Германия	2,2 В; 4,5 С; 1,0 Si; 45 Cr	
СПАУ-1	Болгария	0,5...2,0 В; 1,0...3,0 С; 1,0...4,0 Si; 16,0...22,0 Cr; 3,0...0,6 Ni	60...65
СПАУ-2		0,5...2,0 В; 1,0...3,0 С; 1,0...4,0 Si; 20,0...26,0 Cr; 1,4 Mn	48...55
СПАУ-3		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	51...55
			46...53

3.23. Диффузионно-легированные самофлюсующиеся порошки на железной основе

Марка порошка	Химический состав, мас. %	Твердость наплавленных покрытий, НВ	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 теплостойкости
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

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

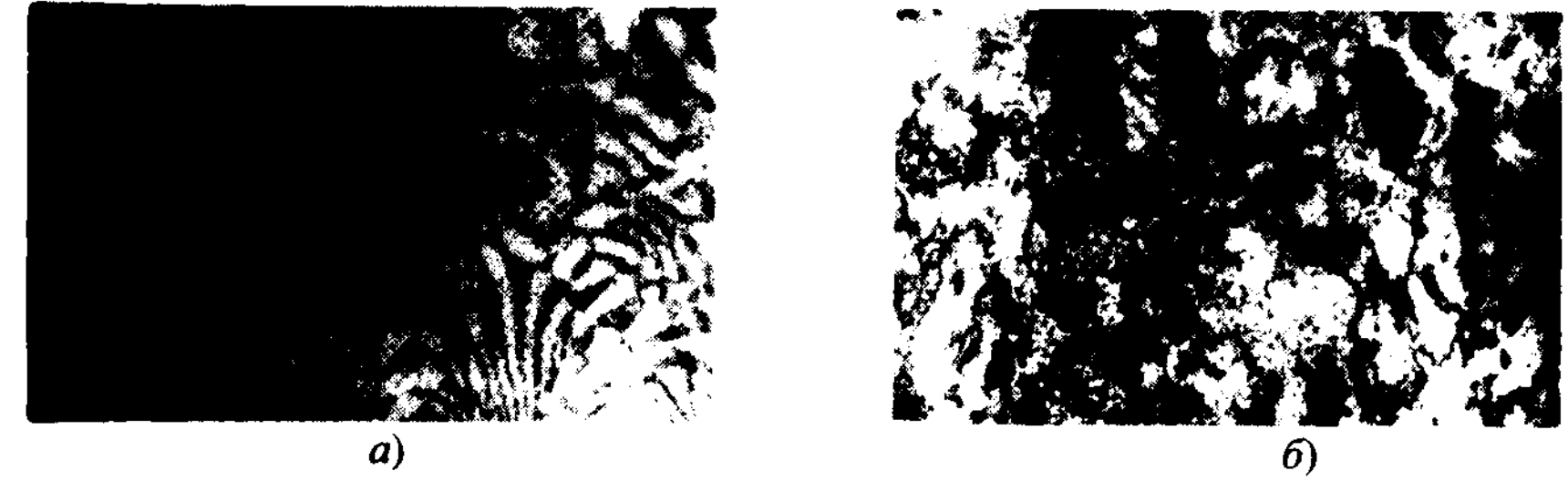


Рис. 3.8. Структуры износостойких и антифрикционных покрытий из диффузионно-легированных сплавов:

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, магния, 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 ₂	ZrO ₂	MgO ₂	BeO
BeO	2573	2273	2173	2373	2173	2073	—
MgO	2073	2273	1873	2473	2273	—	2073
ZrO ₂	1873	1873	2473	2473	—	2273	2173
ThO ₂	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 ZrO₂.

Порошки из стабилизированного ZrO₂ 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. Покрытия из порошков на основе диоксида циркония стойки в расплавах металлов и защищают поверхность от эрозии частицами при температуре > 1000 К.

Покрытия 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 (Cr₂O₃ + TiO₂) рассчитаны на покрытия, стойкие к абразивному воздействию частицами и твердыми поверхностями при повышенных температурах. Покрытия 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

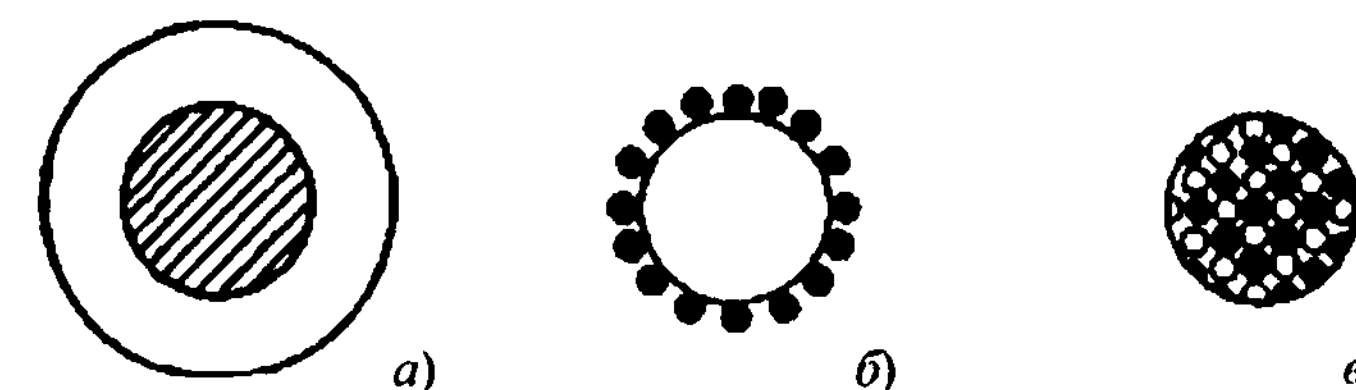


Рис. 3.9. Основные разновидности конструкций частиц композиционных порошков:
а — плакированные; б и в — конгломератные

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 конгломерирования. 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, конгломерированного 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-кремнивого 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 покрытий в условиях абразивного изнашивания и трения скольжения. Относительно низкая стоимость покрытий
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 сердцевиной 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 сердцевины, 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-

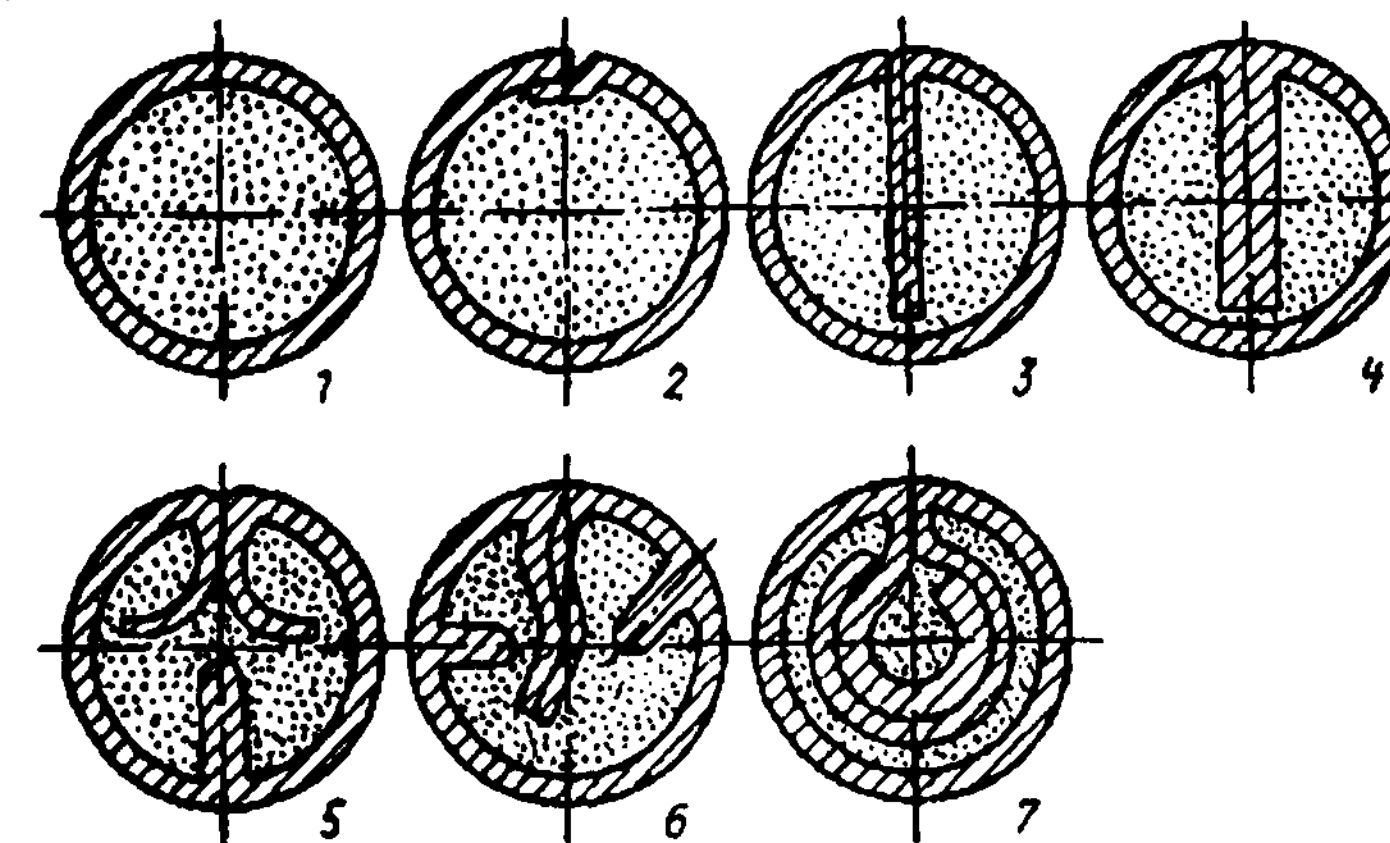


Рис. 3.10. Конструкция порошковой проволоки:
1 – с плотным стыком; 2 – со стыком внахлестку; 3 – с одним загибом оболочки; 4 – с двумя загибами оболочки; 5, 6 – сложного сечения; 7 – двухслойная

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 предвари- тельного 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 предвари- тельного 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 С; 0,6 Мп; 0,2 Si; 15,0 Cr; 2,0 Ni; 0,2 Ti	240... 260 НВ	Высокая стойкость против кавита- ции и коррозии	Высокое	Удовле- твори- тельная	Без затруд- нений
0,7 С; 3,5 Мп; 0,5 Si; 4,0 Cr; 3,0 Мо; 1,0 V; 0,7 В; 0,1 Ti	57...62	Высокая	Удовле- твори- тельное		Шлифо- вание. Резание только после отжига
0,14 С; 0,6 Мп; 0,8 Si; 0,4 Ti	240... 260 НВ				Без затруд- нений
0,25 С; 0,6 Мп; 1,2 Si; 5,0 Cr; 1,2 Мо; 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-30X4B3M3ΦC (ГОСТ 26101-84)	33; 34	150...200	20...25	Предварительный подогрев до 250...300 °C, отпуск при 400 °C и медленное охлаждение со скоростью 40...60 °C/ч
		210...260	22...27	
		250...300	23...28	
ПП-Нп-30X4Г2СМ (ГОСТ 26101-84)	21; 25; 26	200...230	24...26	Предварительный подогрев до 250...300 °C. Рекомендуется широкая наплавка с поперечным колебанием электрода
ПП-Нп-30X5Г2СМ (ГОСТ 26101-84)	18; 22; 25; 30	320...360	25...27	Предварительный подогрев до 250...300 °C
ПП-Нп-50X6СГТР (ТУ ИЭС 516-85)	20; 31	180...220	21...24	Предварительный подогрев до 400 °C, одночасовой отпуск при температуре 300...400 °C с последующим замедленным охлаждением
		280...320	25...27	
ПП-Нп-40X4Г2СМНТФ	8; 25; 26	150...300	22...26	При наплавке на углеродистые стали предварительный подогрев до 250...300 °C
ПП-Нп-40X7M1ΦСТЦ (ТУ ИЭС 311-81)	34; 35	200...220	22...24	Предварительный подогрев до 350 °C, затем медленное охлаждение со скоростью 40...60 °C/ч
		220...260	24...26	
ПП-Нп-90Г13Н4 (ГОСТ 26101-84)	10; 11; 13; 14; 23	220...240	20...22	Не допускается чрезмерный разогрев наплавляемого изделия. При многослойной наплавке обязательна проковка каждого наплавленного 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	Удовлетворительное	Высокая	Затруднена
0,3 C; 1,6 Mn; 0,8 Si; 4,0 Cr; 0,6 Mo; 0,2 Ti	50...56				
0,3 C; 1,6 Mn; 0,8 Si; 5,0 Cr; 0,6 Mo; 0,2 Ti	28...32 после термо- обра- ботки	Очень высокая			Шлифование. Резание только после отжига
0,5 C; 0,5 Mn; 1,2 Si; 8,0 Cr; 0,2 Ti; 0,7 V	≥ 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	Удовлетворительная	
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				
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 наплавка в один слой с поперечными колебаниями электрода с максимально возможной погонной энергией (изменяется за счет уменьшения скорости наплавки). При увеличении тока дуги (> 220 А) возможно образование отдельных поперечных трещин
ПП-Нп-200Х15С1ГРТ (ГОСТ 26101-84)	9; 12; 13; 17	400...420	28...32	Рекомендуется широкослойная наплавка на увеличенном вылете с колебательными движениями электродной проволоки. Общая толщина наплавленного слоя ≤ 12 мм
ПП-Нп-250Х10В8С2Т (ГОСТ 26101-84)	9; 16; 17	380...420	30...34	Рекомендуется наплавка на повышенном вылете (70...90 мм) с поперечными колебаниями электродной проволоки 30...55 мм. Сварочная ванна — с пониженной жидкотекучестью. Допускается многослойная наплавка отдельных участков толщиной до 40...50 мм
ПП-Нп-350Х10В8Т2 (ТУ 14-283-16-83)	9; 17; 18	220...650	26...34	При наплавке с колебаниями размахом 30...80 мм допускается многослойная наплавка общей толщиной до 20...25 мм, а также повторная наплавка деталей без удаления остатков наплавленного слоя

Продолжение табл. 3.27

6	7	8	9	10	11
2,0...2,2 С; 1,0...1,3 Mn; 0,7...1,1 Si; 0,3...0,5 Cr; 0,06...0,1 В; 0,08...0,12 Ti; 0,15...0,18 Al	48...56	Высокая	Низкое	Удовлетворительная	Шлифование. Резание только после отжига
2,0 С; 1,0 Mn; 1,5 Si; 15,0 Cr; 0,3 Ti; 0,7 В	50...58		Удовлетворительное	Высокая	
2,6 С; 2,0 Si; 10,0 Cr; 8,0 Nb; 1,0 Ti					
3,5 С; 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		Без предварительного подогрева
ПЛ-Нп-350Х25С3ГЗМН (ТУ ИЭС 387-83)	1; 5; 10	700...1200	28...32	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)				
ПЛ-Нп-500Х40Н40СРЦ (ТУ 14-1-2942-80)	5	650...900	30...34	Рекомендуется на- плавка с колебатель- ными движениями электрода. Размах 100...450 мм

Продолжение табл. 3.27

6	7	8	9	10	11
4,5 С; 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 С; 1,8 Mn; 0,8 Si; 0,2 Ti	20...26	Низкая		Низкая	Удовле- твори- тельная
3,5 С; 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 С; 22,0 Cr; 0,8 Mo; 1,8 В; 0,6 Ti	56...63	Очень высокая			
0,8 С; 22,0 Cr; 3,0 В; 0,6 Ti	58...67		Низкое		
5,0 С; 1,0 Mn; 2,5 Si; 40,0 Cr; 40,0 Ni; 0,2 В; 1,0 Ti	48...58	Высокая			
5,0 С; 1,0 Mn; 2,5 Si; 40,0 Cr; 40,0 Ni; 0,2 В; 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 проволоочного и стержневого процессов по сравнению с порошковым являются нагрев материала до жидкого состояния и нанесение на поверхность изделия покрытий из таких расплавленных частиц с высокой

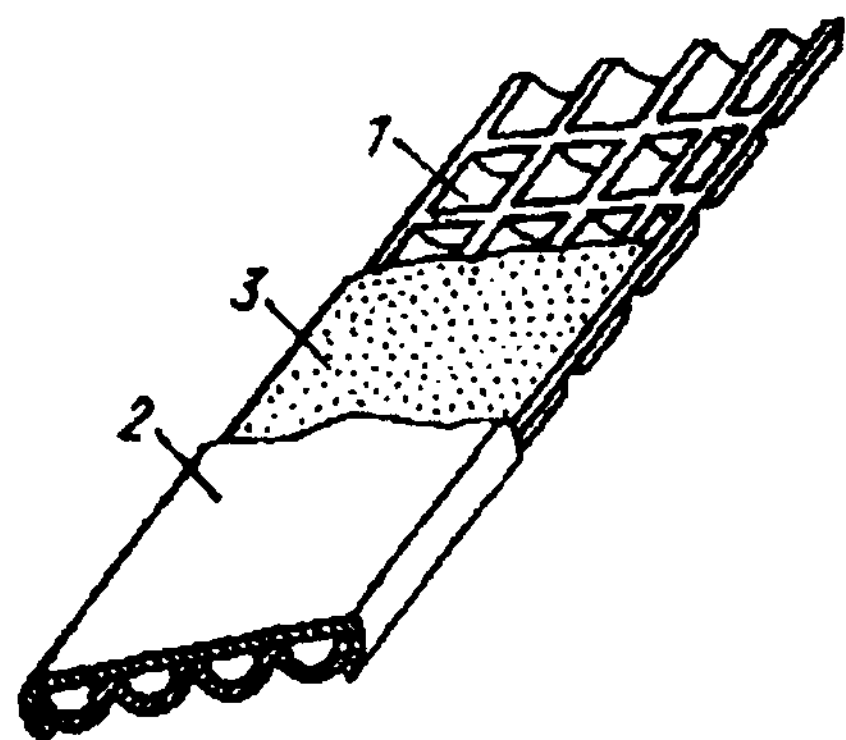


Рис. 3.11. Конструкция порошковой ленты:

1 и 2 – нижняя гофрированная часть стальной оболочки и верхняя соответственно; 3 – шихта из молотых порошков

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;

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 – Рокдюор (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 самофлюсующегося сплава и никель-алюминиевого композита, предназначен исключительно для напыления покрытий без оплавления. Нагрев основного металла детали после напыления поверхности ≤ 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 подслоя из материала Ниалид-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 Ниалид.

Шнуровой материал применяется для восстановления шпинделей станков, поршней гидравлических домкратов, опорных поверхностей подшипников, сальников и кулачковых валов, коленчатых валов, крышек гидравлических 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 подслоя из материала Ниалид-экзо бонд на все черные металлы, медные и алюминиевые сплавы. Применять его без подслоя не рекомендуется. Возможно применение в качестве подслоя шнурового материала Ниалид. 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 Ниалид-экзо бонд или Ниалид. 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 Ниалид-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: $Al_2O_3-SiO_2$ (муллит), Al_2O_3-MgO (шпинель), ZrO_2-CaO , ZrO_2-MgO , ZrO_2-SiO_2 ;
- на основе никеля: Ni-C, Ni-Cu-NB-C;
- на основе алюминия: Al-NiB;
- на основе хромоникелевых сталей;
- на основе керметов типа $Al_2O_3(ZrO_2) + Ni(Ni-Cr, Ni-Al)$;
- на основе металлокерамики типа $Cr_3C_2 + Ni(Ni-Cr, Ni-Al)$.

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 ($TiO_2-Al_2O_3-Cr_2O_3$) 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 ₂ O ₃ ; 32,0 Al ₂ O ₃ ; 10,0 SiO ₂ ; 6,0 TiO ₂	16...63	60 HRC
Алюмин (корунд)	> 99,5 Al ₂ O ₃		55 HRC
Голубой корунд	> 96,5 Al ₂ O ₃ ; 3,0 TiO ₂		
Черный корунд	87,0 Al ₂ O ₃ ; 13,0 TiO ₂		
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		55...62 HRC
Рокдюр 6740 (композиционный материал с карбидом вольфрама)	Ni-Cr-B-Si + 40 % WC (композит)	40...100	57...63 HRC
Рокдюр 6750 (композиционный материал с карбидом вольфрама)	Ni-Cr-B-Si + 40 % WC-W ₂ 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
<i>Сер. Сфекорд-экзо</i>			
Сфекорд-экзо № 101	Ni, Mo, Al	40...100	100 HRB
Ниалид-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-А)	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-АМ)	Ni, Cr, Mo, B, Si, Al		28...42 HRC (65...72 HRA)
Сфекорд-экзо № 400	WC, Ni, Cr, B, Si, Al	16...100	≥ 40 HRC
Сфекорд-экзо № 50			
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 ²	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	$5 \cdot 10^3 \dots 10^9$	
Импульсно-периодический лазер	$10^7 \dots 10^{14}$	Наплавка, закалка

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 °С, 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.

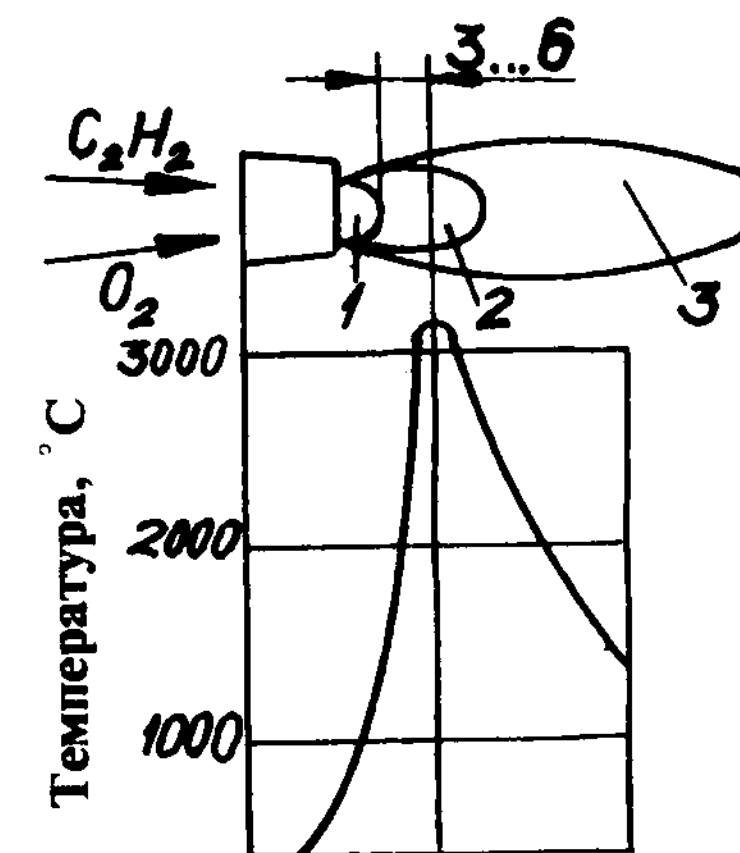


Рис. 3.12. Строение ацетилено-кислородного пламени и распределение в нем температуры:
1 – ядро пламени;
2 – восстановительная (сварочная) зона; 3 – оксидная зона

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 α 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 ацетилено-кислородного пламени на единицу объема ацетилена требуется 2,5 объема кислорода. В зону сварки из кислородного баллона подается 1,15 необходимого 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: $l_{кат} = 10^{-4}...10^{-5}$ 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 $U_{кат} = 5...25$ 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.

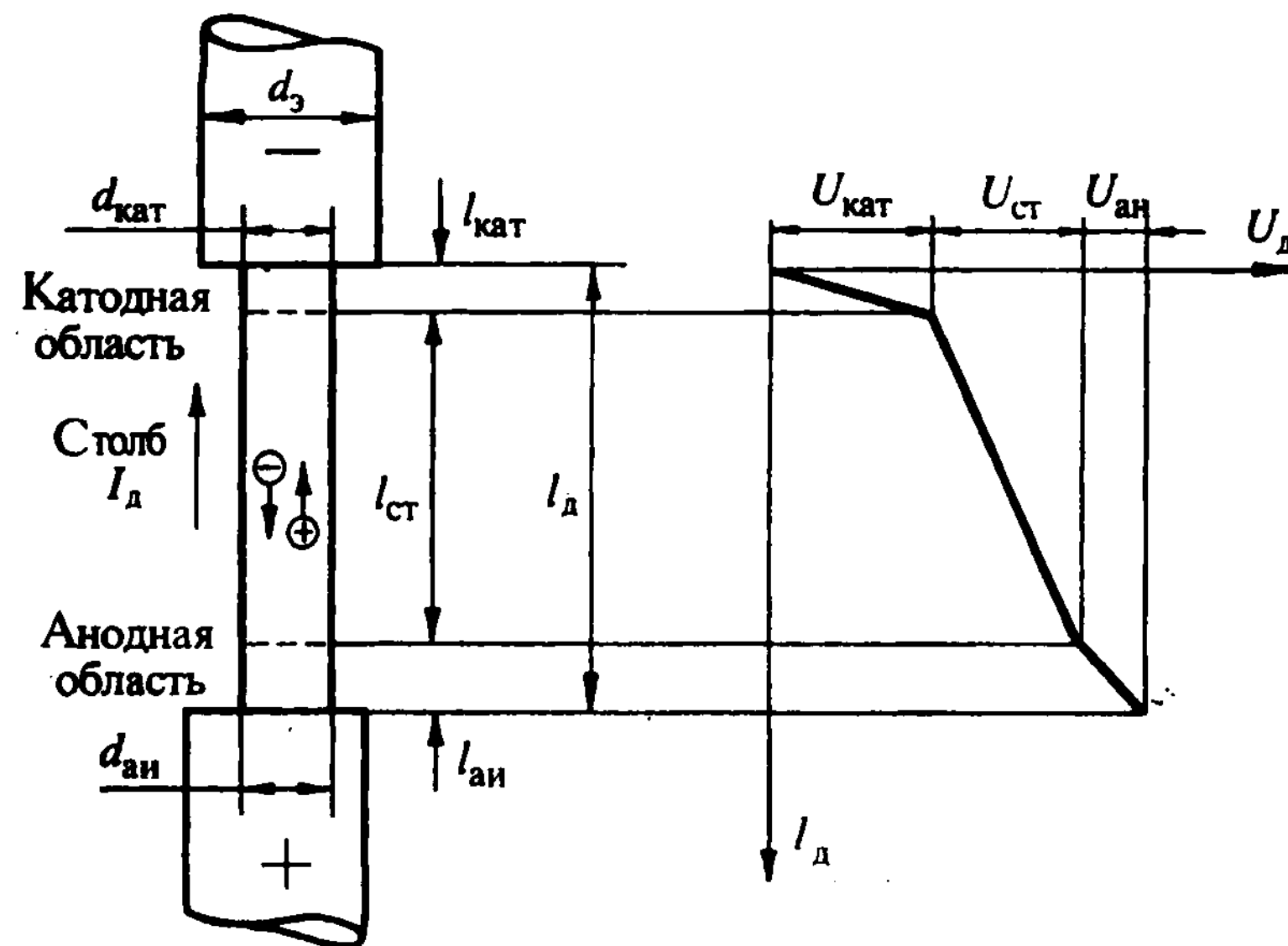


Рис. 3.13. Модель сварочной дуги и распределение потенциала по ее длине:
 l_d – текущее значение длины дуги

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 α_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 ~ 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 А/мм².

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 *I* 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.

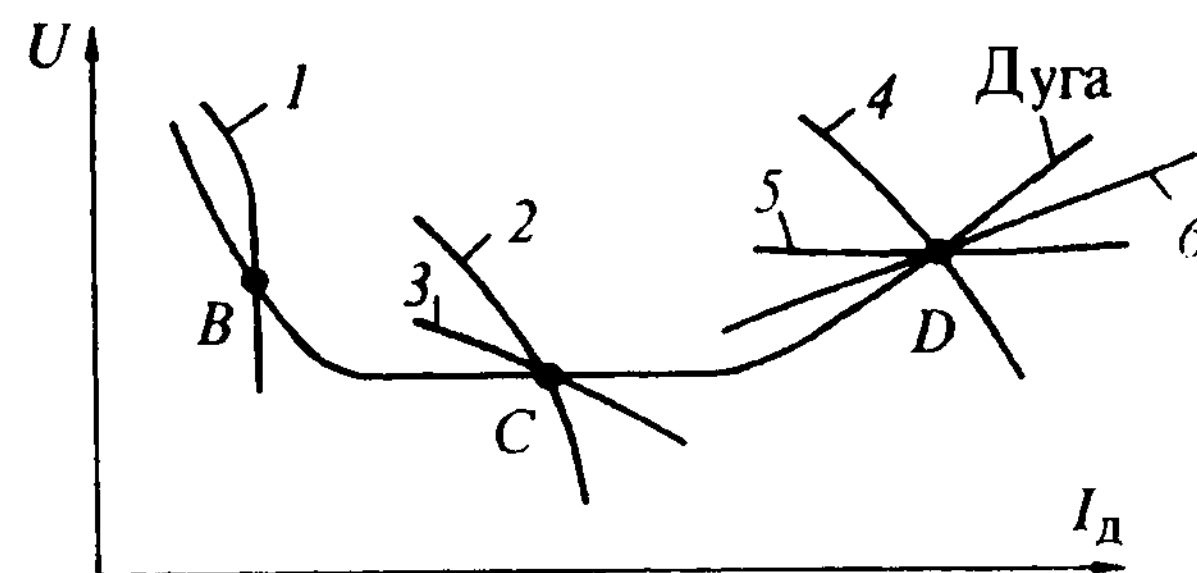


Рис. 3.15. Схема выбора характеристики источника питания в зависимости от характеристики дуги

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. Двухатомные газы (например, азот) обладают большей энтальпией, чем одноатомные (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.

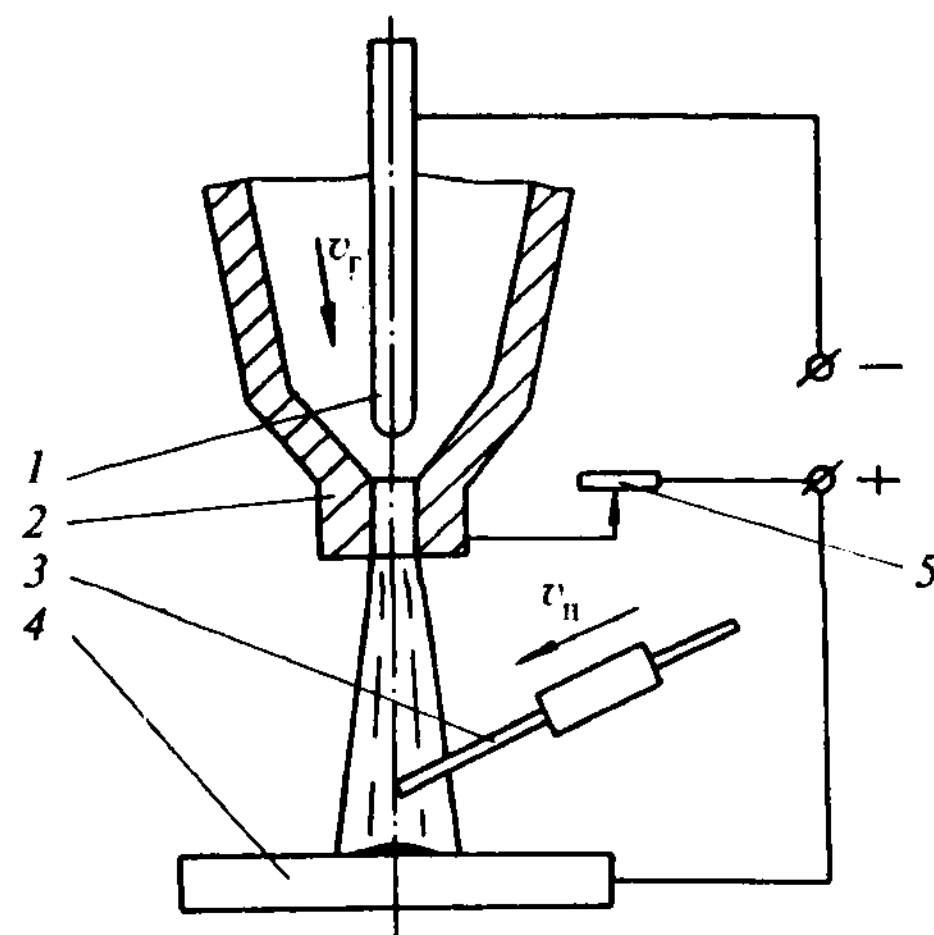


Рис. 3.16. Схема плазменного генератора:
1 - электрод-катод; 2 - сопло;
3 - проволоочный или прутковый материал;
4 - восстанавливаемая деталь; 5 - реостат

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/см²·с; k - коэффициент сосредоточенности удельного потока тепла, см⁻²; 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 Δ 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 Δ_K - глубина проникновения тока в материал, нагретый выше температуры магнитных превращений (точки Кюри), так называемая "горячая" глубина проникновения, м; K и φ - коэффициенты; ρ - плотность материала, кг/м³; 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 10⁵ 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/см² а для импульсно-периодического 10^4 ... 10^{11} кВт/см².

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 ... 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; φ – 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

$$q = \eta_{\text{T}} U I t, \quad (3.6)$$

где η_{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 – электродугую, индукционную, газовую, плазменную, аргонодугую, 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: электродугую, 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, эвтектоидный 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 околошовной 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 дугую, 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 % Cr, 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 закаливают 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 γ -твердого раствора, сплавы тугоплавких металлов, алюминиевые и медные сплавы, β -сплавы титана. Как правило, все материалы сваривают на жестких режимах в среде инертных газов или контролируемой атмосфере источниками тепла с высокой удельной тепловой энергией (аргодуговая, 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, $\text{м}^3/\text{ч}$	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°C	До -30°C	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

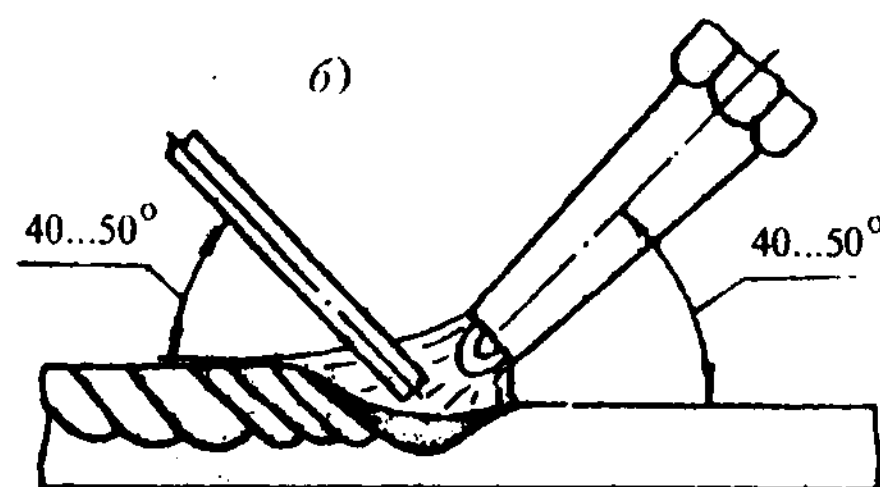
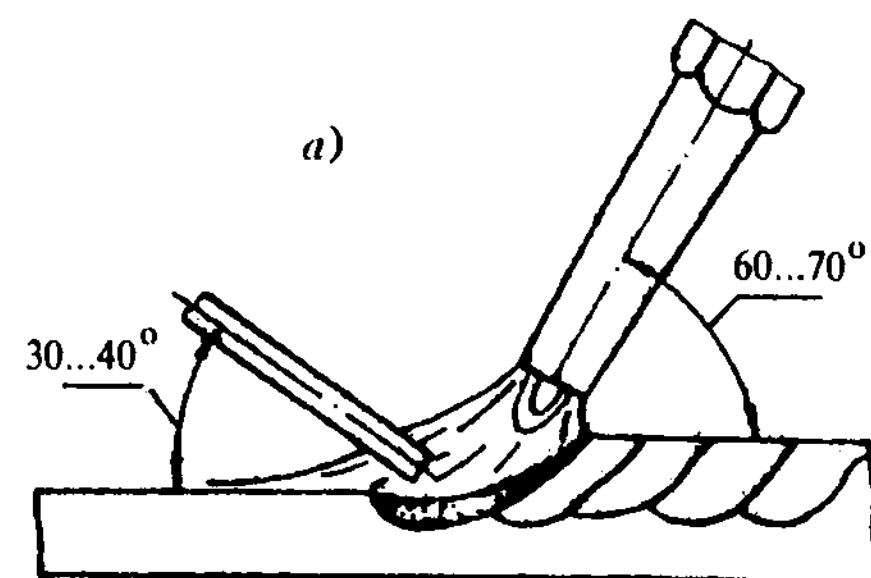


Рис. 3.17. Способы газовой сварки:
а – левый; б – правый

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 мундштука 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.

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-

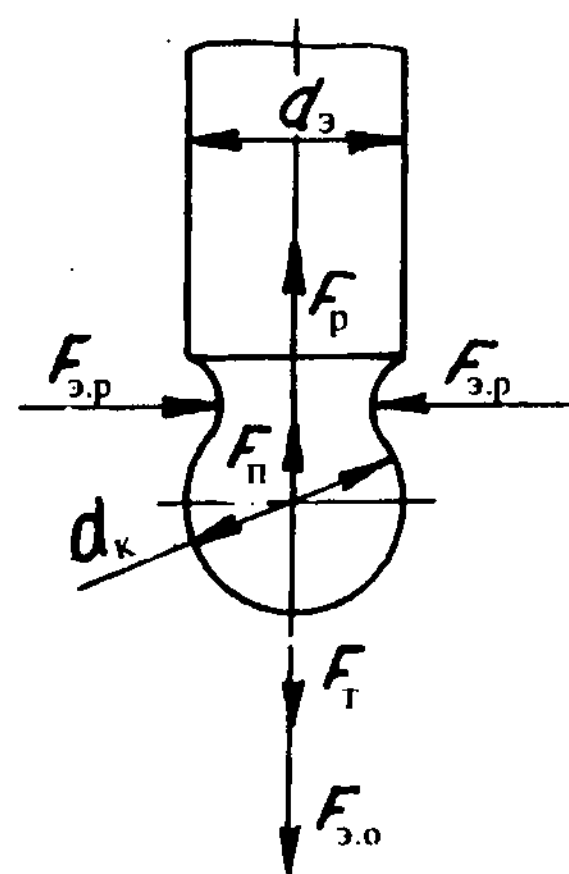


Рис. 3.18. Силы, действующие на каплю расплавленного металла

ли $d_к$. Эта сила является определяющей при малых токах и играет важную роль при сварке в нижнем положении.

Сила поверхностного натяжения $F_п$ 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 $F_р$ паров испаряющегося металла, соприкасающегося с катодным или анодным пятном, стремится отбросить каплю от этой области.

Электродинамическая сила $F_э$ вызвана искривлением линий тока и пропорциональна квадрату силы тока, ее радиальная составляющая $F_{э.р}$ старается пережать шейку капли, а осевая составляющая $F_{э.о}$ – 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 $I_{кр} \geq (140...150)d_{э.л}$ наблюдается струйный перенос. С увеличением плотности тока возрастают электродинамические силы и давление металлических паров на поверхность ванны

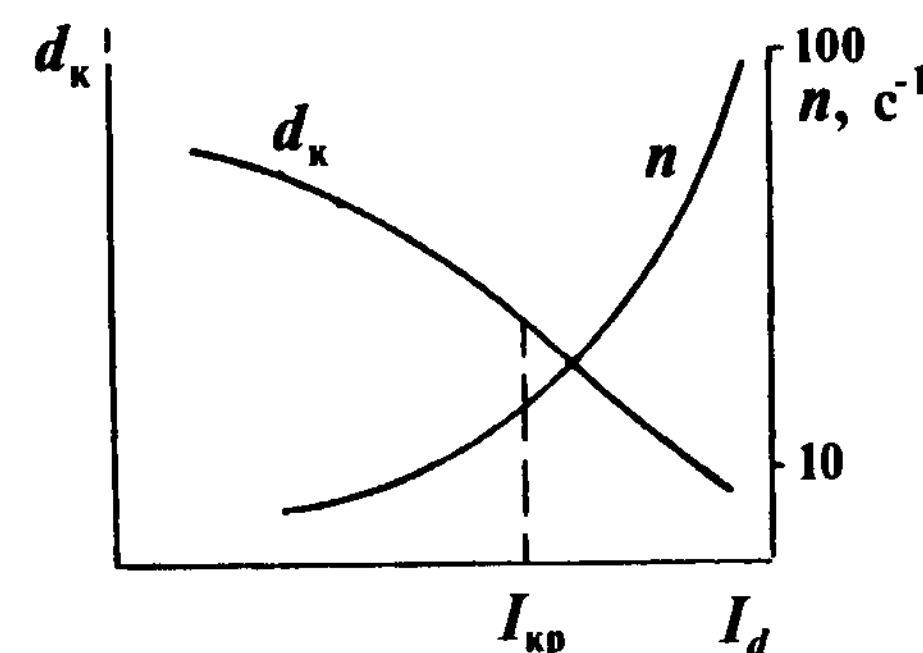


Рис. 3.19. Зависимость размера капель $d_к$ и частоты их переноса n от силы тока I_d

(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.

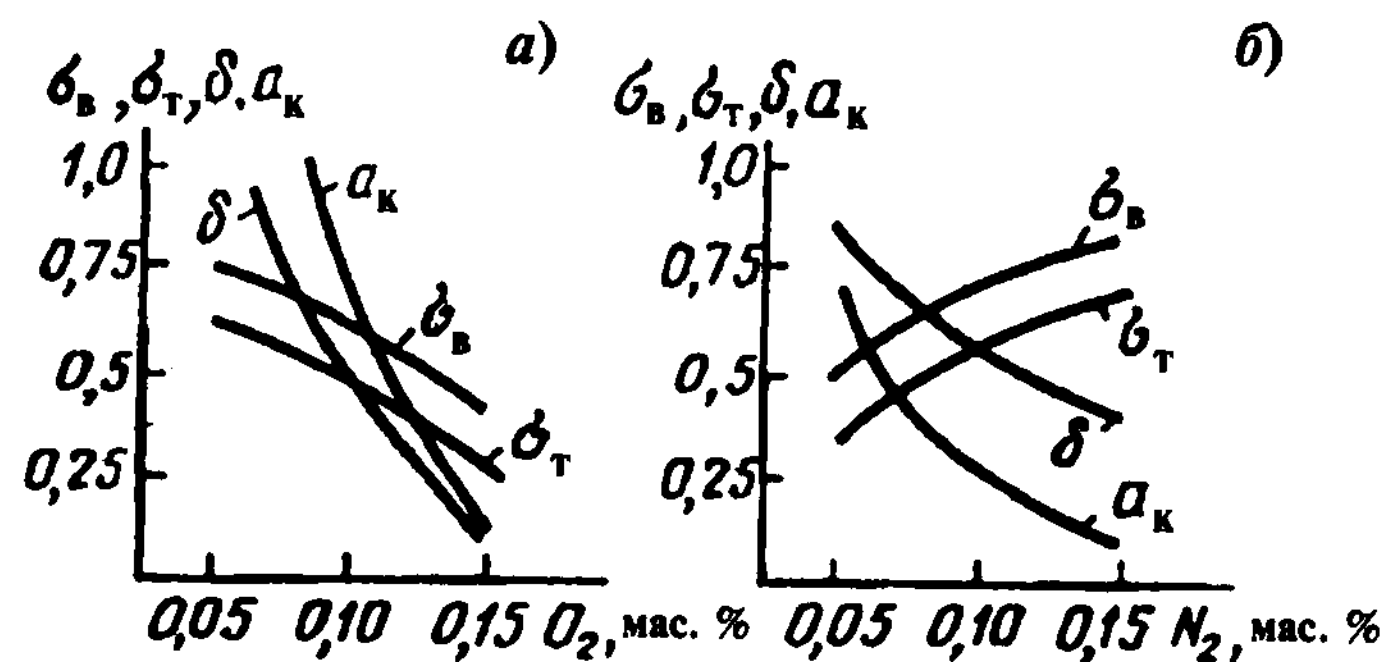


Рис. 3.20. Изменение механических свойств в зависимости от содержания O_2 и N_2 в сварочном шве:
 σ_b – предел прочности; σ_t – предел текучести; δ – относительное удлинение;
 a_k – ударная вязкость

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 отдельно.

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	Продолжительность включения, %	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	250	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 «A. 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	Евро	2	230×590×420	16
МПЗ-4А-1 автономный					4		
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
МВ-14АК	160 (60)	0,6...1,2	640	ПДГ-101, ПДГ-151
МВ-15АК	180 (60)		960	
МВ-24КД	250 (60)	0,8...1,4	1240	ПДГ-251, ПДГ-321
МВ-40КД	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 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	Напряжение сети, В	Номинальный 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				3,3	26				
ТДМ-169		180	20	8,5	35	415×205×460			
ТДМ-181				11					
ТСМ-207				190			5,5	21	370×220×300
ТДМ-252				40			32	390×280×320	
ТДМ-259		220/380	250	35	11	55	610×320×455		
ТДМ-2510	380	60		10	100	520×460×920			
ТДМ-3011		220/380	300	20	18	54	380×310×610		
ТДМ-3010	35			55		380×310×740			
ТДМ-300	380	320	60	18	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	
ТДМ-503		500		56	520	
ТДФЖ-1002		1200		240	520	
ТДФЖ-2002	2200	100	520	1430×760×1220		

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	Напряжение сети, В	Номинальный 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	23,5
«Artika 212»					55...200
«Artika 252»		30...250	1,6...5,0	35	

3.39. Характеристики установок для аргонодуговой сварки

Тип	Напряжение сети, В	Пределы регулирования тока, А	ПВ, %	Диаметр электрода, 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	Напряжение сети, В	Пределы регулирования тока, А	ПВ, %	Диаметр электрода, 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			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 Tr до u_2 , выпрямляется блоком вентилей V2, проходит через высокочастотный фильтр L2 – C2 и подается на дугу в виде сглаженного напряжения $u_в$.

Транзисторы VT1 и VT2 управляют обмотками трансформатора Tr и обеспечивают частоту тока на уровне 1...60 кГц. Если инвертор конструктивно объединяют с трансформатором Tr выпрямительным блоком вентилей 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

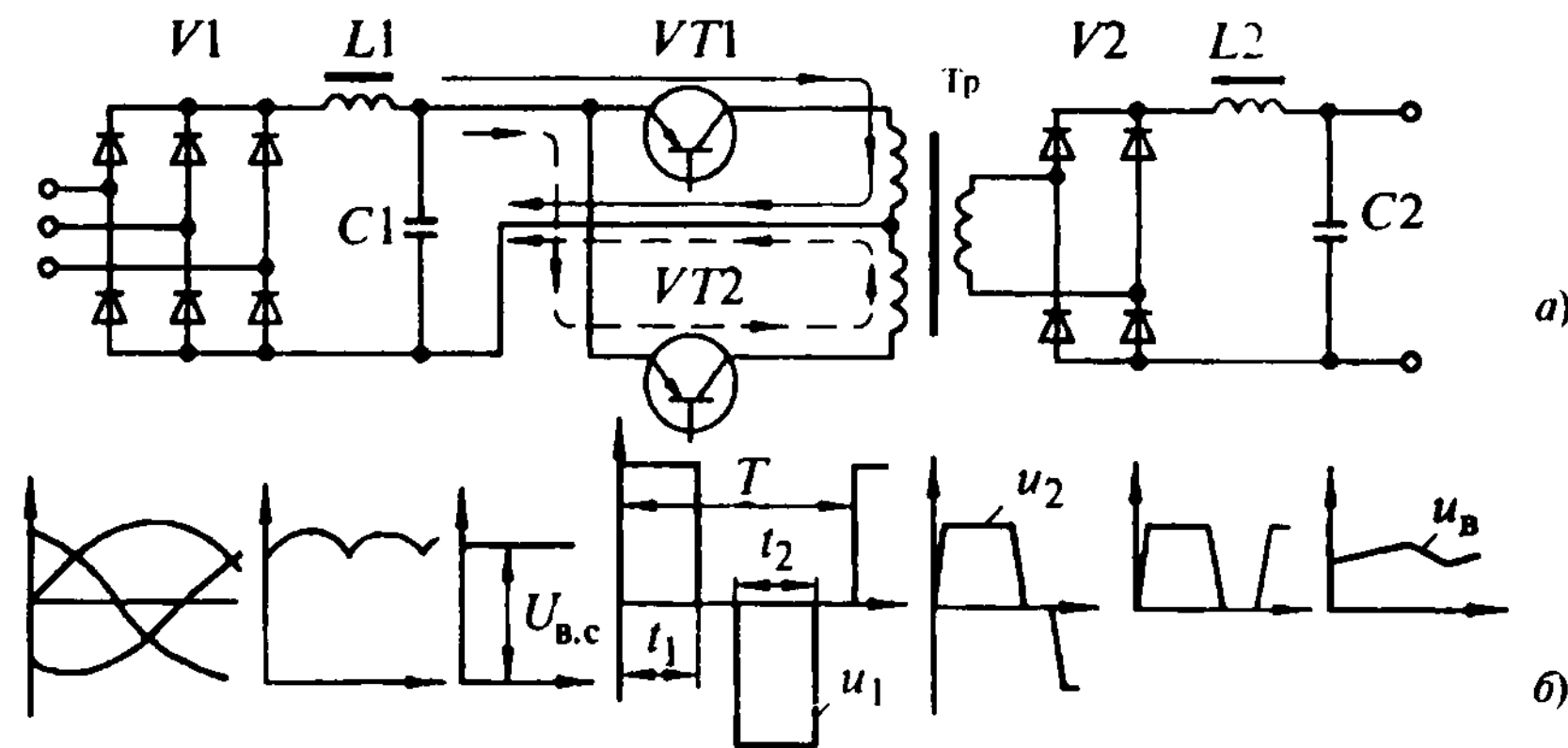


Рис. 3.21. Выпрямитель с транзисторным инвертором:
а – схема; б – осциллограмма напряжений

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	Напряжение сети, В	Номинальный 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
«Фурсаж-160ПР»	220	160	60	8	410×180×290	10
«Фурсаж-250ПР»	380	250		10		
«ВБ-200М»	220	200	40	7,5	215×350×500	23
«ВБ-350М»	380	350		12	300×440×600	45

3.43. Инверторные выпрямители фирмы «Telwin»

Модель	Напряжение сети, В	Номинальный 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	1,6...4,0	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

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	100	24	94	
ТДМ-503		500		56	520	
ТДФЖ-1002		1200		240	1430×760×1220	
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	Напряжение сети, В	Номинальный 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		23,5
«Artika 212»		55...200		27,5	
«Artika 252»		30...250	1,6...5,0	360×570×510	35

3.39. Характеристики установок для аргонодуговой сварки

Тип	Напряжение сети, В	Пределы регулирования тока, А	ПВ, %	Диаметр электрода, 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	Напряжение сети, В	Пределы регулирования тока, А	ПВ, %	Диаметр электрода, 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 Tr 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 Tr и обеспечивают частоту тока на уровне 1...60 кГц. Если инвертор конструктивно объединяют с трансформатором Tr 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

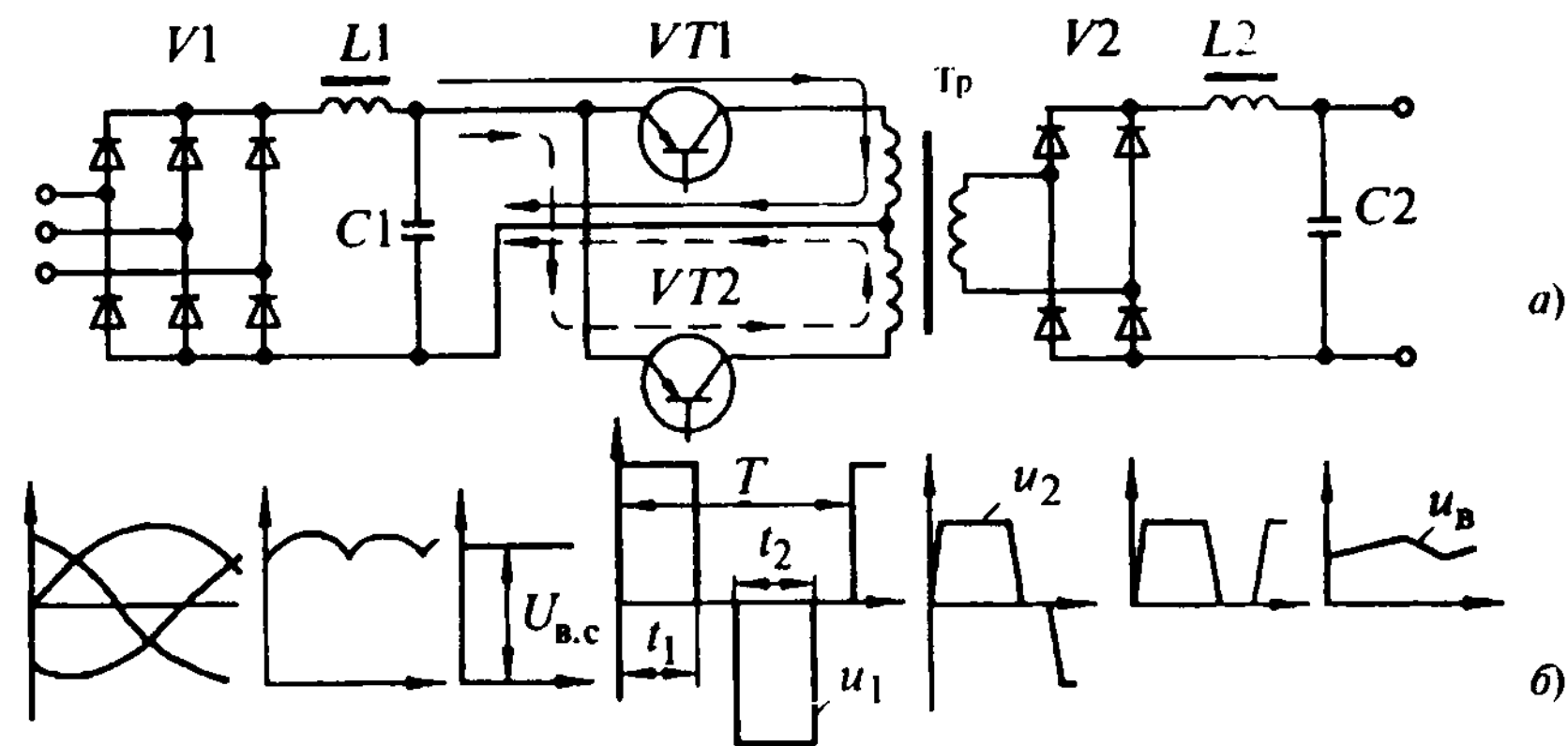


Рис. 3.21. Выпрямитель с транзисторным инвертором:
а – схема; б – осциллограмма напряжений

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_B выпрямленного напряжения. С этой же целью изменяют ширину импульсов инвертора. Однако более удобным и распространенным способом является изменение частоты импульсов:

$$f \uparrow \Rightarrow T \downarrow \Rightarrow U_B \uparrow.$$

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	Напряжение сети, В	Номинальный 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	Напряжение сети, В	Номинальный 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	1,6...4,0	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. Инверторные выпрямители фирмы «Fronius» (Австрия)

Модель	Напряжение сети, В	Номинальный 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»					112,0	
«TransPocket 450 AC/DC»		1.6...6,0		615×400×680	102,0	
WTU 307	380	5...300	35	1.6...6,0	680×450×550	97
WTU 457		5...450			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, выгоранием кремния и быстрым охлаждением металла. При этом углерод не успевает выделиться в виде графита и остается в химически связанном состоянии в виде цементита Fe₃C. 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 закиси 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/см² 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 вырубуют 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, Na₃AlFe₆, BaCl₂, CaF₂ 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 – ~ 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° 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. Bintel» приведены в табл. 3.46.

Сварка свинца также сопровождается образованием тугоплавких оксидов с температурой плавления 888°C (температура плавления свинца 327°C). 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 ~ 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
– плавный флюс	523...673

3.49. Установки для сушки и прокали электродных материалов

Марка	Напряжение, В	Мощность, кВт	Температура 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	380	4	90...350	90	830×900×600	90
СШО-3,2.3,2						

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 ≥ 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 почворезущих деталей. Сварка неплавящимся вольфрамовым электродом применяется при аргодуговой 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 ~ 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 $d_3 = 1,6...2,5$ мм.

Принимают плотность тока j : при ручной духовой наплавке 10...30 А/мм², при автоматической наплавке под слоем флюса 100...200 А/мм², а при наплавке в среде защитного газа > 200 А/мм².

Сила сварочного тока (в амперах)

$$I = \frac{\Pi d_3^2}{4} j. \quad (3.11)$$

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 $m_ч$ за 1 ч (в г/ч) равна

$$m_ч = \alpha_n I, \quad (3.13)$$

где α_n – 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:

$$m_ч = \frac{\Pi d_3^2}{4} \gamma v_{пр}, \quad (3.14)$$

где γ – плотность металла проволоки, г/см³; $v_{пр}$ – скорость подачи проволоки наплавки, см/мин.

Приравнивая правые части зависимостей (3.13) и (3.14), определяют скорость подачи электродной проволоки $v_{пр}$ (м/ч):

$$v_{\text{пр}} = \frac{4\alpha_n I}{\Pi d_3^2 \gamma} \quad (3.15)$$

Площадь сечения наплавки F_n (см²) 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⁻¹) 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

$$h_{\text{пр}} = (0,0061...0,0085) \sqrt{\eta IU / v_n}, \quad (3.21)$$

где η – 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...1/2 ширины валика. Ширина валика примерно в 2...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...1,5 мм вылет составляет 10...20 мм, при диаметре 1,6...2,0 мм он равен 20...25 мм, а для стальной ленты 30...35 мм.

Режимы наплавки покрытий уточняют после расчета величины погонной энергии сварочной дуги W . Эта величина равна количеству тепла, введенного в единицу длины шва:

$$W = 0,24 IU \eta_n / v_n, \quad (3.22)$$

где η_n – коэффициент использования тепла, для наплавки под слоем флюса составляющий 0,8...0,9.

Для получения покрытий хорошего качества значение W должно быть в пределах 630...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...6 мм на постоянном токе 80...300 А обратной полярности с производительностью 0,8...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 ~10% диаметра наплавляемой детали. Электрод должен составлять угол с нормалью к поверхности 6...8°. Флюс в зону наплавки подают из бункера. Расход флюса и, соответственно, толщину его слоя на поверхности детали регулируют открытием шиберов. 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-

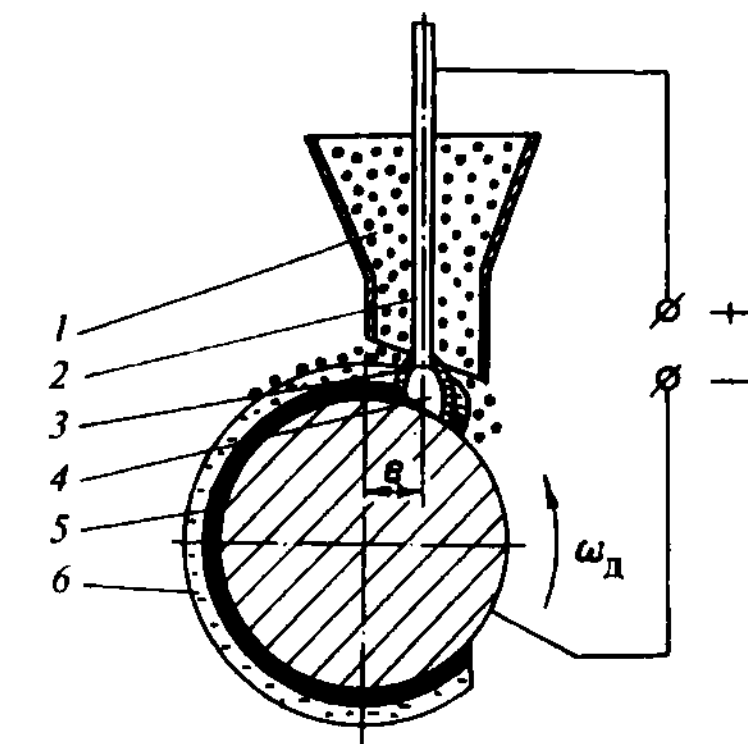


Рис. 3.22. Схема наплавки под слоем флюса:
1 – бункер с флюсом; 2 – электрод; 3 – оболочка расплавленного флюса; 4 – газопаровой пузырь; 5 – наплавленный слой; 6 – шлаковая корка; e – величина смещения электрода с зенита; ω_d – угловая частота вращения детали

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 пищевая 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 H_3BO_3 , бора $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, кварцевый песок SiO_2) и основными. Если оксиды в ванне расплавленного металла кислые (SiO_2 , CO_2 и др.), то применяют основные флюсы, а для взаимодействия с основными оксидами (FeO , 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 (неплавленые) и смеси.

Плавленые 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. Плавленые флюсы содержат стабилизирующие, газо- и шлакообразующие компоненты и раскислители (оксиды кремния и марганца).

Плавленые флюсы подразделяются на виды в зависимости от массовой доли оксидов кремния и марганца. Марганцовистые флюсы содержат > 12 % MnO . Низкокремнистые флюсы включают < 30 %, а высококремнистые > 30 % 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 ₂	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O ₄ и Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaF ₂	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	0,4... 0,6	1,2	18... 24	0,15	0,20	
АН-20	22	до 0,5	30	5	11	2,7	—	29	0,08		1
АН-22	18... 21	7...9	19... 23	12... 15	11,5... 15	1...2	1	20... 24	0,05	0,05	
АН-26	29... 33	2,5... 4,7	23	4...8	15... 18		1,5	24	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			
ФЦЛ-2	36	—	6	32	16		—	8			2

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 CaCO₃, 26...28 CaF₂, 26...30 MgO, 17...18 Al₂O₃, 7...11 SiO₂, 2,0...2,5 Na₂SO₄ или K₂O, 5,2...6,5 Cr, 2...2,5 Mn, 0,12...0,20 C, 0,2...0,3 Ti, 1,9...2,0 Al, 0,2...0,3 Si, 3...4 Fe, до 0,15 S и P.

Флюсы-смеси получают смешением плавяных и керамических флюсов или плавяных с ферросплавами и графитом. Например, к плавяному флюсу АН-348А добавляют легирующие элементы в виде серебристого графита из электродов сталеплавильных печей, ферромарганца (70...80 % Mn и 1,5...2,0 % C), ферросилиция (включает 70...80 % Si), феррохрома (содержит 70...80 % 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 требуемого химического состава и свойств применяют легирование через электродную проволоку и (или) флюс.

При легировании через проволоку наплавку ведут высокоуглеродистой или легированной проволокой под плавным 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 пологопадающей 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_p электродного материала, шаг наплавки S , смещение электрода с зенита e , диаметр d_3 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/мм² 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_n , м/мин	v_p , м/мин	e, мм	S, мм	h, мм
	$d_3 = 1,2...1,6$ мм	$d_3 = 2,0...2,5$ 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;

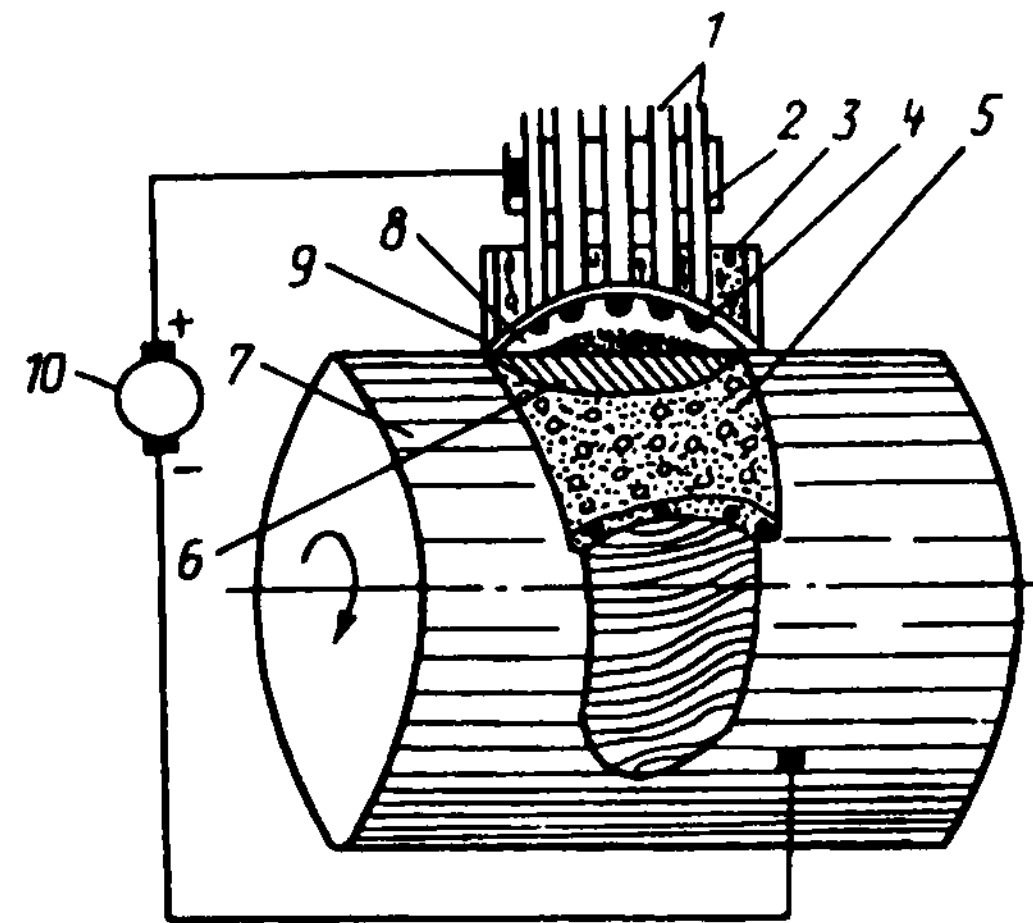


Рис. 3.23. Многоэлектродная наплавка под слоем флюса:

- 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

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,

– 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 на-

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 подач. По направляющим станины перемещаются наплавочный автомат и пинцоль. 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 составных 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 ± 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 $\geq 12 \dots 14$ 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-

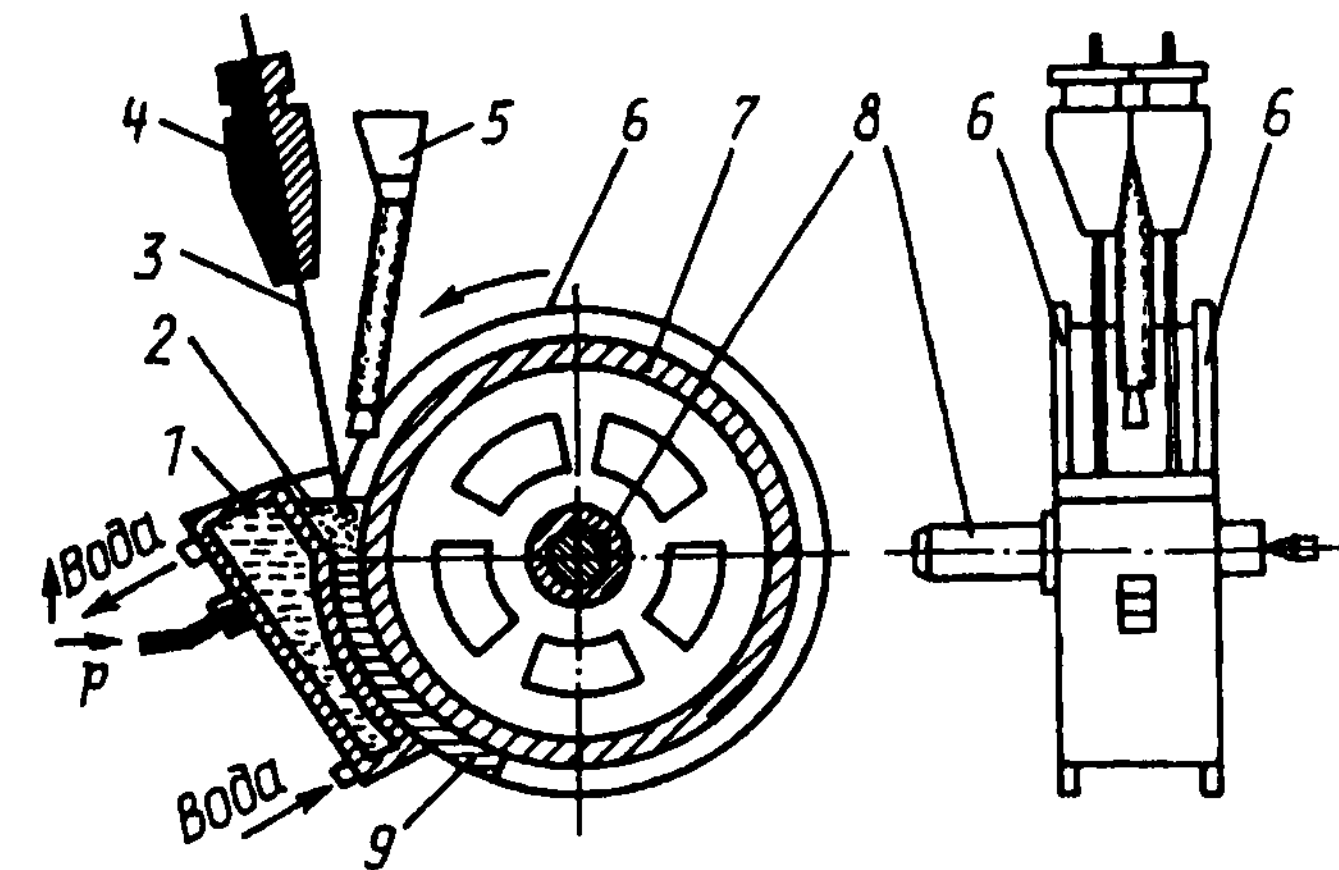


Рис. 3.24. Схема электрошлаковой наплавки:

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, 3Х2В3Ф 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);

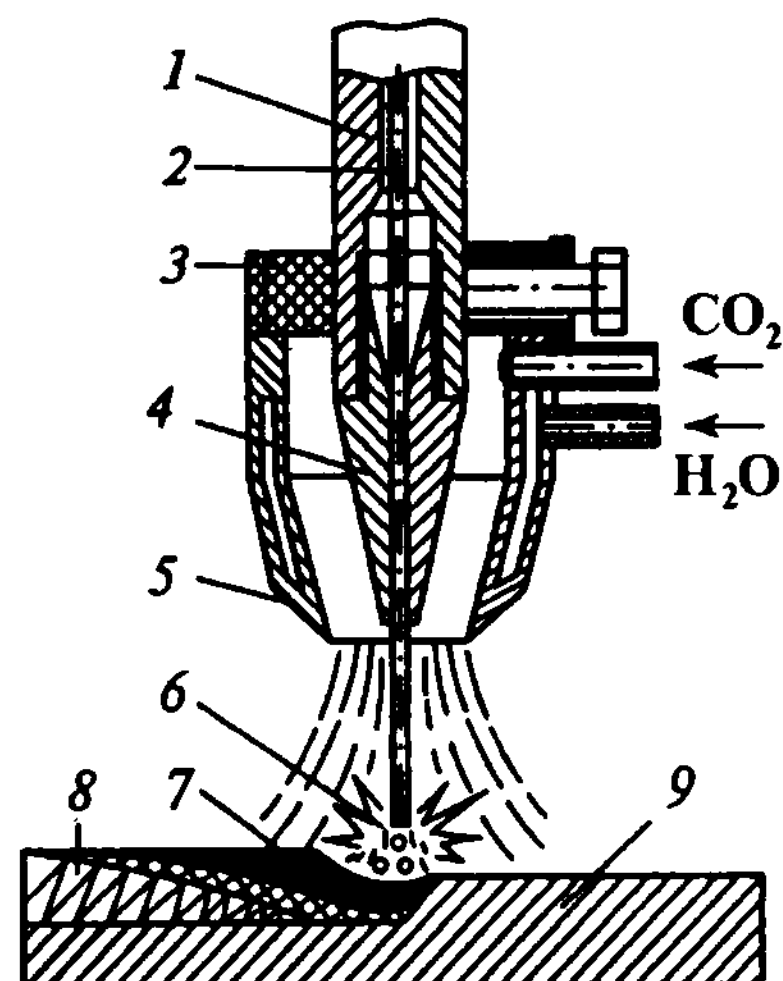
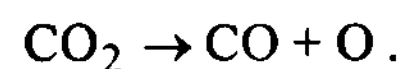


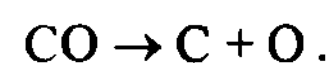
Рис. 3.25. Схема наплавки в среде диоксида углерода:

1 – мундштук; 2 – электродная проволока; 3 – горелка; 4 – наконечник; 5 – сопло горелки; 6 – электрическая дуга; 7 – сварочная ванна; 8 – покрытие; 9 – восстанавливаемая деталь

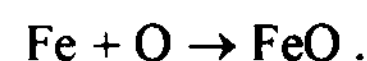
Важной особенностью наплавки в среде диоксида углерода является образование атомарного кислорода при диссоциации CO_2 в условиях высокой температуры:



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;

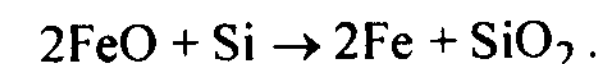
– в 1,2...1,5 раза лучшей экономичностью.

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 м³/ч. Режимы наплавки приведены в табл. 3.53.

3.53. Режимы наплавки в среде диоксида углерода

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Напряжение дуги, В	Сварочный ток, А	Скорость, м/ч		Вылет электрода, 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, РКС-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 м³ 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.

Аргонодуговая 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.

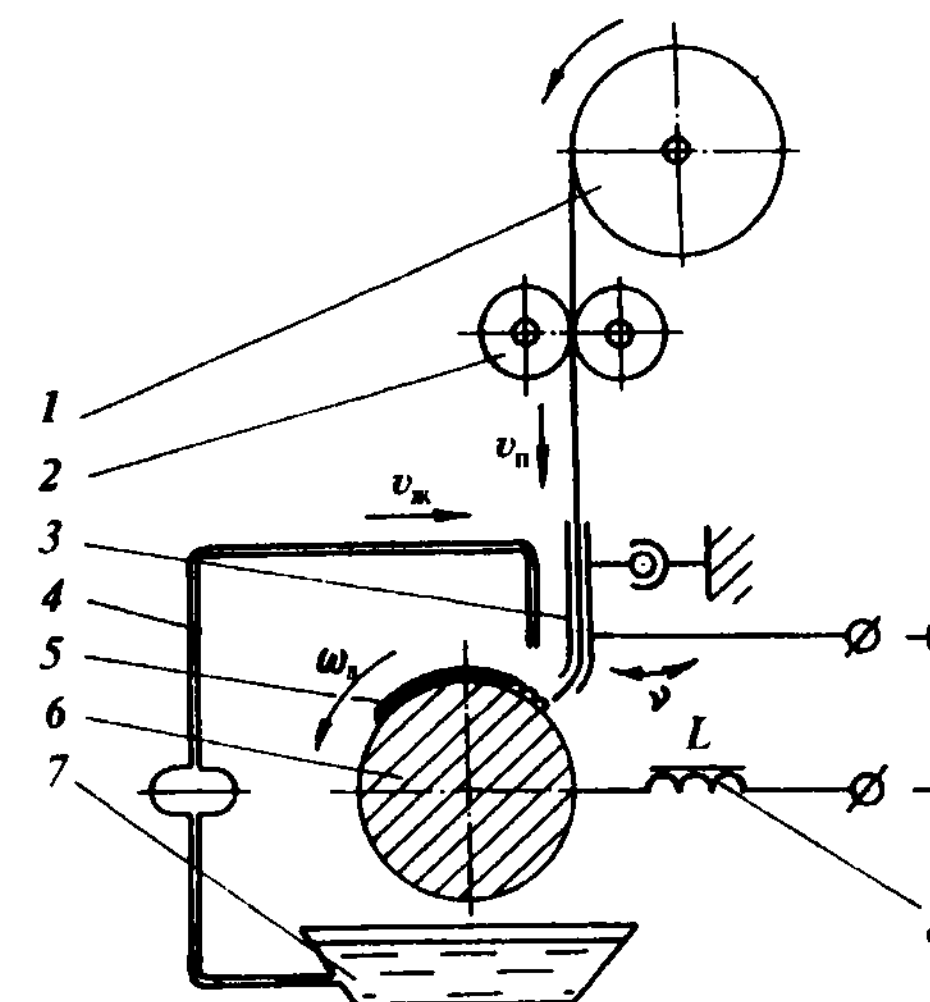


Рис. 3.26. Схема вибродуговой наплавки: 1 – кассета для проволоки; 2 – подающие ролики; 3 – качающийся мундштук; 4 – система подачи раствора; 5 – наплавленный слой; 6 – восстанавливаемая деталь; 7 – емкость; 8 – индуктивное сопротивление; v_p и $v_{ж}$ – скорость подачи соответственно проволоки и раствора; ω_d – угловая частота вращения детали; v – частота качаний мундштука; L – индуктивность

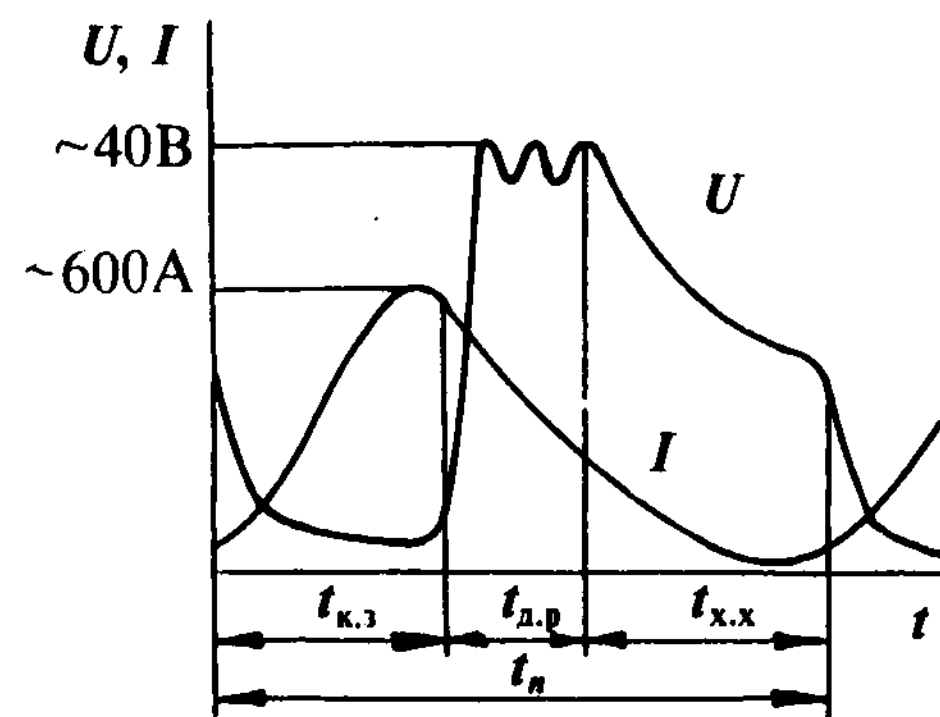


Рис. 3.27. Осциллограмма тока I и напряжения U при вибродуговой наплавке: $t_{к.з}$ — время короткого замыкания; $t_{д.р}$ — время дугоразряда; $t_{х.х}$ — время холостого хода; t — текущее время; t_n — период

Марку электродной проволоки выбирают в зависимости от требуемых механических свойств наплавленного металла. При наплавке стальных и чугуновых 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 НВ — 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° 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 730×300×700 мм, масса 60 кг.

Недостатки процесса следующие:

— снижение усталостной прочности до 60 % из-за образования закалочных структур в материале, вызывающих растягивающие напряжения