

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

Ю.В. Родионов, А.Л. Севостьянов

ОСНОВЫ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

Допущено УМО вузов РФ по образованию в области
транспортных машин и транспортно-технологических комплексов
в качестве учебного пособия для студентов вузов,
обучающихся по направлению подготовки бакалавров
«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»
(профиль подготовки «Автомобили и автомобильное хозяйство»)

Пенза 2014

УДК 621.785.5:629.33.004.67] (075)

ББК 30.83:[34.44:39.33-04] я7

Р60

Рецензенты: зав. кафедрой «Транспортные машины» Пензенского государственного университета доктор технических наук, профессор Ю.А. Дьячков; генеральный директор ОАО «Пензенская авторемонтная мастерская» В.В. Аксенов

Родионов Ю.В.

Р60 Основы ремонта автомобилей: учеб. пособие / Ю.В. Родионов, А.Л. Севостьянов. – Пенза: ПГУАС., 2014. – 300 с.
ISBN 978-5-9282-1058-8

Освещены методы и технологии восстановления и упрочнения деталей автомобилей, повышающих их долговечность и безотказность. Изложен опыт авторов в области исследования и практического использования в ремонтном производстве и промышленности различных способов восстановления автомобильных деталей. Отражены вопросы интенсификации производства, восстановления и упрочнения деталей на примере конкретных деталей, а также новых, перспективных технологий и ремонтных материалов.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Эксплуатация автомобильного транспорта» и предназначено для специалистов автотранспортного комплекса и студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», а также может быть полезно студентам заочного и дистанционного обучения при самостоятельной работе и инженерно-техническим работникам автомобильного транспорта, ремонтных предприятий, преподавателям, магистрам и аспирантам.

ISBN 978-5-9282-1058-8

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014

© Родионов Ю.В., Севостьянов А.Л., 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
ВВЕДЕНИЕ	8
1. СИСТЕМА РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ И ИХ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ.....	9
1.1. Общие положения	9
1.2. Причины достижения деталью предельного состояния	14
1.3. Классификация способов восстановления деталей	18
1.4. Разборка автомобилей и их агрегатов.....	20
1.5. Очистка деталей	23
1.5.1. Сведения о загрязнениях и качестве очистки.....	23
1.5.2. Характеристика моющих средств.....	25
1.5.3. Методы и способы очистки. Классификация моечного оборудования	28
1.5.4. Специальные способы очистки.....	30
1.6. Дефектация деталей	32
1.6.1. Общие сведения.....	32
1.6.2. Классификация дефектов.....	33
1.6.3. Средства и процессы для выявления дефектов	35
2. ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ.....	43
2.1. Общие сведения.....	43
2.2. Восстановление размеров детали	43
2.3. Восстановление формы детали	49
2.4. Упрочнение деталей поверхностным пластическим деформированием	50
3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СВАРКОЙ И НАПЛАВКОЙ	56
3.1. Сварка при восстановлении деталей машин	56
3.1.1. Определение и классификация видов сварки и наплавки	56
3.1.2. Дуговая сварка и наплавка.....	56
3.1.3. Газовая сварка	68
3.2. Механизированная сварка и наплавка	74
3.2.1. Дуговые способы сварки и наплавки	75
3.2.2. Бездуговые способы наплавки	96
4. ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ НАПЫЛЕНИЕМ.....	110
4.1. Классификация способов напыления	110
4.2. Технологический процесс напыления.....	114
4.3. Электродуговое напыление (металлизация).....	119
4.4. Газопламенное напыление	123
4.5. Плазменное напыление.....	124
4.6. Детонационное напыление.....	127

4.7. Индукционное напыление.....	131
4.8. Вакуумные способы напыления	132
4.9. Газодинамическое напыление	136
5. ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ И ХИМИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ	140
5.1. Сведения о нанесении гальванических покрытий. Классификация способов нанесения	140
5.2. Технологический процесс и оборудование для нанесения покрытий	147
5.3. Основы электрокристаллизации, кинетика осаждения покрытий	155
5.4. Железнение	159
5.5. Хромирование.....	161
5.6. Никелирование	165
5.7. Цинкование	165
5.8. Композиционные электрохимические покрытия.....	166
5.9. Способы нанесения покрытий	167
5.10. Нанесение покрытий химическим способом	171
5.10.1. Нанесение металлических покрытий	171
5.10.2. Нанесение неметаллических покрытий	173
5.11. Микродуговое оксидирование	177
6. ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ	179
6.1. Полимерные материалы и их свойства	179
6.2. Восстановление деталей полимерными материалами	180
6.2.1. Устранение трещин и пробоев в стенках детали	180
6.2.2. Нанесение покрытий из полимерных материалов	186
6.3. Восстановление герметичности с использованием полимерных материалов.....	192
6.4. Соединение при помощи полимерных материалов.....	196
6.5. Применение холодной молекулярной сварки	199
7. ЭЛЕКТРОИСКРОВАЯ ОБРАБОТКА	201
8. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ	205
9. СЛЕСАРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ	210
9.1. Способ ремонтных размеров.....	210
9.2. Восстановление способом дополнительной ремонтной детали....	214
9.3.Способы закрепления ДРД.....	218
10. ПАЙКА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ	220
10.1. Общие сведения.....	220
10.2. Припои и их свойства	220

10.3. Флюсы	222
10.4. Технологический процесс восстановления деталей пайкой.....	224
11. ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ.....	227
11.1. Восстановление корпусных деталей	227
11.2. Восстановление резьбовых соединений	232
11.3. Восстановление коленчатых, распределительных, гладких валов и осей	239
11.4. Восстановление шатунов.....	254
11.5. Восстановление гильз цилиндров и блоков цилиндров.....	258
11.6. Восстановление деталей топливной аппаратуры двигателей.....	264
11.7. Восстановление несущих деталей (рамы, остовы, платформы).....	269
11.8. Восстановление деталей тормозных систем	271
11.9. Восстановление кузовов и кабин.....	273
12. ТЕХНОЛОГИЯ БЕСТОРМОЗНОЙ ОБКАТКИ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ.....	276
12.1. Нагрузочные режимы обкатки с динамическим нагрузением.....	276
12.2. Скоростной режим при обкатке дизелей с динамическим нагрузением.....	279
12.3. Нормирование времени ступеней обкатки с динамическим нагрузением.....	282
12.4. Технология бестормозной обкатки автотракторных дизелей после капитального ремонта.....	284
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	289
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	290
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	294

ПРЕДИСЛОВИЕ

В соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» в результате освоения профессионального цикла основной образовательной программы бакалавриата обучающийся должен владеть знаниями основ технологии производства транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования (ТиТТМО) отрасли и их составных частей; понятия о ремонте, его месте в системе обеспечения работоспособности ТиТТМО отрасли и эффективности его выполнения; о содержании и отличительных особенностях производственного и технологических процессов производства и ремонта ТиТТМО отрасли; о составе операций технологических процессов, оборудовании и оснастке, применяемых при производстве и ремонте ТиТТМО отрасли и их составных частей; методов организации производств, реализации ресурсосберегающих технологий в различных условиях хозяйствования; современных методов восстановления деталей и агрегатов ТиТТМО отрасли.

Кроме того, выпускник должен обладать следующими профессиональными компетенциями:

- уметь разрабатывать техническую документацию и методические материалы, предложения и мероприятия по осуществлению технологических процессов эксплуатации, ремонта и сервисного обслуживания транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения, их агрегатов, систем и элементов (ПК-3);

- уметь выбирать материалы для применения при эксплуатации и ремонте транспортных машин и транспортно-технологических комплексов различного назначения с учетом влияния внешних факторов и требований безопасной и эффективной эксплуатации и стоимости (ПК-10);

- владеть знаниями направлений полезного использования природных ресурсов, энергии и материалов при эксплуатации, ремонте и сервисном обслуживании транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения, их агрегатов, систем и элементов (ПК-12);

- способен к освоению технологий и форм организации диагностики, технического обслуживания и ремонта транспортных и технологических машин и оборудования (ПК-16);

- владеть умением изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы по совершенствованию технологических процессов эксплуатации, ремонта и сервисного обслуживания транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения, их агрегатов, систем и элементов, проводить необходимые расчеты, используя современные технические средства (ПК-21);

- способен использовать методы принятия решений о рациональных формах поддержания и восстановления работоспособности транспортных и технологических машин и оборудования (ПК-36).

Для решения этих задач в базовой части профессионального цикла учебного плана подготовки бакалавров по направлению 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» предусмотрено преподавание дисциплины «Основы технологии производства и ремонта ТнТТМО». Применительно к профилям подготовки «Автомобили и автомобильное хозяйство» и «Автомобильный сервис» основным объектом изучения является автомобиль и его составные части.

Целью данной работы является обобщение теоретического и практического материала, полученного в результате экспериментов, проведенных под руководством авторов в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства и Государственном университете – учебно-научно-производственном комплексе.

Авторы будут благодарны за возможные замечания и предложения и просят направлять свои отзывы и пожелания по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Г.Титова, 28, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, кафедра «Эксплуатация автомобильного транспорта». Тел. (8412) 49-83-30, факс (8412) 49-72-77, E-mail: dekauto@pguas.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Автомобильный транспорт играет существенную роль в транспортном комплексе страны, регулярно обслуживая почти 3 млн предприятий и организаций всех форм собственности, а также население страны. В 2013 году автомобильный парк России достиг 35 млн единиц.

Возникновение и развитие неисправностей в автомобиле объясняется действием объективно существующих закономерностей. Неисправности автомобилей появляются в результате постоянного и внезапного снижения физико-механических свойств материалов деталей автомобилей, их истирания, деформирования, смятия, коррозии и других причин. В этих случаях нарушается работоспособность автомобилей.

Постоянная необеспеченность автотранспортных предприятий запасными частями, ограниченные запасы материалов и энергии являются серьезными факторами снижения технической готовности автомобильного парка. Поэтому одним из основных источников экономической эффективности ремонта автомобилей является восстановление изношенных деталей.

Восстановление деталей машин обеспечивает экономию металла, топлива, энергетических и трудовых ресурсов, а также рациональное использование природных ресурсов и охрану окружающей среды. Для восстановления работоспособности изношенных деталей требуется в 5–8 раз меньше технологических операций, чем при изготовлении новых деталей.

Как показывает практика, 85 % деталей восстанавливаются при износе не превышающих 0,3 мм, то есть их работоспособность восстанавливается при нанесении покрытия незначительной толщины. В то же время имеются такие примеры, когда ресурс деталей, восстановленных прогрессивными способами, в несколько раз выше ресурса новых деталей.

За рубежом также уделяют большое внимание вопросам технологии и организации восстановления деталей. В высокоразвитых странах – США, Англии, Японии, Германии – ремонт автомобилей осуществляется на предприятии-изготовителе. Восстанавливают дорогостоящие, металлоемкие, массовые автомобильные детали – коленчатые и распределительные валы, гильзы цилиндров, блоки и головки блоков, шатуны, тормозные барабаны и прочие детали.

Высокое качество восстановления деталей может быть достигнуто усилиями инженерно-технических работников и рабочих ремонтных участков. Важно, чтобы рабочие, занятые ремонтом автомобилей и оборудования, знали не только назначение, конструкцию, износ и неисправности деталей, но и в совершенстве владели способами и приемами сварки и наплавки, нанесения гальванических, газотермических покрытий, пластического деформирования, механической, термической и упрочняющей обработки.

Технологические процессы восстановления деталей должны включать в себя приемы наиболее рационального их проведения непосредственно на рабочих местах с конкретизацией применяемого оборудования, материалов и режимов операции.

1. СИСТЕМА РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ И ИХ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ

1.1. Общие положения

Для поддержания автомобилей в работоспособном состоянии и восстановления параметров их технического состояния используется весь комплекс ремонтнообслуживающих воздействий: техническое обслуживание с использованием методов и средств инструментального диагностирования (ТО), ремонт, затраты на проведение которых увеличиваются с каждым годом. В этих затратах стоимость запасных частей составляет 40...50 %. Большие расходы материальных и трудовых ресурсов в сфере эксплуатации и ремонта обусловлены не только низкой надежностью техники, но и в значительной степени уровнем организации и технической оснащенности этой сферы.

Под *ремонтом* понимается комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности объекта и восстановлению ресурса объекта или его составных частей.

Ремонт автомобилей является объективной необходимостью, которая обусловлена техническими и экономическими причинами. Во-первых, личные потребности и потребности народного хозяйства в автомобилях частично удовлетворяются путем эксплуатации отремонтированных автомобилей. Во-вторых, ремонт обеспечивает дальнейшее использование тех элементов автомобилей, которые не полностью изношены. В результате сохраняется значительный объем прошлого труда. В-третьих, ремонт способствует экономии материалов, идущих на изготовление новых автомобилей. При восстановлении деталей расход металла в 20...30 раз ниже, чем при их изготовлении. Расширение номенклатуры восстановленных деталей позволяет сэкономить только на капитальном ремонте грузовых автомобилей 675 тыс.т металла в год.

Первый в нашей стране авторемонтный завод был построен в Москве на Миусской площади в 1921 году. В 1932 году был построен Московский авторемонтный завод (МАРЗ-1), а в последующие годы такие же заводы были созданы в Харькове, Киеве, Иркутске, Хабаровске и других городах. В Пензе работает авторемонтный завод «АРКО», специализирующийся на капитальном ремонте двигателей и КПП автомобилей ГАЗ-53, в г. Кузнецке – завод, ранее занимавшийся капитальным ремонтом шасси данных автомобилей.

С учетом важности авторемонтного производства для экономики народного хозяйства большое внимание уделяется подготовке научных и инженерных кадров. В 1930 г. были организованы Московский и Харьков-

ский автомобильно-дорожные институты, в которых были созданы кафедры производства и ремонта автомобилей.

Ремонт выполняется как по потребности после соответствующего неисправного состояния, так и принудительно по плану, через определенный пробег или время работы подвижного состава. Второй вид ремонта является планово-предупредительным. В соответствии с назначением, характером и объемом выполняемых работ ремонт подразделяется на капитальный (КР) и текущий (ТР).

Капитальный ремонт – ремонт, выполняемый для восстановления исправности и полного или близкого к полному (не менее 80 %) ресурса с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые. Перечень базовых и основных деталей агрегатов оговаривается Положением о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта.

КР является наиболее трудоемким и материалоемким ремонтным воздействием, которое выполняется на специализированных сервисных предприятиях.

Заводской КР автомобиля (агрегата) с точки зрения числа выполняемых работ и их взаимосвязи является более сложным процессом, чем изготовление автомобиля. Одной из особенностей авторемонтного производства в заводских условиях специализированного ремонтного предприятия, в отличие от ремонта автомобилей и агрегатов в мастерских АТП, является то, что качество ремонта достигается различными путями и разной ценой. В условиях мастерских АТП, как правило, применяется индивидуальный метод ремонта, характерными чертами которого является низкая производительность труда, высокая квалификация исполнителей, низкий уровень специализации и более высокая себестоимость ремонта.

В заводских условиях за счет создания необходимых производственных условий, обеспечивающих высокую технологическую дисциплину менее квалифицированными исполнителями, применения поточных методов, специализации постов и оборудования, возможно получение необходимого качества при более высоких технико-экономических показателях.

Организационной основой индустриального КР являются обезличенный и необезличенный методы ремонта. *Обезличенный метод* характеризуется тем, что детали и сборочные единицы не сохраняют при ремонте принадлежность к определенному объекту. Многолетняя практика показывает, что существующая организация КР обезличенным методом является весьма несовершенной из-за высокой себестоимости (80 % и более стоимости нового) и низкого уровня качества (ресурс капитально отремонтированных агрегатов составляет 20...50 % ресурса нового). Кроме того, неоправданно возрастает доля разборочно-сборочных работ в общей трудоемкости ремонта (до 30 % и более); нарушается приработанность высокоре-

сурсных сопряжений; повышается вероятность повреждений деталей в процессе разборки (повреждается до 15...20 % деталей).

Сборка отремонтированных агрегатов из трех групп обезличенных деталей: годных без ремонта, но имеющих допустимый износ, восстановленных и новых - приводит к возникновению дефектных типов сопряжений, что также отрицательно влияет на качество ремонта. Обезличивание деталей в ходе выполнения ремонтных работ является одной из причин полной неопределенности в ресурсах вновь собранных агрегатов.

Необезличенный метод ремонта характеризуется тем, что годные и восстановленные детали и сборочные единицы сохраняют свою принадлежность к определенному объекту ремонта. Этот метод ремонта практически исключает все недостатки обезличенного ремонта. Однако боязнь усложнения организации производства при этом методе на специализированных предприятиях с большим годовым объемом выпуска ограничивают сферу его использования. Применяется он, главным образом, в мастерских АТП при индивидуальном ремонте отдельных экземпляров автомобильной техники.

Исследованиями установлено, что применение на ремонтном заводе необезличенного метода ремонта двигателей ЗИЛ-130, поступивших в первый КР, позволяет снизить себестоимость и трудоемкость ремонта на 20...30 %, а средний ресурс увеличивается в 1,5 раза.

Текущий ремонт – ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности объекта и состоящий в замене и (или) восстановлении отдельных частей (кроме базовых). ТР не является плановым мероприятием с фиксированной периодичностью и регламентированным содержанием; в большей мере он носит заявочный характер со случайным, обусловленным техническим состоянием объемом работ, а содержание его определяется по потребности. ТР должен обеспечить безотказную работу отремонтированных агрегатов, узлов и деталей на пробеге не меньшем, чем до очередного второго технического обслуживания.

В виде исключения допускается производство *среднего ремонта* (СР) автомобилей для случаев их эксплуатации в тяжелых дорожных условиях. СР автомобиля предусматривает: замену требующего КР двигателя; диагностирование Д-2 технического состояния автомобиля и одновременное устранение выявленных неисправностей агрегатов с заменой или ремонтом деталей; окраску кузова; других необходимых работ, обеспечивающих восстановление исправности всего автомобиля. Средний ремонт проводится с периодичностью свыше одного года. Нормативы и рекомендации по применению среднего ремонта автомобиля и его агрегатов разрабатываются с учетом достигнутого уровня надежности конкретного семейства подвижного состава.

Довольно часто применяется *ремонт по техническому состоянию* – ремонт, при котором контроль технического состояния выполняют с пе-

риодичностью и в объеме, установленном в нормативно-технической документации, а объем и момент начала ремонта определяют состоянием объекта.

Технология ремонта автомобилей – это совокупность методов изменения технического состояния автомобилей и их составных частей, применяемых в процессе ремонта.

Всякому виду ремонта предшествует *технический осмотр* – контроль, осуществляемый в основном при помощи органов чувств и, в случае необходимости, средств контроля, номенклатура которых установлена соответствующей документацией.

В период между ремонтами объекты подвергаются *техническому обслуживанию* (ТО), под которым понимается комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности объекта при использовании его по назначению, ожидании, хранении и транспортировании. Данный вид работ носит планово-предупредительный характер и выполняется на протяжении всего периода эксплуатации машины в соответствии с требованиями эксплуатационной документации.

В настоящее время капитальный ремонт автомобилей практически не применяется поэтому рассмотрим более подробно способы восстановления деталей автомобилей и их составных частей.

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

Процессы восстановления изношенных деталей являются одним из крупных резервов экономии и бережливости при ремонте машин.

При восстановлении детали обеспечивают нормативные значения функциональных и ресурсных показателей. Функциональные показатели характеризуют исправность детали, а ресурсные – степень восстановления технического ресурса. При восстановлении деталей, в том числе и их элементов, доводят до нормативных значений следующие показатели:

- точность размеров и шероховатость рабочих поверхностей;
- точность взаимного расположения и формы элементов;
- сплошность, усталостную прочность, структуру и строение материала;
- износостойкость трущихся элементов;
- значение массы детали и ее распределение относительно осей вращения и инерции;
- коррозионную стойкость.

Каждое свойство (показатель) является одной из характеристик качества восстановленной детали.

Точность размеров, взаимного расположения, формы и шероховатость рабочих поверхностей восстанавливают механической, химико-механической и другими видами обработки этих поверхностей, в большинстве случаев после нанесения восстановительных покрытий. Взаимное расположение рабочих поверхностей можно восстанавливать и пластическим деформированием материала детали путем ее правки.

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

Химический состав материала поверхностного слоя и его структура достигаются нанесением покрытий из соответствующих материалов в защитных или активных средах в заданных температурных условиях.

Чистоту поверхностей обеспечивают путем их очистки от эксплуатационных и технологических загрязнений. Наибольшую трудность представляет очистка поверхностей от прочносцепленных эксплуатационных загрязнений (накипи, нагара и асфальтосмолистых загрязнений).

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

Коррозионную стойкость детали восстанавливают нанесением защитных покрытий или ее специальной обработкой.

В процессе контроля устанавливают соответствие фактических значений свойств восстанавливаемой детали их значениям, которые установлены нормативной документацией (технические требования на капитальный ремонт). На основании этого сопоставления принимают решение о годности детали.

Таким образом, восстановление деталей включает операции по их очистке, определению технического состояния, принятие решения о восстановлении, создание заготовок с припуском на восстанавливаемых поверхностях для термической (химико-термической) и механической обработки, обеспечение значения массы, ее уравнивания, контроля и консервации.

Основное назначение восстановления и упрочнения заключается в обеспечении параметров детали в пределах, предусмотренных нормативно-технической документацией.

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

1.2. Причины достижения деталью предельного состояния

Детали поступают на восстановление с различными сочетаниями дефектов. 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 соединений 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 внешних воздействий на поверхность трения, состава и свойств окружающей среды, свойств и структуры поверхностных слоев материалов и протекающих в них процессов характер и интенсивность разрушения поверхностей при трении различны. Рассмотрим основные виды изнашивания.

Ввиду сложности процессов, протекающих в поверхностных слоях твердых тел при изнашивании, невозможно предложить строгие единые классификационные признаки всего многообразия процессов изнашивания.

Наибольшее распространение получила следующая классификация видов изнашивания по характеру воздействия на поверхность трения и протекающих на ней процессов при эксплуатации машин:

1. Механическое изнашивание.
2. Коррозионно-механическое изнашивание.
3. Электроэрозионное.

Термины и определения в области изнашивания регламентированы ГОСТ 27674-88 «Трение, изнашивание и смазка».

Рассмотрим основные причины достижения деталью предельного состояния.

Абразивное изнашивание – механическое изнашивание материала в результате режущего или царапающего действия твердых тел или твердых частиц, твердость которых превышает твердость поверхности трения.

Абразивному изнашиванию подвержены детали и узлы трения большинства машин и оборудования, применяемых в транспортной технике.

Отличительным признаком абразивного изнашивания является участие в процессе трения твердых частиц, обладающих различной структурой, формой, размерами, твердостью, прочностью, незначительной сцепляемостью с трущимися поверхностями. Трение в присутствии абразивного материала характеризуется нестационарностью контактов твердых частиц с изнашивающейся поверхностью, широким спектром и высокой концентрацией

цией напряжений, физико-химической активацией поверхностей твердых тел.

Гидроабразивное (газоабразивное) изнашивание – механическое изнашивание в результате ударного воздействия абразивных частиц на поверхность детали, увлекаемых потоком жидкости (газа).

Твердые частицы в потоке жидкости или газа изнашивают детали насосов, гидротурбин.

Гидроабразивное изнашивание происходит в условиях ударного воздействия твердых частиц на поверхность тела. В зависимости от свойств материалов и угла атаки абразивных частиц изнашивание может иметь природу хрупкого разрушения, микрорезания, пластического отеснения, возникновения и роста микротрещин.

Кавитация – полость, пустота. Под кавитацией понимают явление образования в движущемся по поверхности твердого тела потоке жидкости полостей в виде пузырей, наполненных парами, воздухом или газами, растворенными в жидкости или выделившимися из нее, и их резкого захлопывания.

Кавитационное изнашивание – механическое изнашивание при относительном движении твердого тела и жидкости, при котором пузырьки газа захлопываются вблизи поверхности, что создает местное высокое ударное давление или высокую температуру.

Кавитационному изнашиванию подвержены гильзы и блоки цилиндров ДВС, детали насосов системы охлаждения автомобилей и др.

Изнашивание при заедании – изнашивание в результате схватывания, глубинного вырывания материала, переноса его с одной поверхности трения на другую и воздействия возникших неровностей на соединенные поверхности.

Изнашивание при схватывании проявляется при отсутствии смазочных пленок и поверхностных структур, локализирующих линии пластического течения в тонких поверхностных слоях. В этих случаях плоскости максимальных напряжений распространяются в более глубокие от поверхности контакта слои и существенно увеличивают объем деформируемого материала. Разрушение материала происходит на значительной от поверхности глубине, а часть отделившегося материала налипает на поверхность соединенной детали. Если усилие сдвига превышает уровень движущихся сил, относительное движение деталей прекращается; происходит задира соединенной пары. Такой вид изнашивания является катастрофическим, приводящим к быстрому выходу из строя узла трения.

Результатом изнашивания при схватывании являются:

перенос материала – явление при трении твердых тел, состоящее в том, что материал одного тела соединяется с другим и, отрываясь от первого, остается на поверхности второго.

заедание – процесс возникновения и развития повреждений поверхностей трения вследствие схватывания и переноса материала (заедание может завершаться прекращением относительного движения);

задиры – повреждение поверхности трения в виде широких и глубоких борозд в направлении скольжения.

Усталостное изнашивание – механическое изнашивание в результате усталостного разрушения при повторном пластическом деформировании микрообъемов материала поверхности трения (происходит как при качении, так и при скольжении).

Данный вид изнашивания характерен для узлов трения качения с начальным точечным или линейным контактом деталей: шариковых и роликовых опор, зубчатых зацеплений коробок и главных передач, кулачковых газораспределительных механизмов. Внешне изношенные поверхности имеют вид кратеров с рваными краями и грубой поверхностью. Материал отслаивается по площади, значительно превышающей площадку контакта. Усталостное изнашивание зубчатых колес обычно возникает вблизи полюса зацепления.

Результатом усталостного изнашивания является:

отслаивание – отделение с поверхности трения частиц материала в форме чешуек;

выкрашивание – образование ямок на поверхности трения в результате отделения частиц материала.

Коррозионно-механическое изнашивание – изнашивание в результате механического воздействия, сопровождаемого химическим и (или) электрохимическим взаимодействием материала со средой.

Многочисленные трущиеся детали и соединения узлов и деталей агрегатов автомобилей (цилиндропоршневой группы, кривошипно-шатунного механизма, системы питания, системы зажигания), оборудования химической, нефтедобывающей, горнорудной, металлургической, пищевой и других отраслей промышленности при эксплуатации находятся в контакте с коррозионно-активными средами (остатками кислот и щелочей). В качестве коррозионной может быть газовая и жидкостная среда, биологически активная среда.

Коррозионно-механическое изнашивание не является суммой процессов механического изнашивания пассивирующей пленки и анодного растворения металла на свежееобразованной поверхности, а представляет собой сложный процесс, в котором коррозионный и механический факторы взаимосвязаны.

Изнашивание при фреттинг-коррозии; фреттинг-коррозия – коррозионно-механическое изнашивание соприкасающихся тел при малых колебательных относительных перемещениях.

Для возбуждения фреттинг-коррозии достаточны перемещения поверхностей с амплитудой 0,025 мкм.

Примерами такого вида изнашивания являются: посадки с запрессовкой колец подшипников качения; поршневые пальцы, втулки горячей посадки; сопряженные поверхности вала со ступицами лопаток турбин; колесные бандажы; болтовые, клиновые и штифтовые соединения, рессоры автомобиля.

Окислительное изнашивание – коррозионно-механическое изнашивание, при котором преобладает химическая реакция материала с кислородом или окисляющей средой.

Окислительное изнашивание происходит в том случае, когда на соприкасающихся поверхностях образуются пленки окислов, которые в процессе трения разрушаются и вновь образуются; продукты изнашивания состоят из оксидов. От других видов коррозионно-механического изнашивания оно отличается отсутствием агрессивной среды, протекает при нормальных и повышенных температурах при трении без смазочного материала или при недостаточном его количестве. Интенсивность изнашивания может быть весьма значительной, но поверхности трения сохраняют малую шероховатость; это объясняется тем, что оксиды препятствуют схватыванию поверхностей. При комнатной температуре окисление поверхностей активизируется пластической деформацией, поэтому одним из способов борьбы с окислительным изнашиванием является создание поверхностей трения с высокой твердостью.

Эрозия – процесс поверхностного разрушения вещества под воздействием внешней среды. *Эрозия* имеет и более узкое понятие – разрушение поверхности материалов вследствие механического воздействия высокоскоростного потока жидкости, газа или пара. Разрушение металлов под действием электрических зарядов также относится к эрозии. Различают газовую, кавитационную, абразивную и электрическую эрозию. Каждый вид эрозии имеет подвиды, которые являются сочетанием отдельных видов, например, газовая эрозия может быть газоабразивной, газоэлектрической и т.д.

Электроэрозионное изнашивание – изнашивание поверхности в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока.

Изнашиванию подвержены контакты в системах зажигания и пуска автомобильных двигателей, в электронной аппаратуре автомобилей.

Водородное изнашивание – процесс разрушения элементов металлической поверхности деталей соединения (узла трения) в результате адсорбции металлом водорода, который выделяется в процессе трения в результате деструкции смазочных материалов, полимеров, воды. Водородному изнашиванию подвергаются гильзы цилиндров, поршневые кольца, тормозные барабаны и др.

1.3. Классификация способов восстановления деталей

В зависимости от физической сущности процессов, технологических и других признаков существующие способы можно разделить на десять групп (табл. 1.1).

Т а б л и ц а 1 . 1

Классификация способов восстановления деталей

Номер группы	Группа способов	Способ
1	2	3
1	Слесарно-механическая обработка	Обработка под ремонтный размер
		Постановка дополнительной ремонтной детали
		Обработка до выведения следов износа и придания правильной геометрической формы
		Перекомплектация
2	Пластическое деформирование	Вытяжка, оттяжка
		Правка (на прессах, наклепом)
		Механическая раздача
		Гидротермическая раздача
		Электрогидравлическая раздача
		Раскатка
		Механическое обжатие
		Термопластическое обжатие
		Осадка
		Выдавливание
		Накатка
Электромеханическая высадка		
3	Нанесение полимерных материалов	Напыление: газопламенное, в псевдосжиженном слое вихревое, вибрационное, вибровихревое и др.
		Опрессовка
		Литье под давлением
4	Ручная сварка и наплавка	Нанесение шпателем, валиком, кистью и др.
		Газовая
		Дуговая
		Аргонодуговая
		Кузнечная
		Плазменная
		Термитная
Контактная		
5	Механизированная дуговая сварка и наплавка	Автоматическая под флюсом
		В среде защитных газов: аргоне, углекислом газе (диоксиде углерода), водяном паре и др.
		С комбинированной защитой
		Дуговая с газопламенной защитой
		Вибродуговая
		Порошковой проволокой или лентой
Широкослойная		

Продолжение табл. 1.1

1	2	3
		Лежачим электродом Плазменная (сжатой дугой) Многоэлектродная С одновременным деформированием С одновременной механической обработкой
6	Механизированные бездуговые способы сварки и наплавки	Индукционная (высокочастотная) Электрошлаковая Контактная сварка и наварка Трением Газовая Электронно-лучевая Ультразвуковая Диффузионная Лазерная Термитная Взрывом Магнитно-импульсная Печная наварка
7	Газотермическое нанесение (металлизация)	Дуговое Газопламенное Плазменное Детонационное Высокочастотное
8	Гальванические и химические покрытия	Железнение постоянным током Железнение периодическим током Железнение проточное Железнение местное (вневанное) Хромирование Хромирование проточное, струйное Меднение Цинкование Нанесение сплавов Нанесение композиционных покрытий Электроконтактное нанесение (электронатирание) Гальваномеханический способ Химическое никелирование
9	Термическая и химико-термическая обработка	Закалка, отпуск Диффузионное борирование Диффузионное цинкование Диффузионное титанирование Диффузионное хромирование Диффузионное хромотитанирование Диффузионное хромоазотирование Обработка холодом

1	2	3
10	Другие способы	Заливка жидким металлом
		Намораживание
		Напекание
		Пайка
		Пайкосварка
		Электроискровое наращивание и легирование

1.4. Разборка автомобилей и их агрегатов

Разборочный процесс – одна из особенностей авторемонтного производства. Он представляет собой совокупность различных операций по разъединению всех объектов ремонта до деталей в определенной последовательности.

Конечным продуктом разборочного процесса являются детали, которые в последующем используются в производстве без ремонта (60...70 %) или после их восстановления, поэтому при разборке автомобилей, их агрегатов и узлов необходимо обеспечить максимальную сохранность деталей. Годные детали обходятся производству примерно в 6...10 % от их прейскурантной цены, отремонтированные – в 30...40 %, а замена деталей – в 110...150 %.

Разборочный процесс включает в себя следующие виды работ: моечно-очистные, собственно разборочные, подъемно-транспортные, по перемещению объектов ремонта и контрольно-сортировочные.

Разборка автомобилей при капитальном ремонте производится по следующей схеме: общая разборка автомобиля на агрегаты, узлы и детали; разборка агрегатов на узлы и детали; разборка узлов и сборочных единиц на детали.

Разборка автомобилей начинается со снятия капота, кузова, оперения, топливных баков, радиаторов, приборов, электрооборудования и топливной аппаратуры. Затем отсоединяют механизмы управления и пуска двигателя, выключения сцепления, рулевого управления, управления тормозами и др. После этого с рамы снимают двигатель, коробку передач и т.п. В последнюю очередь отсоединяют ходовую часть автомобиля (передний и задний мост) и на месте разборки остается одна рама.

Разборка автомобилей в зависимости от объема производства может быть организована на стационарных постах или на поточных линиях.

Пост – это часть производственной площади, предназначенная для выполнения определенных операций технологического процесса, на который имеется необходимое оборудование, приспособления и инструмент. На посту может быть одно или несколько рабочих мест.

Рабочим местом называется зона трудовой деятельности одного или нескольких рабочих. Отдельная единица оборудования, обслуживаемая одним или несколькими рабочими, например стенд для разборки двигателя, считается одним рабочим местом. Каждая позиция конвейера независимо от числа рабочих считается одним рабочим местом.

Основными организационными формами разборки являются непоточная и поточная организации. При поточном способе оборудование и рабочие посты располагаются последовательно друг за другом в порядке выполнения операций технологического процесса, который производится на нескольких постах. Причем последовательность и объем операций, а также количество рабочих на постах такие, что за определенный промежуток времени, равный такту поточной линии, разбирается одно изделие.

Тактом разборки называется промежуток времени между разборкой двух последовательных автомобилей или агрегатов на поточной линии, т.е. промежуток времени, через который последние составные части разбираемого объекта ремонта снимают с последнего поста (рабочего места) поточной линии.

Технологическая документация на разборку оформляется в виде маршрутной и операционных карт.

Детали некоторых сопряжений в процессе разборки нельзя обезличивать по отношению друг к другу. К таким деталям относятся: картер сцепления и блок цилиндров; крышки коренных подшипников - блок цилиндров, крышки шатунных подшипников - шатуны и др. Детали, не подлежащие обезличиванию, после разборки вновь соединяют болтами (крышки подшипников) или связывают проволокой (шестерни).

К основным видам разборочных работ можно отнести разборку соединений резьбовых и с гарантированным натягом, трудоемкость разборки которых составляет около 60 % всей трудоемкости разборочных работ.

Для выполнения разборочных работ применяют конвейеры, подъемники, кран-балки, электротали, эстакады, стенды, прессы, механизированный инструмент, съемники и т.д.

Из ручных немеханических инструментов более эффективными являются коловоротные и трещеточные ключи. Установлено, что при замене рожковых ключей коловоротными и трещеточными отвертывание болтов и гаек М16 ускоряется соответственно на 25 и 66 %. Применение же механизированного инструмента повышает производительность труда собственно отвертывания в 3...5 раз и на 15...20 % сокращает трудоемкость всего разборочного процесса. Наиболее рациональным и перспективным из механизированного инструмента с электрическим приводом является высокочастотный механизированный инструмент с частотой 200 Гц и напряжением 36 В.

Разборка прессовых соединений осуществляется с помощью прессов, захватов и зажимных устройств с ручным или гидравлическим, пневмати-

ческим или электрическими приводами. Усилие P_p , необходимое для распрессовки, приблизительно может быть подсчитано эмпирическим путем.

Для стальной ступицы и стального вала

$$m_p = 1,5m_k = 3\delta\ell, \quad (1.1)$$

где P_z – усилие запрессовки, Н;

δ – натяг, мкм;

ℓ – длина ступицы, мм.

Для чугунной ступицы и стального вала

$$m_p = 1,5m_k = 1,15\delta\ell. \quad (1.2)$$

Прессы, применяемы при разборке (сборке) автомобилей, различают по виду привода, конструкции и назначению. По виду привода различают ручные, пневматические и гидравлические, по назначению – универсальные и специальные. Прессы с ручным приводом создают небольшие усилия и требуют значительных затрат энергии рабочего. Применяют их при небольших объемах производства для выпрессовки втулок, пальцев малого диаметра, штифтов, некоторых шкивов и подшипников. Винтовые ручные одностоечные прессы развивают усилие 5...7 кН, двухстоечные до 50 кН. Ход ползуна винтовых прессов 100...250 мм.

Независимо от технологического процесса направляющие втулки клапанов, втулки коромысел, палец промежуточной шестерни в сборе, втулки распределительных клапанов, а также агрегаты топливной аппаратуры, масляный насос, фильтры, центрифуги и другие сборочные единицы, узлы и агрегаты разбирают только после их мойки и проверки на специальных стендах. Они могут оказаться годными для дальнейшей работы без ремонта и излишняя их разборка ведет к повышенному изнашиванию сопряжений в период приработки и к увеличению трудоемкости ремонта автомобилей.

Агрегаты и детали, имеющие массу более 10 кг, необходимо снимать, транспортировать и устанавливать при помощи подъемно-транспортных средств. Освещенность рабочих мест искусственным светом должна соответствовать для работ средней точности при малом контрасте различения объекта с фоном (фон светлый) для газоразрядных ламп: комбинированное 400 лк, общее 100 лк. Каждое производственное помещение окольцовывают шиной заземления, расположенной на высоте 0,5 м от пола и снабженной надежными контактами. Сопротивление шины заземления в любом месте не должно превышать 4 Ом. Применение осветительных ламп без арматуры запрещено.

1.5. Очистка деталей

1.5.1. Сведения о загрязнениях и качестве очистки

Загрязнения, встречающиеся при ремонте и обслуживании машин и оборудования различны, по природе образования, условиям формирования, прочности, адгезии. Они представляют собой продукты как органических, так и неорганических соединений, их условно можно разделить на три основных вида: *общие, технологические и смешанные*. Обычно в условиях эксплуатации поверхности автомобилей загрязнены не одним видом, а комплексами разнообразных загрязнений, несвоевременное и некачественное удаление которых приводит к интенсификации процесса старения автомобиля и его агрегатов.

Механические свойства загрязнений изменяются в широких пределах: от свойств вязких веществ (масел), вязко-пластичных (смазок), в том числе мазеобразных (осадков), до свойств тел, обладающих пылеватой структурой (частицы почвы, атмосферная пыль), и твердых прочных образований (накипь, нагары и др.).

Характер загрязнений наружных поверхностей автомобилей зависит от условий эксплуатации и вида выполняемых работ. В атмосферном воздухе всегда содержится определенное количество пыли, которая в процессе эксплуатации автомобилей осаждается на их наружные и внутренние поверхности.

Все загрязнения можно разделить на три основные группы (рис. 1.1), которые различаются трудностью удаления загрязнений и их физико-химическими и механическими свойствами.

Первая группа – адгезионно-связанные (слабосвязанные загрязнения без примесей органических веществ).

Вторая группа – поверхностно адсорбционно-связанные (слабо связанные загрязнения с примесью органических веществ, до 35 %).

Третья группа – прочно (глубинно)-связанные (загрязнения, которые содержат в составе цементирующие и прочно склеивающие вещества).

Адгезионно-связанные загрязнения – смесь хаотичных по ориентации и размерам частиц почвы, дорожной, атмосферной пыли с малым содержанием органических веществ (до 5...6 %), удерживаемых на поверхности только за счет молекулярных и электростатических сил (рис. 1.1 а).

Поверхностно адсорбционно-связанные загрязнения представляют собой остатки топливно-смазочных материалов, смолистых отложений с большим содержанием органических веществ (более 6 %), которые удерживаются на поверхности не только за счет молекулярных и электростатических сил, но и за счет частичного поглощения загрязнений твердой поверхностью (рис. 1.1 б).

Прочно (глубинно)-связанные загрязнения состоят из лаков, полимеризованных смолистых отложений, нагара, краски, литейного и сварочного конгломератов, продуктов коррозии, окалина, накипи (.рис. 1.1 в).

В реальных условиях может быть сочетание нескольких видов загрязнений в различных соотношениях и последовательности.

Количество органических примесей в загрязнениях оказывает существенное влияние на качество очистки, и трудность их удаления возрастает по мере увеличения номера группы.

Анализируя состав загрязнений и механизм их образования, можно наметить два направления решения проблемы повышения качества очистки деталей, агрегатов, машин:

- предупреждение образования загрязнений или уменьшение адгезии их к металлической поверхности;
- разработка и внедрение в производство эффективных способов очистки (мойки) автомобилей, агрегатов, деталей и материалов.

Первое направление следует отнести к числу профилактических, связанных с использованием автомобилей. Оно охватывает следующие способы:

1. Введение присадок в топливо и масла.
2. Нанесение антиадгезионных покрытий.
3. Повышение уровня технического обслуживания машин.

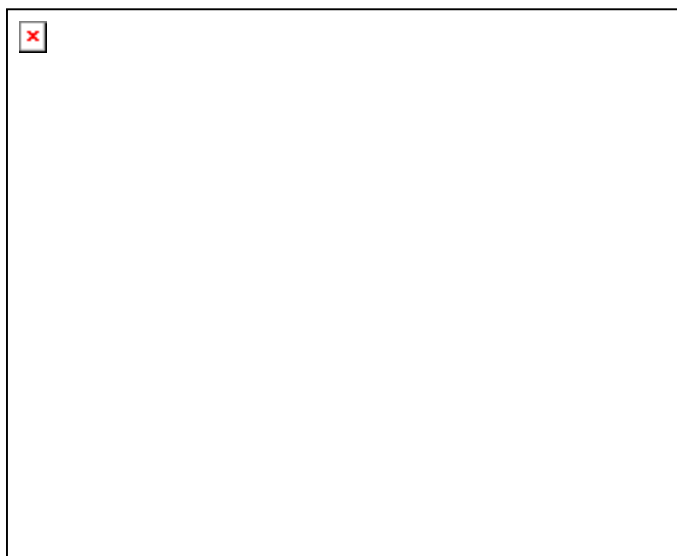


Рис. 1.1. Схемы взаимодействия загрязнений с очищаемой поверхностью:
а – адгезионно-связанные; *б* – поверхностно адсорбционно-связанные;
в – прочно (глубинно)-связанные

Второе направление решения проблемы связано с ремонтом автомобилей и требует в связи с неоднородностью состава и свойств загрязнений различных способов, средств и режимов их удаления. Например, если загрязнения первой группы легко удаляются при небольшом давлении струи

воды (до 0,5... 0,8 МПа), то для основной массы загрязнений второй группы значение давления возрастает до 1,5... 2 МПа. Удаление загрязнений третьей группы требует давления струи воды при струйной очистке от 3 до 26 МПа.

Качество отремонтированных машин во многом определяется техническим уровнем процессов очистки.

По ГОСТ 18206–78 допускаемая остаточная загрязненность очищаемых деталей, поступающих на дефектацию и сборку, в зависимости от шероховатости их поверхностей должна быть:

1. При R_a до 10 мкм – 1,25 мг/см².
2. При R_a от 2,5 до 0,63 мкм – 0,7 мг/см².
3. При R_a от 0,63 до 0,16 мкм – 0,25 мг/см².

Неполное удаление загрязнений перед сборкой ремонтируемых машин снижает их послеремонтный ресурс до 35 %.

Очистные операции неизбежны и в технологическом процессе изготовления машин (очистка поверхностей заготовок от окалины и формочной земли, очистка деталей для удаления остатков масел, стружек, абразивов и др.). Большой объем таких операций в технологическом процессе ремонта машин определен старением их элементов, диффузионным проникновением некоторых видов загрязнений в тело деталей, спецификой эксплуатации техники.

Очистные работы (не считая наружной мойки автомобиля при поступлении его в ремонт) включают очистку подработорванных агрегатов, деталей перед дефектацией, деталей перед сборкой узлов и агрегатов, мойку агрегатов и машин перед окраской.

Качественное выполнение работ при многостадийной очистке деталей, узлов и агрегатов позволяет:

- повысить производительность труда на рабочих местах на 20... 30 %;
- повысить качество дефектации деталей, культуру производства;
- обеспечить чистоту на рабочих местах ремонтного предприятия;
- повысить ресурс отремонтированных агрегатов и машин на 20... 35 %.

Многообразие загрязнений требует применения различных способов и средств для их удаления.

1.5.2. Характеристика моющих средств

Очищающее действие состоит в удалении загрязнений с поверхности объектов ремонта и переводе их в моющий раствор в виде связанных (стабильных) соединений. Оно проявляется в сложных процессах взаимодействия загрязнений, моющих средств и поверхностей. Рассмотрим наиболее значимые процессы, которые совместно или в отдельности друг от друга влияют на качество очистки. Это воздействие температуры на загрязнение и воздействие моющих средств.

Рассмотрим механизм удаления загрязнения с деталей в горячем моющем растворе (рис. 1.2). На рис. 1.2 *а* показано исходное состояние загрязнения на поверхности детали. Под действием горячего моющего раствора загрязнение быстро нагревается и в результате расширения от действия сил температурного расширения принимает волнистый вид с углом $\alpha = 90^\circ$ (рис. 1.2 *б*) и с углом $\alpha \leq 90^\circ$ (рис. 1.2 *в*). В дальнейшем загрязнение деформируется настолько, что, разрушаясь, образует капли, которые обволакиваются моющим раствором. В результате этого сила сцепления этих частиц с металлом уменьшается и они легко удаляются с поверхности деталей.

Рассмотрим составы и действие синтетических моющих средств (СМС), представляющих многокомпонентные составы, содержащие минеральные соли, поверхностно-активные вещества (ПАВ) и другие добавки. Основой моющего действия СМС являются ПАВ.

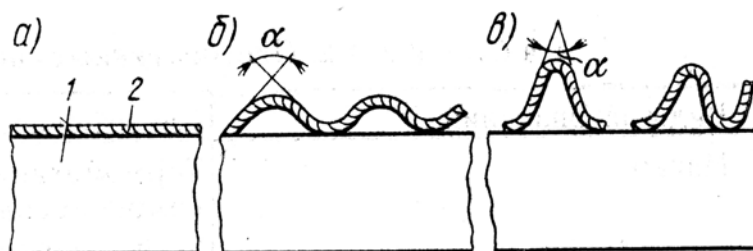


Рис. 1.2. Действие горячего моющего раствора на загрязнение:
1 – деталь; 2 – масляная пленка

ПАВ – это полярные органические соединения, облегчающие разрушение жировых пленок, предупреждающие повторное осаждение загрязнений, создающие устойчивые эмульсии при соприкосновении с водяной составляющей моющего раствора и, таким образом, интенсифицирующие процесс очистки деталей (объектов ремонта).

Молекула ПАВ состоит из двух частей (рис. 1.3): легкой (6) – гидрофобной (водоотталкивающей, способствующей растворению ПАВ в масле) и тяжелой (5) – гидрофильной (способствующей растворению ПАВ в воде). Молекула ПАВ – это длинная цепочка непредельных углеводов (легкая часть молекулы), заканчивающаяся сульфатами или сульфатами и аминными группами или натриевыми соединениями (тяжелая часть молекулы), содержащая полярные группы при неполярных звеньях молекул. Название «полярные» указывает на то, что молекула имеет два электрических полюса – положительный и отрицательный, которые имеют большое значение в моющем действии раствора.

Молекулы поверхностно-активных веществ обладают способностью ориентироваться в воде определенным образом. Полярная головка (гидрофильная часть) погружается в воду, а «хвостовая» углеводородная группа (гидрофобная) обращается к воздуху или к другой неполярной среде.

В результате такой ориентации концентрация молекул ПАВ на границе раздела фаз может в десятки тысяч раз превышать их концентрацию в объеме раствора. Такую концентрацию (скопление) молекул ПАВ называют адсорбцией.

Адсорбция в общем смысле слова означает повышение концентрации (скопление) одного из компонентов системы у поверхности раздела фаз. В основе моющего действия СМС лежит явление адсорбции ПАВ. Раствор ПАВ, обладающий хорошей смачиваемостью, проникает в тончайшие щели, трещинки грязевых гидрофобных агрегатов и раздробляет их до мельчайших частиц.

Концентрируясь на поверхности раздела фаз «вода – загрязнение», молекулы ПАВ образуют вокруг загрязнения защитную оболочку (гидрофобный слой), которая ослабляет связь его (загрязнения) с поверхностью детали. Тяжелая часть молекулы ПАВ способствует отрыву частиц загрязнения, покрытого пленкой, от поверхности детали. При механическом воздействии (вибрации, перемешивании) такие частицы переходят в водный раствор и пену, образуя эмульсию.

С повышением температуры раствора диспергирование загрязнений и их переход в раствор значительно ускоряются. Отсюда следует, что главным условием высокого качества погружной очистки деталей является обеспечение оптимальной температуры моющего раствора.

В соответствии с механизмом удаления загрязнений все очищающие средства (исключая расплавы солей, абразивные и травильные среды, механические воздействия) можно сгруппировать в четыре класса (табл. 1.2).

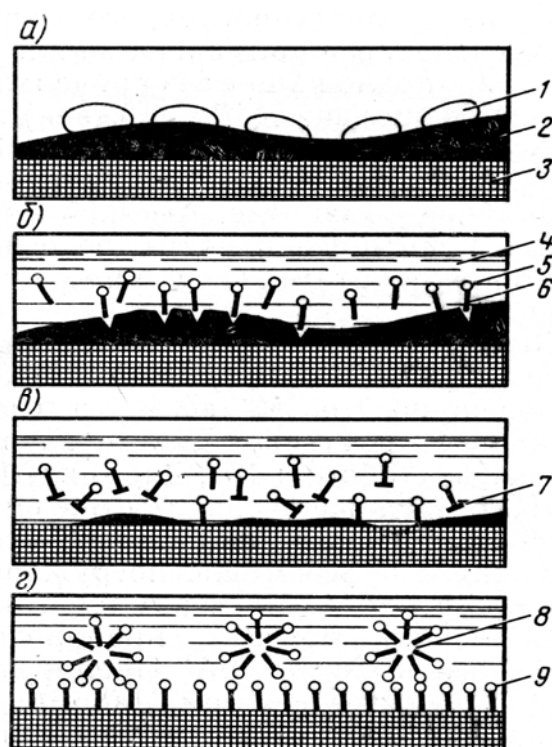


Рис.1.3. Схема моющего процесса:
 1 – капли воды; 2 – загрязнения;
 3 – очищаемая поверхность; 4 – моющий раствор; 5 – гидрофильная часть молекулы ПАВ; 6 – гидрофобная часть молекулы ПАВ; 7 – переход частицы загрязнения в раствор; 8 – частицы загрязнения, стабилизированные в растворе; 9 – адсорбция молекул ПАВ на очищенной поверхности;
 а – начальное состояние; б – «разрыхление» проникновение молекул ПАВ в загрязнение; в – переход загрязнения в раствор; г – стабилизация загрязнения в растворе

Таблица 1.2

Классификация моющих средств

Класс очищающих средств	Составы моющих средств	Типичные представители	Рабочая температура, °С
Щелочные моющие средства	Щелочи, щелочные соли	Каустическая сода, кальцинированная сода	80...95
Синтетические моющие средства (СМС)	Минеральные соли, синтетические ПАВ, стабилизаторы	Лабомид 101 (102), Темп 100Д, Вимол, Темп-200Д, Триас, МС-15, МС-17, МЛ-72, МЛ-80Д, ДИАС	70...90
Растворяюще-эмульгирующие средства (РЭС)	РЭС-1	Углеводороды, горючие ПАВ, стабилизаторы	20
	РЭС-2	Хлорированные углеводороды, негорючие ПАВ, стабилизаторы, ароматические углеводороды	
Универсальные биоразлагаемые моющие средства	Концентрированные водорастворимые жидкости, разлагаемые анионоактивные, катионоактивные и неионогенные ПАВ	ЕС-очиститель, ЕС-тракшампунь 250, УМОС, автолик 11, ЕС-Дескалер 2, ЕС-Дескалер М	10...80

1.5.3. Методы и способы очистки.

Классификация моечного оборудования

Различают следующие методы очистки: механический, физико-химический и термический.

Механический метод основан на удалении загрязнений путем приложения к ним нормальных тангенциальных сил. Разрушение загрязнений происходит путем протирания, соскабливания, иглофрезерования, воздействия струй жидкости (воды), воздуха, твердых частиц (стеклосферы, льда, чугушной дроби, косточковой крошки) и т.п.

Физико-химический метод предполагает удаление или преобразование загрязнений за счет молекулярных превращений, растворения, эмульгирования, диспергирования, химического травления загрязнений и очищаемой поверхности и других физико-химических процессов.

Химико-термический метод заключается в удалении загрязнений путем сжигания в пламени или расплавах солей и щелочей при 400–450°С. При этом происходят структурные и объемные изменения загрязнений, приводящие к очистке поверхностей.

Эти методы – основа для разработки различных способов очистки. Наибольшее применение в ремонтном производстве получили струйная и погружная очистки.

Струйная очистка заключается в удалении загрязнений с помощью высоконапорной струи воды или моющей жидкости (механический фактор), в качестве которой применяют растворы синтетических моющих средств (СМС).

При струйной очистке механический фактор проявляется как удар струи на удаляемые загрязнения, что приводит к их разрушению и размыву. Сила удара, Н:

$$P = m_0 \cdot V_0 \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot \psi, \quad (1.3)$$

где m_0 – секундная масса очищающего раствора, кг/с;

V_0 – скорость потока, м/с;

α – угол падения струи, рад;

ψ – коэффициент, учитывающий изменение силы удара при удалении очищаемой поверхности от сопла.

В зависимости от соотношения предела прочности загрязнения и предела его сцепляемости с очищаемой поверхностью превалирует либо способ очистки «сверлением» ($F_H > F_B$), либо способ очистки «отрыванием» ($F_H < F_B$), где F_H – сила взаимодействия частиц загрязнений с очищаемой поверхностью, F_B – сила взаимодействия между частицами загрязнений (рис. 1.4).

По данным ГОСНИТИ, повышение давления воды с 2,5 до 15 МПа при удалении наружных загрязнений приводит к увеличению производительности процесса очистки до 20 раз, снижению энергозатрат в 4 и расхода воды в 10 раз.

Погружная очистка заключается в погружении объекта (машины, агрегата) в очищающие растворы и выдерживании до удаления загрязнений. При этом эффективным фактором механического воздействия на удаляемые загрязнения следует считать вибрацию очищаемых деталей, очищающей жидкости или их совместное колебательное движение.

Для очистки изделий используется широкая номенклатура моечного оборудования, которое можно классифицировать по двум основным признакам: назначению и принципу действия.

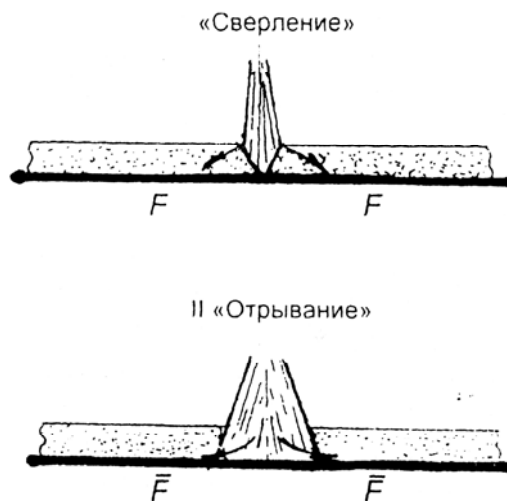


Рис. 1.4. Способы струйной очистки

По назначению моечное оборудование подразделяется: для наружной очистки оборудования и машин в сборе, очистки агрегатов, сборочных единиц и деталей, тары; по принципу действия – на струйное, щеточное, погружное, циркуляционное, комбинированное и др. В струйных моечных машинах физико-химический фактор воздействия водных растворов моющих средств дополняется механическими воздействиями (ударами) струи на удаляемые загрязнения, что приводит к разрушению и размыву последних за счет возникающих при ударе нормальных и касательных напряжений. Для формообразования струй используются различные насадки, а для создания давления – центробежные, плунжерные и другие насосы.

1.5.4. Специальные способы очистки

К специальным способам очистки относятся: очистка в расплавах и растворах солей, пескоструйная очистка, льдоструйная очистка, очистка косточковой крошкой, ультразвуковая очистка.

Одним из эффективных способов очистки деталей от нагара и накипи является их обработка в *расплаве солей*, нагретых до 380...420 °С, с последующим ополаскиванием в холодной воде, затем обработка их в кислотном растворе и промывка в горячей воде

В состав расплава входят NaOH – 65 %, NaNO₃ – 30 %, NaCl – 5 %.

Окислительная среда ванны переводит нагар и накипь в рыхлый налет, а при последующей обработке в кислотном растворе он удаляется. Одновременно с нагаром и накипью удаляются все неметаллические загрязнения. Время выдержки деталей в расплаве зависит от состояния деталей и колеблется от 5 до 15 мин.

Составы кислотных растворов и растворов для последующей очистки деталей зависят от их материалов. Детали из черных металлов обрабатываются в течение 5...6 мин. в 50 %-м водном растворе ингибированной соляной кислоты, нагретом до 50...60 °С. Последующую очистку деталей проводят в щелочных растворах, содержащих 3...5 г/л кальцинированной соды и 1,5...2 г/л тринатрийфосфата. При очистке деталей щелочной раствор подогревают до 80...90 °С. Время колеблется от 8 до 10 мин.

Если одновременно обрабатывают детали из черных и цветных металлов, то применяют кислотный раствор, в состав которого входят ортофосфорная кислота – 85 г/л воды и хромовый ангидрид – 125 г/л. При обработке деталей кислотный раствор подогревают до 80...90 °С. Время обработки деталей – 8...10 мин. Ополаскивание деталей проводят в чистой горячей воде.

В кислотных растворах детали обрабатывают с целью нейтрализации щелочей, осветления поверхностей, удаления оксидов.

Пескоструйная очистка сводится к обработке загрязненных поверхностей кварцевым или металлическим песком в потоке жидкости. Она явля-

ется эффективным способом удаления продуктов коррозии, накипи и подготовки металлической поверхности к окраске. При этом способе поверхность не только очищается, но и приобретает равномерную шероховатость, способствующую лучшему прилипанию лакокрасочных материалов.

Для пескоструйной установки обычно используют песок:

- а) крупный, зернистостью 1...2 мм;
- б) средний, зернистостью 0,6...0,8 мм;
- в) мелкий, зернистостью 0,2...0,4 мм.

Чем больше масса частиц песка, их скорость и содержание в струе воздуха, тем интенсивнее очищается поверхность, тем выше производительность пескоструйной очистки.

Очистка косточковой крошкой (стеклянными шарами) отличается от пескоструйной лишь тем, что песок в этом процессе заменен мелкодробленой скорлупой фруктовых косточек (слив, абрикосов и др.).

Подаваемая сжатым воздухом под давлением косточковая крошка с большой скоростью выбрасывается из сопла установки и, ударяясь о поверхность детали, удаляет находящиеся на ней загрязнения (нагар, накипь, кокс и др.).

Важное преимущество этого способа перед пескоструйной очисткой в том, что косточковая крошка, обладая меньшей твердостью, совершенно не царапает поверхность очищаемых деталей, в том числе и деталей из алюминиевых сплавов.

Размер частиц крошки должен быть в пределах 2...4 мм.

Льдоструйная очистка отличается от двух предыдущих лишь тем, что песок или косточковая крошка в этом процессе заменены на гранулы из льда. Размер гранул колеблется в пределах 2...5 мм.

Существуют две технологии получения ледяных гранул: дробление глыб льда до нужного размера; распыление воды в камере с жидким азотом.

Доставляют гранулы к очищаемой поверхности при помощи металлических машин.

Применение сухого льда при очистке отличается от льдоструйной очистки тем, что лед резко охлаждает деталь, и в силу различия коэффициентов термического расширения детали и загрязнения последние разрушаются, далее загрязнение с поверхности детали удаляют механическим путем.

Ультразвуковая очистка деталей заключается в том, что в очищающем растворе с помощью ультразвуковых генераторов типа УЗГ-10 и магнитострикционных преобразователей ПМС-7 вызываются звуковые колебания большой частоты (30 тысяч колебаний в секунду и более).

Под действием этих колебаний в жидкости образуются области сжатия и разрежения, распространяющиеся по направлению ультразвуковых волн. При интенсивности ультразвуковых колебаний порядка 4...5 Вт/см² возникают кавитационные явления, связанные с захлопыванием воздушных пу-

зырьков. Происходит мощный гидравлический удар, способный создать местное давление выше 10 МПа. Под действием гидравлических ударов трудноудаляемые загрязнения (накипь, кокс, смола, нагар и др.) разрушаются, отделяются от поверхности детали, переходят в моющий раствор, превращаясь в эмульсию. Кроме кавитации в процессах очистки большую роль играют акустические течения, которые образуют вихревые гидродинамические потоки, способствующие растворению и перемещению компонентов в жидкой среде.

1.6. Дефектация деталей

1.6.1. Общие сведения

Дефектацией называется процесс технического контроля деталей, сборочных единиц, бывших в эксплуатации, с целью определения их годности для дальнейшего использования на ремонтируемом объекте.

Основная *задача* дефектовочных работ – не пропустить на сборку детали, ресурс которых исчерпан, и не выбраковать годные без ремонта детали.

Ошибки конструирования, нарушения технологического процесса производства, технического обслуживания и ремонта автомобилей, а также эксплуатация приводят к возникновению дефектов.

Дефект – каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям (по ГОСТ 15467–79).

Устранимый дефект – дефект, устранение которого технически возможно и экономически целесообразно (по ГОСТ 15467–79).

Величина (масштаб) дефектов – количественная характеристика отклонения фактических размеров и (или) формы деталей и их поверхностей от номинальных значений с учетом припуска на подготовительную обработку перед восстановлением.

При дефектации определяют искажение геометрической формы деталей, отклонение их размеров от чертежа, нарушение взаимного расположения деталей, физико-механических свойств материала (изменение твердости поверхности, упругих и магнитных свойств), усталостные разрушения и др.

Контроль деталей выполняется в соответствии с техническими условиями в определенной последовательности.

В первую очередь проверяются дефекты, по которым деталь чаще всего выбраковывается. Если деталь имеет такие дефекты и величина их соответствует (по техническим условиям) выбраковке, то остальные дефекты у этой детали не проверяются.

Степень годности деталей к повторному использованию или восстановлению устанавливают по технологическим картам на дефектацию. В

них указаны: краткая техническая характеристика детали (материал, вид термической обработки, твердость, нормальные размеры, отклонение формы и взаимного расположения поверхностей), возможные дефекты, способы их устранения, методы контроля, допустимые параметры без ремонта и предельные размеры. Оценку проводят сравнением фактических геометрических параметров деталей и других технических характеристик с допустимыми значениями.

Допустимыми называются размеры и другие технические характеристики детали, при которых она может быть поставлена на машину без ремонтных и восстановительных воздействий и будет удовлетворительно работать в течение предусмотренного межремонтного периода.

Предельными называются размеры и другие характеристики детали, при которых она не может быть поставлена на машину без восстановления.

Выбраковочными называются размеры и другие характеристики детали, при которых она не может быть восстановлена или это экономически нецелесообразно.

В процессе дефектации детали сортируют на пять групп, которые маркируют различной краской:

- зеленой – годные, параметры которых находятся в пределах, допускаемых для использования с деталями, бывшими в эксплуатации или новыми;
- желтой – годные, параметры которых находятся в пределах, допускаемых для работы только с новыми деталями;
- белой – утратившие работоспособность, которую можно восстановить в условиях данного предприятия;
- синей – утратившие работоспособность, ремонт и восстановление которых возможны только на специализированных предприятиях;
- красной – негодные, которые имеют выбраковочные размеры и неисправимые дефекты; они направляются в утиль для использования в качестве металлолома.

1.6.2. Классификация дефектов

Классификация дефектов позволяет правильно выбрать технологические процессы восстановления деталей, особенно типовые; обосновать рациональную специализацию подразделений, занятых восстановлением; производить укрупненные расчеты трудовых и материальных затрат, связанных с восстановлением; планировать производство.

Дефекты относятся как к отдельным поверхностям, так и к деталям в целом.

Дефекты поверхностей деталей классифицируются:

- по несоответствию размеров (74,9 %);
- по несоответствию формы (19,5 %);

- по несоответствию шероховатости (4,9 %);
- по несоответствию физико-механических свойств (0,2 %);
- нарушению целостности (0,5 %).

Различают следующие группы дефектов, относящихся к деталям в целом: *нарушение целостности* (трещины, обломы, разрывы и др.); *несоответствие формы* (изгиб, скручивание, вмятины и др.) и *размеров* деталей. Может быть и сочетание дефектов.

При выборе способа и технологии восстановления большое значение имеют размеры дефектов; выделяются три группы размеров – до 0,5 мм; 0,5-2 мм и свыше 2 мм.

Количественная оценка размеров дефектов необходима при определении отклонений размеров и формы.

Вероятность появления дефектов количественно оценивается на основании обработки статистических материалов и характеризуется коэффициентами повторяемости дефектов.

Коэффициент повторяемости дефекта определяют из выражения

$$K_{П.д} = \frac{n_{д}}{n_{в}}, \quad (1.4)$$

где $n_{д}$ – число деталей с данным дефектом из суммарного количества продефектованных;

$n_{в}$ – суммарное число продефектованных ремонтпригодных деталей.

Ремонтпригодные детали машин характеризуются коэффициентами восстановления.

Коэффициент восстановления определяют по формуле:

$$K_{в} = \frac{K_{Г.в} \cdot K_{Г}}{(1 + K_{Г.в}^m \cdot K_{Г}^m)}, \quad (1.5)$$

где $K_{в}$ – коэффициент восстановления;

$K_{Г.в}$ – коэффициент годности деталей для восстановления;

$K_{Г}$ – коэффициент выхода годных деталей в процессе восстановления;

m – кратность восстановления деталей.

Обычно для расчета объемов работ, выполняемых при восстановлении деталей, используют значение *коэффициента годности деталей для восстановления*, определяемое по формуле

$$K_{Г.в} = \frac{n_{в}}{n_{деф}}, \quad (1.6)$$

где $n_{в}$ – число деталей данного наименования, подлежащих восстановлению (ремонтпригодных);

$n_{деф}$ – число деталей данного наименования, подлежащих дефектации.

1.6.3. Средства и процессы для выявления дефектов

Средства контроля – это изделия или материалы, применяемые для осуществления контроля; *способ контроля* – это совокупность правил применения определенных принципов для осуществления контроля (ГОСТ 16504–81).

Операции по определению дефектов следующие:

- простукивание и наружный осмотр;
- измерение 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 соединений 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, ЛШШ-25, ЛШШ-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.

Резьбы на валах и в отверстиях осматриваются, а наиболее ответственные из них контролируются резьбовыми калибрами или пробками.

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 торцов 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.

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 местах дефектов магнитного поля рассеяния. Эти способы надежны и просты, поэтому получили широкое распространение.

Сущность магнитного способа определения дефектов 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 определяет сущность 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 дефекта 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 добавле-

нием алюминиевой пудры) или люминесцентные порошки, содержащие люминофор-люминоген светло-желтого цвета. Размер частицы порошка составляет 0,1...60 мкм.

Магнитные пасты содержат различные смачивающие, антикоррозионные и другие добавки. В основном используют смесь керосина и трансформаторного масла в равных количествах. На 1 кг смеси добавляют 30...50 г магнитного порошка.

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

Дефекты 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 пропуском тока под напряжением 12 В через контролируемую деталь (рис. 1.5 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. 1.13 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.

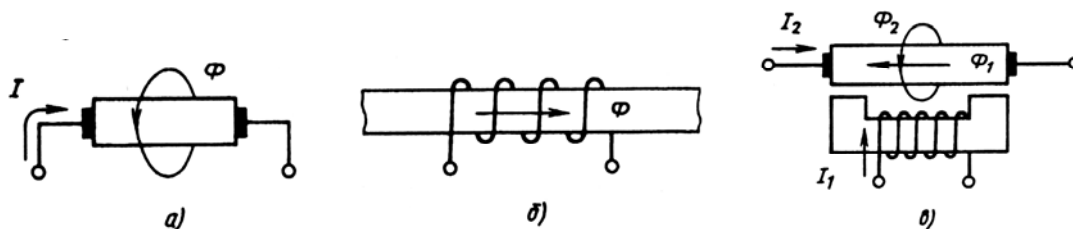


Рис. 1.5. Способы намагничивания деталей:
а – циркуляционное; б – полюсное; в – комбинированное

Значение тока I (в амперах), пропускаемого через обмотку соленоида при полюсном намагничивании, равно:

$$I = \frac{H \sqrt{D_C^2 + l^2}}{1.256n}, \quad (1.7)$$

где H – напряженность магнитного поля, А/м;

D_C^2 – средний диаметр соленоида, м;

l – длина соленоида, м;

n – число витков соленоида.

Комбинированное намагничивание (рис. 1.5 в) осуществляется при одновременном намагничивании детали двумя или несколькими магнитными полями разных направлений для обнаружения трещин любого направления.

Для определения дефектов 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 дефектов 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...15915 А/м. В приложенном магнитном поле определяют дефекты деталей из магнитомягких материалов (Ст2, Ст3, от стали 10 до стали 40 и др.), а в поле остаточной намагниченности – деталей, изготовленных из магнито жестких (легированных и высокоуглеродистых сталей).

Значение тока I для проверки в приложенном поле при циркуляционном намагничивании определяется по формуле

$$I = (6...8)d, \quad (1.8)$$

а в поле остаточной намагниченности – по формуле

$$I = (17...20)d, \quad (1.9)$$

где d – диаметр детали, мм.

В ремонтном производстве применяют переносные и передвижные магнитные дефектоскопы ПМД-68, ПМД-70, ПМД-77, ПМД-ЗМ, М-217 и др.

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 дефектов феррозондовым способом применяют феррозондовые преобразователи.

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

Степень размагниченности проверяют путем обсыпания 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 дефектом наносят проникающую жидкость (пенетрант), дают выдержку для проникновения жидкости в полость дефекта, удаляют ее остатки с поверхности детали, высушивают деталь. В заключение производят извлечение проникающей жидкости на поверхность детали. Чем глубже трещина, тем более широкая полоска жидкости будет на поверхности детали.

Проникновение пенетранта в полость дефекта 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 ультрафиолетовыми лучами, 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 дефекта 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 дефектов капиллярным способом следующая. Очищенные детали погружают в ванну с проявляющей жидкостью. Жидкость можно наносить пульверизатором или мягкой кистью. Затем деталь очищают 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.

Поверхностные трещины на деталях несложной формы определяют с помощью ультразвуковых дефектоскопов, использующих звуковые волны частотой 0,5... 15 МГц. Наибольшее применение нашли устройства, работающие по принципу излучения и приема бегущих и стоячих акустических волн (рис. 1.6). В свою очередь устройства, в которых применяют бегущие волны, делят на три группы: использующие прохождение и отражение волн и импедансные.

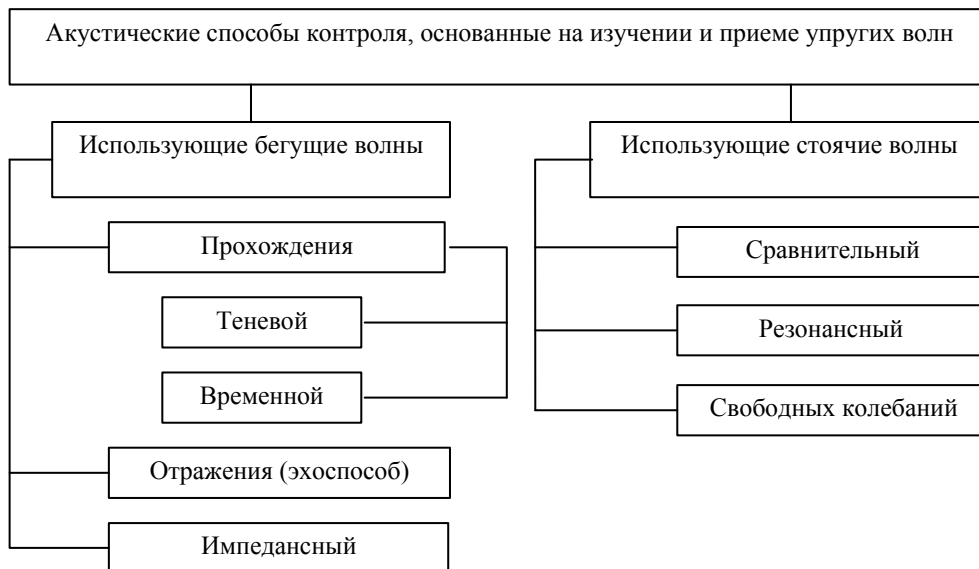


Рис. 1.6. Классификация акустических способов контроля

Способы прохождения волн подразделяют на теневой и временной. Теневой способ учитывает уменьшение амплитуды волны, прошедшей по-

вреждение (рис. 1.7). Временной способ основан на запаздывании импульса, вызванного огибанием дефекта волнами.

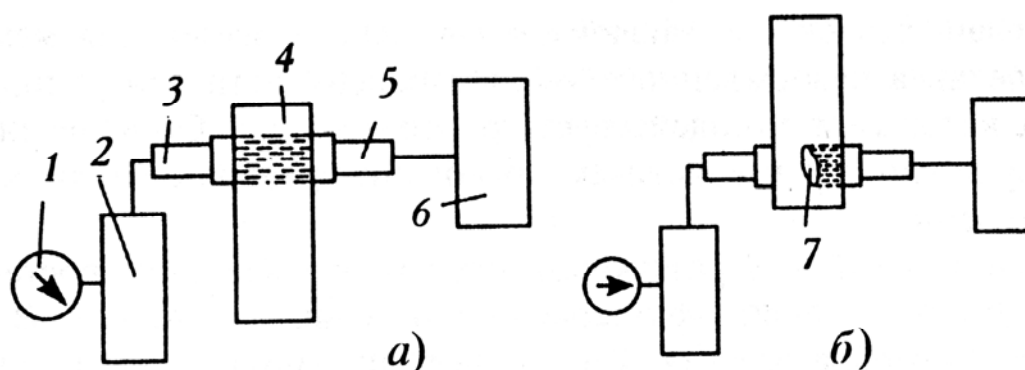


Рис. 1.7. Схемы определения дефектов теньвым способом:
а – заготовка без дефекта; *б* – заготовка с дефектом; 1 – индикатор;
 2 – усилитель; 3 – пьезоприемник; 4 – заготовка;
 5 – излучатель; 6 – генератор; 7 – дефект

Способ отражения волн (эхоспособ) состоит в сопоставлении времени перемещения отраженных волн от дефектов и противоположной поверхности изделия (рис. 1.8). Эхоспособ применяется в том случае, когда доступ к поверхности детали возможен с одной стороны.

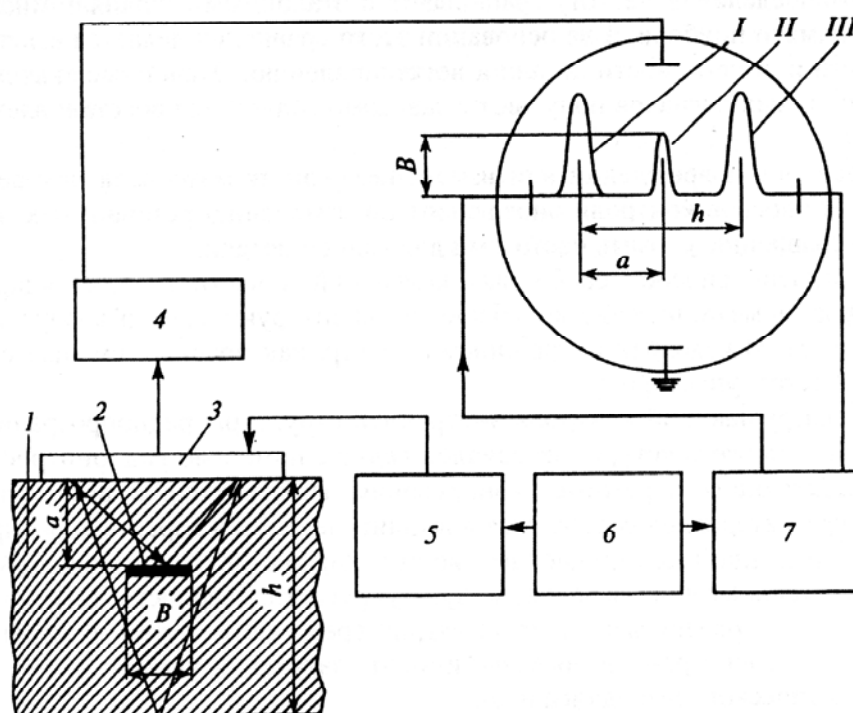


Рис. 1.8. Схемы определения дефектов эхоспособом:
 1 – заготовка; 2 – дефект; 3 – преобразователь; 4 – усилитель; 5 – генератор;
 6 – синхронизатор; 7 – блок развертки; I, II, III – импульсы соответственно зондирующий, от повреждения и донный; *B* – относительный размер дефекта;
h – толщина заготовки; *a* – глубина залегания дефекта

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 изменения акустической энергии изменяется частота ультразвуковых колебаний в 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 дефектов или изменение свойств материала при резонансном способе контроля определяют по изменению резонансных частот по сравнению с этими частотами для годной детали.

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

Внутренние полости некоторых деталей или соединений пар деталей проверяют на герметичность. В качестве пробного вещества применяют воду, керосин или воздух. Количественная характеристика герметичности выражается расходом газа или жидкости, протекающих через течь, или падением давления в полости за единицу времени. Наибольшее распространение в ремонтном производстве получили газовые манометрические способы. Таким способом контролируют блоки, головки и гильзы цилиндров, впускные трубы и газопроводы, корпуса воздухоочистителей и другие изделия.

2. ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

2.1. Общие сведения

Пластическое деформирование материала применяют для восстановления расположения, формы, размеров и шероховатости поверхностей и механических свойств детали за счет перемещения материала в объем самой детали, изменения структуры материала или создания наклепа.

Сущность способа состоит в том, что под давлением деформирующего элемента микронеровности поверхности детали пластически деформируются, заполняя впадины микропрофиля обрабатываемой поверхности.

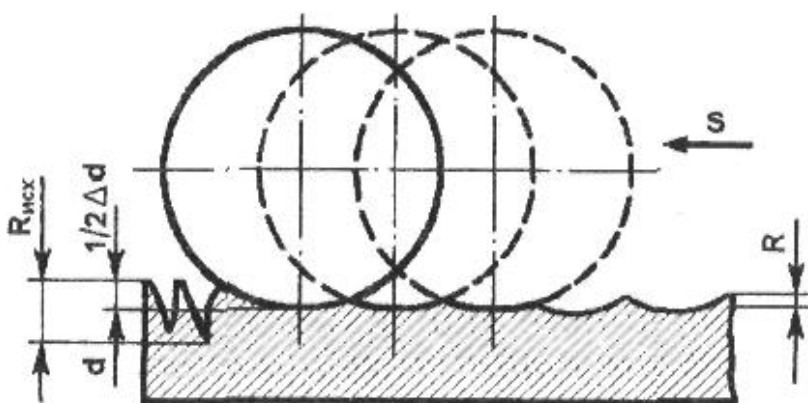


Рис. 2.1. Схема деформации поверхности детали шариком:
 $R_{исх}$ и R – шероховатость детали до и после обработки; d – диаметр детали;
 S – подача инструмента

Исходная высота микронеровностей $R_{исх}$ уменьшается, металл выступов перемещается в обоих направлениях от места контакта с деформируемым элементом, образуется поверхность с новым микропрофилем и высотой неровностей R . При этом исходный размер детали уменьшается.

Пластическое деформирование проводят как в нагретом, так и в холодном состоянии.

2.2. Восстановление размеров детали

Восстановление размеров элементов деталей пластическим деформированием за счет перемещения материала из изнашиваемого объема в зону износа включает подготовку детали, нагрев (при необходимости), приложение деформирующего усилия и последующую обработку.

Подготовка детали к деформированию заключается в отжиге или в высокотемпературном отпуске. В ряде случаев заготовку непосредственно перед деформированием нагревают до температурыковки. Последнюю операцию не проводят для стальных заготовок с твердостью менее 25...30 HRC, а также для заготовок из цветных металлов.

Процессы перемещения материала при пластическом деформировании классифицируют в зависимости от соотношения направления внешних сил и деформаций и вида применяемой энергии. По соотношению направлений внешних сил и деформаций различают основные способы восстановления размеров деталей: осадку, раздачу, обжатие, вытяжку и вдавливание.

Деформирующее усилие создают молотами или прессами, деталь при этом устанавливают в приспособление.

Осадку применяют для уменьшения внутреннего и увеличения наружного диаметра полых и сплошных деталей. Площадь поперечного сечения детали увеличивается, а высота (длина) уменьшается. Направление действующей силы P не совпадает с направлением деформации детали (рис. 2.2 а). Требуемое давление, МПа:

$$q = \sigma_{\tau} \left[1 + d / (6h) \right], \quad (2.1)$$

где σ_{τ} – предел текучести материала детали, МПа;
 d и h – диаметр и длина детали, мм.

Осадкой восстанавливают втулки верхней головки шатунов и шкворней, вилки карданных валов, толкатели двигателей, ступицы ведомых дисков сцепления и др. Размер восстановленных деталей осадкой не должен отличаться от первоначального размера более чем на 15 %.

Для увеличения площади поперечного сечения детали не по всей длине, а в ее средней или концевой части проводят неполную осадку, которую называют высадкой. В этом случае нагревают только осаживаемую часть. Так наиболее часто восстанавливают шейки валов и осей.

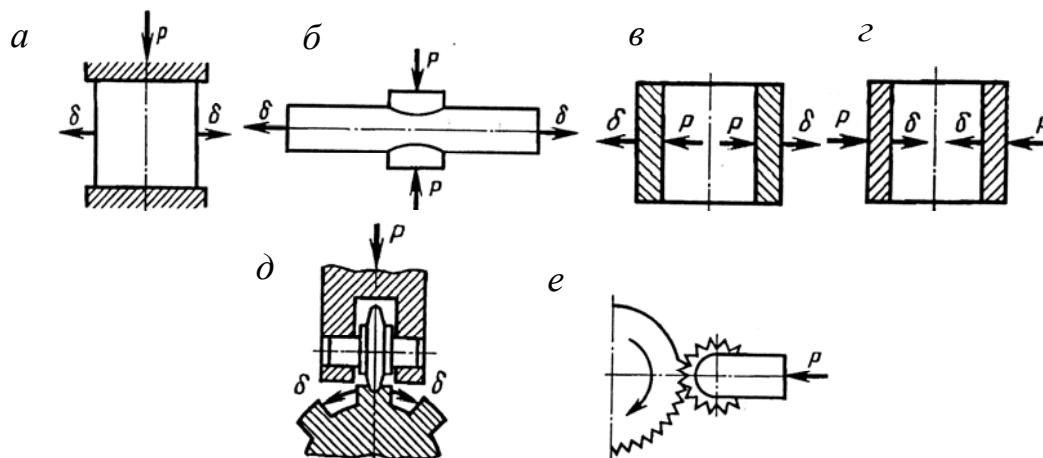


Рис. 2.2. Схемы восстановления деталей пластическим деформированием: а – осадка; б – вытяжка; в – раздача; г – обжатие; д – вдавливание; е – накатка

Вытяжку и растяжку используют для увеличения длины деталей (тяг, штанг, шатунов, рычагов и др.) за счет уменьшения ее поперечного сечения. При вытяжке направление деформирующей силы P (рис. 2.2 б) не совпадает с направлением деформации, а при растяжке – совпадает.

Раздачу применяют для увеличения наружных размеров полых деталей за счет увеличения их внутренних размеров. Она характеризуется совпадением направления деформирующей силы (рис. 2.2 в) с направлением деформации δ . После нее наружный диаметр детали должен быть равен номинальному диаметру с учетом припуска на механическую обработку.

Давление при раздаче, МПа:

$$q = 1,1\sigma_{\tau} \ln \frac{R}{r}, \quad (2.2)$$

где R и r – наружный и внутренний радиусы восстанавливаемой детали, мм.

Так восстанавливают поршневые пальцы, посадочные поверхности под подшипники чашек дифференциала, наружные цилиндрические поверхности труб полуосей и др.

В зависимости от износа и пластических свойств металла детали раздают без нагрева или с нагревом. Если деталь закалена или цементирована, то перед раздачей ее подвергают отжигу или высокому отпуску. При холодной раздаче высота уменьшается не намного, а при горячей — значительно больше. Если деталь раздавали в горячем состоянии или перед этим подвергали отжигу или отпуску, то после раздачи ее следует закалить и отпустить, а затем проверить твердость.

Сущность термопластической раздачи заключается в том, что деталь нагревают снаружи до температуры выше 750...950 °С и охлаждают изнутри потоком жидкости. Внутренние кольцевые слои материала, охлаждаясь, стремятся уменьшиться в диаметре, но им препятствуют нагретые наружные слои, поэтому внутренние слои пластически растягиваются и увеличиваются в диаметре по сравнению с первоначальным размером в холодном состоянии. При дальнейшем охлаждении внутренние слои утрачивают пластичность и превращаются в жесткую оправку, которая не способствует уменьшению диаметров наружных слоев. Процесс протекает с одновременной закалкой материала. Приращение диаметра поршневых пальцев дизельных двигателей – 0,1...0,3 мм. Рассмотренный способ позволяет четырех – шестикратное восстановление деталей. Однако способ малоприменим к деталям карбюраторных двигателей. Малая толщина стенок этих деталей (4...5 мм по сравнению с 8... 10 мм у дизелей) не дает большого приращения диаметра.

Электрогидравлическая раздача поршневых пальцев карбюраторных двигателей основана на эффекте Л.А. Юткина (авторское свидетельство СССР №105011). Сущность эффекта заключается в иницировании в жидкости, заполняющей внутреннюю полость детали, электрического разряда,

создающего высокое гидравлическое давление, которое, в свою очередь, вызывает пластическое деформирование материала детали и обеспечивает припуск на механическую обработку.

Устройство для электрогидравлической раздачи (рис. 2.3) включает следующие основные части: источник энергии 1, накопитель энергии 2 и технологический узел 3 с положительным 4 и отрицательным 8 электродами, между которыми установлена деталь 7 с проводником 6 и пластмассовым патроном 5.

Технологическая жидкость, заполняющая внутреннюю полость детали, – вода. Напряжение разряда контура – 37 кВ, емкость батареи конденсаторов – 6 мкФ. Взрывной патрон изготовлен из полиэтилена марки ПЭВ-500, а иницирующий проводник – из алюминиевой проволоки диаметром 0,7 мм. При указанных режимах раздачи наблюдается пластическое увеличение диаметра поршневых пальцев, выполненных из стали 15Х, на 0,12 мм, а деталей из стали 45 – на 0,2 мм.

После деформирования необходима механическая обработка поверхностей до требуемых размеров.

Обжатие применяют для уменьшения внутренних размеров полых деталей за счет уменьшения наружных. Направление действующей силы P (рис. 2.2 г) совпадает с направлением требуемой деформации δ .

Обжатием восстанавливают втулки из цветных металлов, отверстия в проушинах рулевых сошек, рычагах поворотных цапф, зубчатые муфты с изношенными проушинами под пальцы и др. Такое восстановление проводят под давлением в специальном приспособлении в холодном состоянии или при нагреве деталей. Одной из разновидностей обжатия является *термопластическое обжатие*.

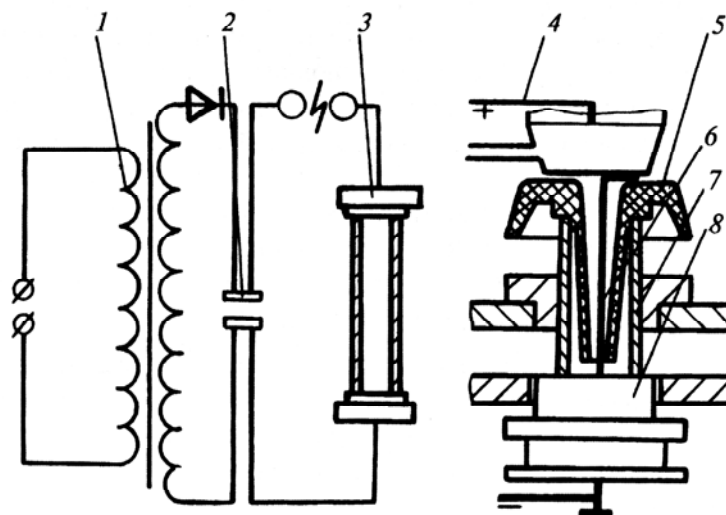


Рис. 2.3. Устройство для электрогидравлической раздачи поршневых пальцев:
 1 – источник энергии; 2 – накопитель энергии; 3 – технологический узел;
 4 – положительный электрод; 5 – пластмассовый патрон; 6 – проводник;
 7 – деталь; 8 – отрицательный электрод

Первый вариант термопластического обжата состоит в нагреве деталей (тип «втулка») в жесткой, облегающей деталь снаружи оправке и последующем охлаждении. Второй вариант заключается в том, что внутри заготовки при равномерном перемещении нагревающе-охлаждающего узла в виде индуктора со спрейером создаются квазистационарное тепловое поле в материале гильзы и значительный осевой температурный градиент. Последний создает в изделии различные объемные состояния и внутренние напряжения, под действием которых происходит равномерное пластическое его обжатие. Длительность процесса – 5...6 мин. Значение обжата – 0,9...1 мм.

Вдавливание представляет собой одновременную осадку и раздачу, так как деформирующая сила P (рис. 2.1 д) направлена под углом к направлению деформации δ . Длина детали не изменяется.

Вдавливанием ремонтируют изношенные боковые поверхности шлицев, шаровых пальцев, зубьев шестерен, нагревая их в специальных штампах и используя ролики, клинья и др.

Накатку применяют для увеличения наружного или уменьшения внутреннего диаметра деталей вытеснением металла отдельных участков рабочей поверхности. Направление деформирующей силы P (рис. 2.1 е) противоположно требуемой деформации δ .

Деталь устанавливают в патроне или центрах токарно-винторезного станка, а оправку с зубчатым роликом – на суппорте станка вместо резца. Восстанавливают детали с твердостью не более $HRC\ 25...30$. При большей твердости их необходимо отпустить. Наиболее часто накатывают роликом с шагом зубьев 1,5...1,8 мм. Накатку деталей из среднеуглеродистых сталей ведут при скорости 10...15 м/мин., продольной подаче 0,4...0,6 мм/об, угле заострения зуба инструмента 60...70° и охлаждении маслом. Необходимо получать поверхность с высокой несущей способностью при минимальном уменьшении площади опорной поверхности. Поднятый металл (гребешок) в поперечном сечении должен иметь форму трапеции, а не треугольника. Высота подъема металла на сторону не должна превышать 0,2 мм, а уменьшение опорной поверхности – 50 %.

Этим способом можно восстанавливать посадочные места (подшипников на валах и в корпусных деталях) при небольших на них нагрузках, а также вкладыши перед нанесением антифрикционного слоя или пластмассы.

Электромеханическая обработка – разновидность восстановления деталей пластическим деформированием. Деталь устанавливают в центры токарно-винторезного станка, а на суппорте закрепляют твердосплавную пластину 3 (рис. 2.4). Между деталью 1 и пластиной 3 пропускают ток силой 300...500 А и напряжением 1...2 В. В месте их контакта выделяется теплота, количество которой определяют по формуле, Дж:

$$Q = Q_1 + Q_2 = I^2 R t + f P_0 V t, \quad (2.3)$$

где Q_1 – количество теплоты выделенной электрическим током при обработке детали, Дж; Q_2 – количество теплоты, выделенной в результате механической работы, Дж; I – сила тока, А; R – сопротивление в месте контакта, Ом; t – время обработки детали, с; f – коэффициент трения; P_0 – усилие на инструменте, Н; V – скорость вращающейся детали, м/с.

При вращении детали и продольной подаче суппорта твердосплавная пластина 3 деформирует нагретый до температуры 800...850 °С металл, в результате чего на поверхности детали образуются винтовая канавка и выпученность. Диаметр детали увеличивается с d_0 до d_1 . После же прохода сглаживающей пластины 2 он уменьшается до d_2 , который больше d_0 .

Высаживающую и сглаживающую пластины изготавливают из сплава Т15К6. Ток подводится к детали через медное кольцо, установленное на патроне станка, и медно-графитовые щетки, питание – от переоборудованных сварочных трансформаторов ТС-300 с установкой одного дополнительного витка и подключением трансформатора на напряжение 220 В. Давление на инструмент при высадке закаленных деталей 900...1200 Н и сглаживании – 300...400 Н, для незакаленных деталей – соответственно 600...800 Н и 300...400 Н.

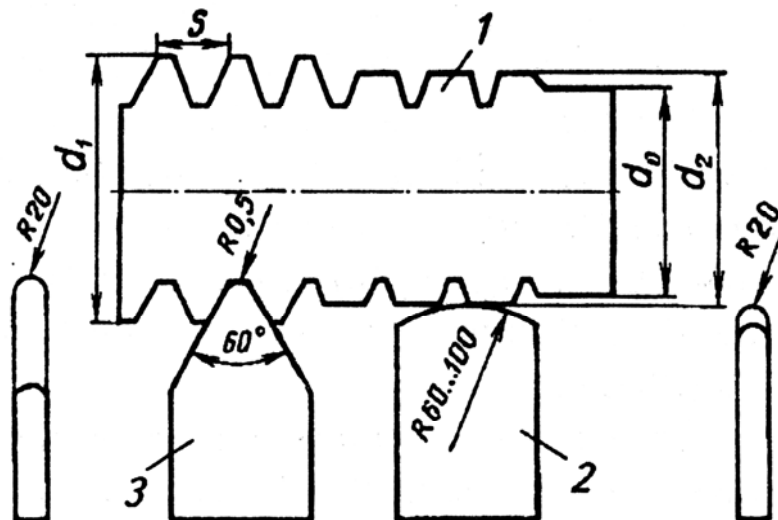


Рис. 2.4. Схема восстановления деталей электромеханическим способом:
 1 – деталь; 2 и 3 – сглаживающая и высаживающая пластины; d_0 – изношенный диаметр; d_1 – диаметр, образовавшийся после высаживающей пластины;
 d_2 – диаметр, образовавшийся после сглаживающей пластины;
 S – шаг высаживающей пластины

При высадке и сглаживании соответственно скорость вращения детали 1,5...8 и 5...8 м/мин., подача – 1...2 и 0,3...1,5 мм/об, число проходов – 2...4 и 1...2, сила тока – 400...500 и 250...400 А.

Электромеханическим способом восстанавливают посадочные места подшипников на валах с износом до 0,15 мм. При большем износе винтовые канавки на поверхности детали заполняют эпоксидной композицией,

что компенсирует уменьшающуюся площадь контактного места с кольцом подшипника.

2.3. Восстановление формы детали

Восстановление формы деталей достигают *правкой*.

Правку применяют при потере деталями своей первоначальной формы вследствие деформаций изгиба, скручивания и коробления. Правят коленчатые и распределительные валы, шатуны, балки мостов, детали рам статическим или динамическим нагружением и наклепом.

При правке статическим нагружением (в холодном или нагретом состоянии) с помощью пресса или различных приспособлений к детали прикладывают нагрузку, изгибающий или вращающий момент, совпадающий по направлению с направлением требуемой деформации.

Большинство изделий правят под прессом в холодном состоянии. Чтобы получить требуемую остаточную деформацию детали, необходимо приложить к ней усилие, создающее ее полную деформацию, в 10... 15 раз превышающую остаточную. Усилие для правки валов, Н:

$$P = \frac{3fEI}{a^2b^2}, \quad (2.4)$$

где f – стрела прогиба вала при правке, мм ($f=10 \delta$; δ – деформация вала до правки, мм);

E – модуль упругости, Н/мм²;

I – осевой момент инерции, мм⁴;

l – длина вала, мм;

a и b – расстояния от точки приложения усилия до опор, мм.

Нагрузку прикладывают к детали несколько раз в течение 1,5...2 мин для повышения точности деформации. При холодной правке в деталях возникают внутренние напряжения, которые при работе восстановленных деталей постепенно снижаются, что приводит к их деформациям и изменению геометрической формы. Холодная правка способствует снижению усталостной прочности на 15...20 %.

Для повышения стабильности геометрической формы и увеличения усталостной прочности деталь подвергают термической обработке после холодной правки. Ее нагревают до температуры 400...500 °С и выдерживают 0,5...1 ч. Однако это допустимо лишь для деталей (шатуны, балки передних мостов автомобилей и др.), термообработку которых при изготовлении проводили при температуре не ниже 450...500 °С. Детали, подвергнутые при изготовлении закалке ТВЧ (коленчатые и распределительные валы и др.), нельзя нагревать до температуры 450...500 °С, так как при этом ухуд-

шаются механические свойства рабочих поверхностей. Их рекомендуется нагревать до температуры 180...200 °С и выдерживать в печи 5...6 ч.

Правку с предварительным нагревом проводят при больших деформациях. Деформированные участки нагревают до температуры 800...900 °С. По сравнению с холодной правкой снижается усилие деформирования и металл деформируется по сечению более равномерно. Однако меняются его структура и механические свойства. Поэтому после правки детали часто подвергают соответствующей термической и механической обработкам.

Сущность *правки наклепом* состоит в том, что при ударах пневматическим молотком с закругленным бойком или ручным молотком со сферическим бойком по поверхности детали создаются напряжения сжатия, которые ее выпрямляют. Размер участков для наклепа и глубину наклепанного слоя определяют опытным путем в зависимости от степени изгиба, формы и размеров детали.

После нанесения ударов сферическим бойком по вогнутой стороне бруска и внутренней стороне щек бруска (рис. 2.5 *а*) и коленчатый вал (рис. 2.5 *б*) выправляются и принимают форму, показанную на рисунке пунктирными линиями. Направление ударов изображено стрелками.

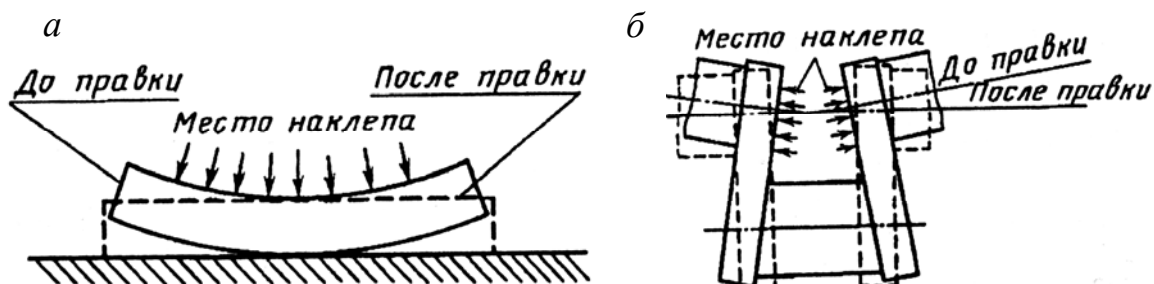


Рис. 2.5. Схемы правки наклепом:
а – бруска; *б* – коленчатого вала

2.4. Упрочнение деталей поверхностным пластическим деформированием

В соответствии с ГОСТ 18296–72 способы поверхностного пластического деформирования (ППД) подразделяют на статические и ударные. При статических способах обработки инструмент, рабочие тела или среда воздействуют на обрабатываемую поверхность с определенной постоянной силой P , происходит плавное перемещение очагов (очага) воздействия, которые последовательно проходят всю поверхность, подлежащую обработке. При этом инерционные силы не оказывают существенного влияния на ППД. К таким относятся различные виды выглаживания (рис. 2.6 *а*) и накатывания (рис. 2.6 *б*), а также способ однократного обжатия обрабатываемой поверхности (рис. 2.6 *в*) без перемещения очагов воздействия.

При ударных способах (рис. 2.6 *з*) инструмент, рабочие тела или среда многократно воздействуют на всю обрабатываемую поверхность или на ее часть, при этом сила воздействия P в каждом цикле изменяется от нуля или от некоторого значения P_1 до максимума, а в случае локального ударного воздействия очаг деформирования может (как и в статических способах) последовательно и равномерно проходить всю обрабатываемую поверхность.

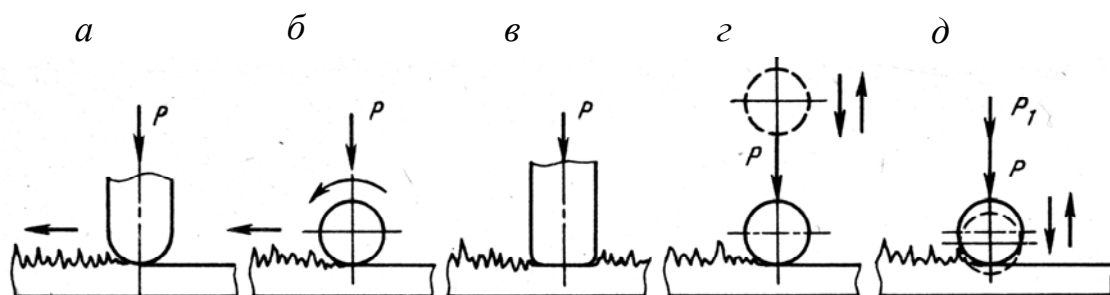


Рис. 2.6. Характер контактного взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью при различных способах ППД

Инструментами при ППД могут быть ролик, шар с принудительной осью вращения или без нее, гладилка, дорн с нережущими кольцами, боек-чекан и т.д. В качестве рабочих тел при ППД могут быть использованы дробь, шарики из стали, стекла, пластмассы и др. Рабочей средой при ППД могут быть жидкость, газ и их суспензии с частицами абразивного материала.

В табл. 2.1 приведены схемы обработки с помощью основных, наиболее распространенных способов ППД. Статические способы ППД, как правило, обеспечивают меньшую шероховатость поверхности с благоприятной формой микронеровностей; с помощью ударных способов можно достичь большой степени упрочнения, которая характеризуется степенью повышения микротвердости, значениями сжимающих внутренних напряжений и толщиной упрочненного слоя.

Это относится к статическим и ударным способам по удельной нагрузке и кратности ее приложения. Однако обработка некоторыми ударными способами уступает по степени упрочнения обработке статическими способами, например, при виброударной обработке степень упрочнения бывает обычно меньше, чем при накатывании.

В состав требований (ГОСТ 20299–74) входят следующие группы: требования к обрабатываемым изделиям, технологическим процессам обработки ППД, оборудованию, оснастке, аппаратуре и инструменту, основным технологическим материалам, обрабатываемым изделиям, контролю обработки, технологическим процессам следующей за ППД обработки и сборки изделий, технике безопасности и производственной санитарии при обработке ППД.

Необходимо учитывать, что обработка, основанная на пластическом деформировании тонкого поверхностного слоя, имеет по сравнению с обработкой точением, шлифованием, полированием, доводкой ряд преимуществ, в том числе:

- сохраняется целостность волокон металла, и образуется мелкозернистая структура в поверхностном слое;
- отсутствует шаржирование обрабатываемой поверхности частичками шлифовальных кругов, полировочных паст;
- отсутствуют термические дефекты;
- стабильны процессы обработки, обеспечивающие стабильное качество поверхности;
- можно достигать минимального параметра шероховатости поверхности ($Ra=0,1...0,05$ мкм и менее) как на термически не обработанных сталях, цветных сплавах, так и на высокопрочных материалах, сохраняя исходную форму заготовок;
- можно уменьшить шероховатость поверхности в несколько раз за один рабочий ход;
- создается благоприятная форма микронеровностей с большей долей опорной площади;
- можно образовывать регулярные микрорельефы с заданной площадью углублений для задержания смазочного материала;
- создаются благоприятные сжимающие внутренние напряжения в поверхностном слое;
- плавно и стабильно повышается микротвердость поверхности.

Указанные и другие преимущества способов ППД обеспечивают повышение износостойкости, сопротивления усталости, контактной выносливости и других эксплуатационных свойств обрабатываемых деталей на 20–50%, а в некоторых случаях – в 2–3 раза (при условии выбора в каждом конкретном случае наиболее рационального способа и назначения оптимальных режимов обработки).

Наряду с обеспечением высокого качества поверхности ППД во многих случаях позволяет механизировать ручной труд и повысить производительность на окончательных операциях.

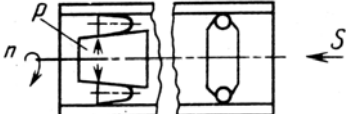
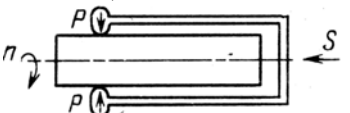
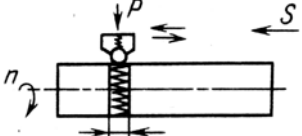
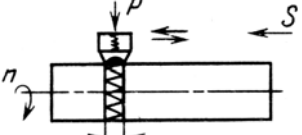
Необходимо также учитывать следующие особенности способов ППД:

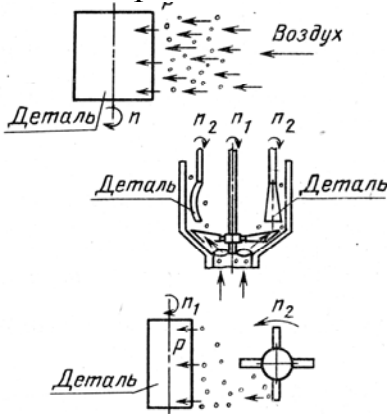
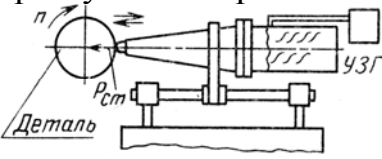
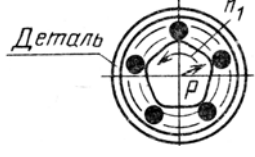
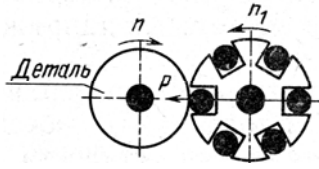
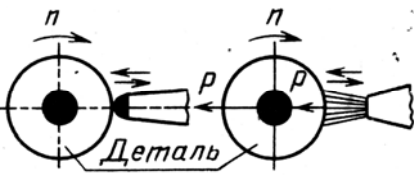
- подавляющее большинство способов не повышает геометрической точности поверхности, обычно сохраняется точность, достигнутая на предшествующей операции;
- в связи с образованием полезных сжимающих внутренних напряжений в поверхностном слое при обработке тонкостенных и неравножестких деталей (толщиной 3–5 мм) может возникнуть коробление поверхности 5–10 мкм и более;

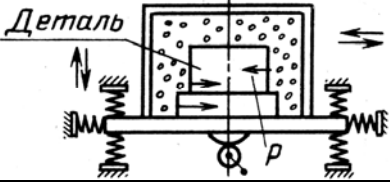
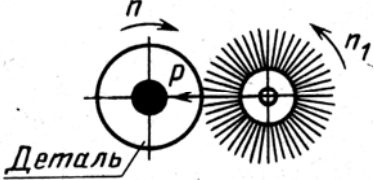
• в связи с пластическим течением металла при использовании некоторых способов обработки ППД на кромках обрабатываемых поверхностей образуются равномерные наплывы металла толщиной 0,03–0,3 мм.

Т а б л и ц а 2 . 1

Основные способы упрочнения деталей ППД

Способ, эскиз	Сущность способа, обрабатываемые поверхности, оборудование, характер производства
1	2
<i>Статистические способы</i>	
<p>Упрочняющее раскатывание</p>  <p>Упрочняющее обкатывание</p> 	<p>Качение инструмента (ролик, шар) по обрабатываемой поверхности, для плоских и выпуклых поверхностей – обкатывание, для внутренних поверхностей – раскатывание. Поверхности тел вращения типа втулок, валов и плоские поверхности, $HRC < 45 \dots 55$. Универсальное и специальное оборудование. Серийное и массовое производство</p>
<p>Выглаживание</p> 	<p>Скольжение инструмента по локально контактирующей с ним поверхности тел вращения, $HRC < 70$. Тонкостенные и неравножесткие детали. Универсальное оборудование. Единичное и серийное производство</p>
<p>Вибрационное накатывание</p> 	<p>Накатывание или выглаживание при вибрации инструмента (шар, выглаживающий наконечник) по касательной к поверхности деформируемого металла. Поверхности тел вращения</p>
<p>Вибрационное выглаживание</p> 	<p>Универсальное оборудование. Единичное и серийное производств</p>
<p>Дорнование</p> 	<p>Поступательное скольжение дорна по охватывающей его поверхности. Детали типа втулок и труб, $HRC < 40$. Специальное или протяжное и прессовое оборудование. Серийное и массовое производство</p>

1	2
<i>Ударные способы</i>	
<p>Обработка дробью</p> 	<p>Удары дроби по деформируемому металлу. Дробь – круглые тела из различных материалов. В зависимости от источника кинематической энергии (струя газа, жидкость, газ с жидкостью, вращение ротора (дробемета)) обработка называется гидродробеструйной, гидропневмодробеструйной, дробеметной и т.д. Поверхности различной конфигурации, $HRC < 55$. Специальное оборудование. Серийное и массовое производство</p>
<p>Ультразвуковая обработка</p> 	<p>К постоянной силе добавляется сила ударов ультразвуковых колебаний. Поверхности тел вращения. Универсальное оборудование, оснащенное ультразвуковым генератором и головкой. Единичное и серийное производство</p>
<p>Ударное раскатывание</p> 	<p>Ролики создают удары в момент прохождения выступающих элементов опоры. Поверхности типа втулок и труб, $HRC < 50$. Универсальное и специальное оборудование. Серийное и массовое производство</p>
<p>Центробежная обработка</p> 	<p>Удары инструмента по обрабатываемой поверхности под действием центробежной силы. Поверхности тел вращения и плоские поверхности, $HRC < 50$. Универсальное оборудование. Серийное и массовое производство</p>
<p>Чеканка</p> 	<p>Ударное приложение деформирующей силы при возвратно-поступательном перемещении инструмента. Поверхности тел вращения и плоские поверхности, $HRC < 50$. Универсальное и специальное оборудование. Единичное, серийное и массовое производство</p>

1	2
<p>Вибрационная ударная обработка</p> 	<p>Удары рабочими телами (дробь) закрепленных деталей в замкнутом объеме при его вибрации. Поверхности различной конфигурации, $HRC < 55$. Специальное оборудование. Серийное и массовое производство</p>
<p>Обработка металлической щеткой</p> 	<p>Удары концами проволоки вращающейся механической щетки. Поверхности различной конфигурации, $HRC < 55$. Универсальное и специальное оборудование. Единичное, серийное и массовое производство</p>

В процессе упрочнения стальных деталей повышаются поверхностная микротвердость в 1,5...2 раза с глубиной упрочнения 0,3...0,4 мм и класс шероховатости поверхности, создаются остаточные напряжения сжатия.

3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СВАРКОЙ И НАПЛАВКОЙ

3.1. Сварка при восстановлении деталей машин

3.1.1. Определение и классификация видов сварки и наплавки

Сварка – это технологический процесс получения неразъемного соединения деталей или сборочных единиц посредством установления межатомных связей между свариваемыми деталями при их местном нагреве или пластическом деформировании или совместном действии одного и другого.

Наплавка – это технологический процесс нанесения покрытий на поверхность детали при помощи сварки.

Согласно ГОСТ 19521–81 сварку и наплавку классифицируют по следующим признакам:

- физическому;
- техническому;
- технологическому.

Физические признаки определяют вид используемой энергии для образования соединения деталей, наличие давления на свариваемые детали и вид инструмента.

В зависимости от вида используемой энергии сварочные процессы разделяют на три класса: термические, механические и термомеханические.

Сварка термического класса основана на использовании тепловой энергии и включает такие ее виды: электродуговую, электрошлаковую, газовую, индукционную, плазменную, термитную, электронно-лучевую, лазерную и др. Сварка механического класса (сварка трением, ультразвуковая и др.) содержит те ее виды, которые используют механическую энергию. Сварка термомеханического класса (контактная, диффузионная, газопрессовая, взрывом и др.) основана на сочетании тепловой энергии и потенциальной энергии давления.

К техническим признакам относят способ защиты зоны сварки, непрерывность процесса и степень механизации. Технологические признаки уточняют технические признаки.

3.1.2. Дуговая сварка и наплавка

Дуговая сварка относится к сварке плавлением с помощью электрической дуги.

Сварочная (электрическая) дуга – электрический дуговой разряд в ионизированной смеси газов, паров металла и компонентов, входящих в состав электродных покрытий, флюсов и т.д.

В зависимости от схемы подвода сварочного тока, условий горения сварочной дуги и других признаков различают сварочные дуги следующих видов: дуга прямого действия, горит между электродом и свариваемым металлом (рис. 3.1 *а*); дуга косвенного действия, когда она горит между двумя электродами, а свариваемый металл не включен в электрическую цепь (рис. 3.1 *б*); дуга между двумя плавящимися электродами и свариваемым изделием (рис. 3.1 *в*); сжатая дуга.

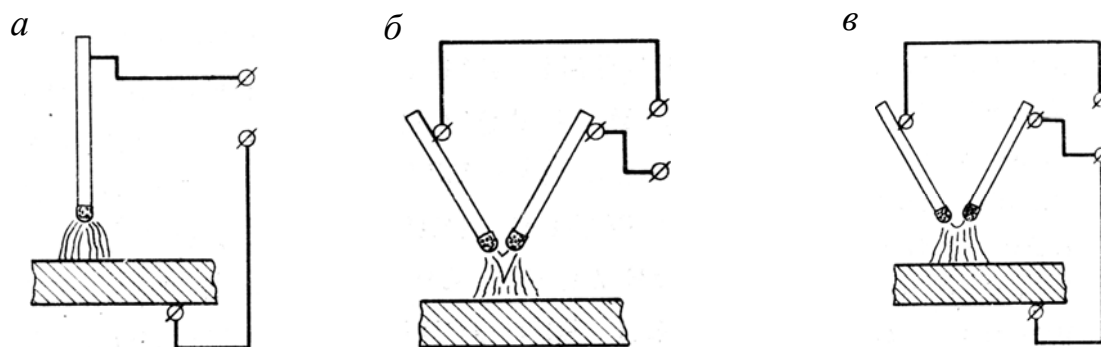


Рис. 3.1. Виды сварочных дуг:

а – прямого действия; *б* – косвенного действия; *в* – комбинированного действия

Дуговую сварку классифицируют следующим образом:

- ✓ по степени механизации – ручная, механизированная и автоматизированная;
- ✓ по роду тока – постоянный, переменный и пульсирующий;
- ✓ по состоянию дуги – свободная и сжатая;
- ✓ по числу дуг – одно- и многодуговая;
- ✓ по полярности сварочного тока – прямая и обратная;
- ✓ по виду электрода – плавящийся (металлический), неплавящийся (угольный, вольфрамовый и др.).

Для возбуждения дугового разряда и получения начальной ионизации обычно два электрода или электрод и деталь сводят до соприкосновения, а затем быстро разводят. Ток между электродами проходит через мелкие неровности на торцах и разогревает их до расплавления. При быстром разведении электродов расплавляемые мостики растягиваются и сужаются. В результате этого при высокой температуре паров металла наступает ионизация промежутка и возникает дуговой разряд. Наименьшими потенциалами ионизации обладают щелочно-земельные металлы (калий, кальций) и их соединения, которые входят в состав электродных покрытий. Разряд поддерживается далее как стационарная устойчивая дуга, если сохраняются факторы, вызывающие ионизацию дугового промежутка. Если между электродами существует достаточная разность потенциалов, то полет заряженных частиц ориентируется электрическим полем и устанавливается стабильная дуга. Области дуги, в которых температура ее столба снижается до температуры расплавленного или нагретого металла, называют при-

электродными областями. В них протекают процессы, резко отличающиеся от процессов в столбе дуги. Энергия, выделяющаяся в этих областях, расходуется на плавление металла детали и плавящегося электрода или на плавление металла и нагрев неплавящегося электрода.

В катодной области скапливаются положительные ионы, а в анодной – электроны. В связи с этим в приэлектродных областях создаются условия для резкого возрастания напряженности электрического поля у катода. Возникаемые активные (катодные) пятна блуждают по поверхности торца, вызывая пространственное изменение расположения столба дуги.

В анодной области при горении дуги создается отрицательный объемный заряд и ионизации практически не происходит. Энергия, выделяемая в анодной области при прямой полярности, расходуется на плавление металла анода.

Напряжение дуги U_D (рис. 3.2) есть сумма падений напряжений в анодной $U_{АН}$ и катодной $U_{КАД}$ областях и столбе дуги $U_{СТ}$, т.е.

$$U_D = U_{АН} + U_{КАД} + U_{СТ}. \quad (3.1)$$

Для дуг с плавящимся электродом при нормальных режимах

$$U_{КАТ} > U_{АН}; U_{АН} + U_{КАТ} > U_{СТ}. \quad (3.2)$$

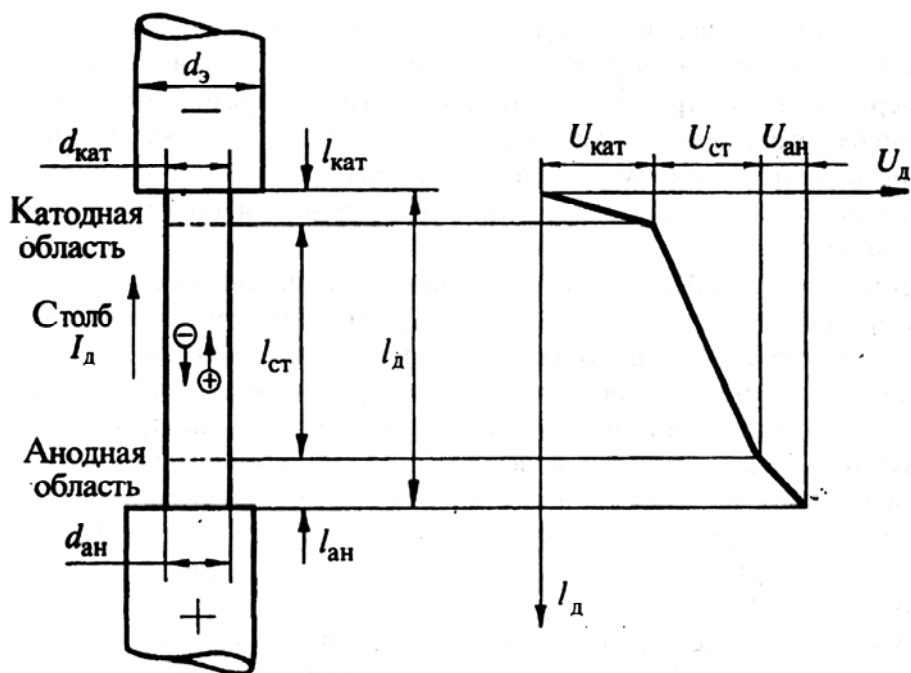


Рис. 3.2. Модель сварочной дуги и распределение потенциала по его длине: $d_{ан}$ – диаметр дуги в анодной области; $d_{кат}$ – диаметр дуги в катодной области; d_3 – диаметр электрода; $l_д$ – текущее значение длины дуги; $l_{ан}$ – длина дуги в анодной области; $l_{кат}$ – длина дуги в катодной области; $U_{КАТ}$, $U_{СТ}$, $U_{АН}$ – соответственно напряжение дуги в катодной области, напряжение столба дуги, напряжение дуги в анодной области

Физико-химические процессы при дуговой сварке и наплавке. В процессе сварки металл плавится, образуя сварочную ванну, а затем затвердевает в виде сварочного шва. Вместе с тем происходят нежелательные явления (окисление металлов, поглощение азота, выгорание легирующих примесей, объемные и структурные изменения), что приводит к короблению деталей, нарушению их термообработки и снижению прочности в сварочном шве. Эти процессы характерны для всех способов сварки плавлением.

Окисление металла (рис. 3.3 *а*) приводит к снижению механических свойств сварочного шва. Поглощение азота (рис. 3.3 *б*) вызывает образование нитридов железа, марганца, что увеличивает прочность шва (σ_B и σ_T), но резко уменьшает ударную вязкость (a_K).

В зоне сварки происходят плавление, перенос электродного или присадочного металла, деформирование шва и другие процессы, которые влияют на производительность сварки, потери металла, устойчивость горения дуги и прочие определяющие качество сварки факторы.

Основная характеристика плавления электрода – линейная скорость его плавления в единицу времени, обусловленная составом электрода, покрытием, режимом сварки, плотностью и полярностью тока.

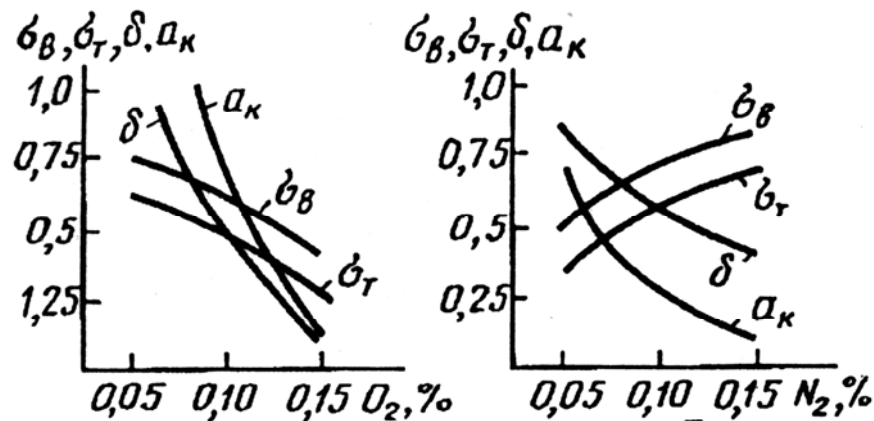


Рис. 3.3. Зависимость механических свойств от содержания в сварочном шве:
а – кислорода; *б* – азота; σ_B – предел прочности; σ_T – предел текучести;
 δ – удлинение; a_K – ударная вязкость

В общем случае скорость плавления электрода возрастает с увеличением силы тока. При прямой полярности на электроде-аноде выделяется теплоты примерно на 20 % больше, чем на электроде-катоде. На характер переноса электродного металла, форму и размер капли влияет также соотношение сил (сила тяжести, сила поверхностного натяжения, электромагнитная сила, сила реактивного давления паров, аэродинамическая сила и др.), действующих на каплю металла на торце электрода.

С учетом соотношения сил, действующих на каплю, перенос электродного металла может существенно изменяться. На тип переноса (крупнока-

пельный, мелкокапельный, туманообразный) влияют состав и толщина покрытия, режимы сварки, род тока и полярность.

Для электродов с толстым покрытием характерен крупнокапельный перенос в широком диапазоне режимов сварки, а для электродов с кислым и рутиловым покрытиями – мелкокапельный. Малый размер капель обусловлен сравнительно низким межфазным напряжением на границе металла со шлаком, поскольку шлак и металл содержат значительное количество кислорода.

При низких плотностях тока металл переносится крупными каплями. С увеличением его плотности масса капель уменьшается и наблюдается мелкокапельный (так называемый туманообразный) перенос. Когда сварочный ток превысит критическое значение $I_{кр} > (140 \dots 150) d_{эл}$, возможен струйный перенос.

Возрастание тока дуги приводит к увеличению глубины проплавления и образованию более высоких и узких валиков.

Формирование и кристаллизация металла сварочной ванны. Этот процесс происходит по мере перемещения источника тепла и начинается от частично оплавленных зерен основного металла в виде дендритов, растущих в направлении, обратном теплоотводу. На различных этапах кристаллизации металла сварочной ванны и роста дендритов состав кристаллизующегося жидкого металла неодинаков. Первые порции металла менее загрязнены примесями. В результате образуется зональная и внутридендритная химическая неоднородность металла.

Металл швов, выполненных сваркой плавлением, имеет столбчатое строение. Кристаллы отличаются крупными размерами и легко различимы при изучении микроструктуры.

В каждой точке околошовной зоны температура вначале нарастает, а затем снижается, и чем ближе точка расположения к границе сплавления, тем быстрее металл нагревается. Поэтому структура и свойства металла в зоне будут различны. Размеры зоны и характер превращений, происходящих в ней, будут зависеть от теплофизических свойств свариваемого (наплавляемого) металла, способа и режима сварки, типа сварного соединения и т.п.

На рис. 3.4 представлена схема структурных изменений зоны термического влияния среднеуглеродистой стали в момент, когда металл шва находится в расплавленном состоянии.

При переходе вещества из одной фазы в другую изменяются свойства сварного соединения. В процессе сварки плавлением взаимодействующими фазами служат жидкий и твердый металл, газ и жидкий шлак. Выделяют две основные зоны взаимодействия расплавленного металла с газами и шлаком – торец электрода с образующимися на нем каплями и сварочную ванну. Полнота протекания реакции и их направление в зависимости от условий взаимодействия (температуры, времени) могут быть различны.

Для удобства рассмотрим сначала взаимодействие металла с газовой фазой, а затем со шлаком, хотя они протекают одновременно.

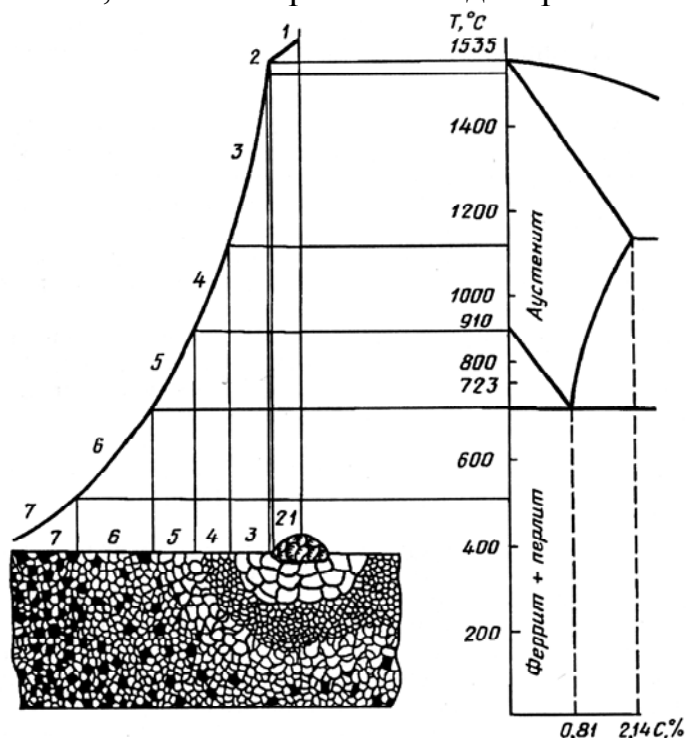


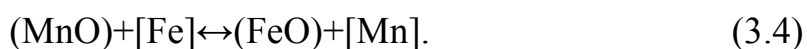
Рис. 3.4. Схема структурных изменений зоны термического влияния среднеуглеродистой стали на участках:
 1 – жидкого состояния металла; 2 – твердожидкого состояния; 3 – перегрева;
 4 – нормализации (перекристаллизации); 5 – неполной перекристаллизации;
 6 – рекристаллизации; 7 – старения

Одна из главных задач при сварке плавлением – предупреждение вредного воздействия воздуха на металл (см. рис. 3.3). Обычно эту задачу решают с помощью газовой или шлаковой защиты зоны сварки.

В жидких металлах водород растворяется, тогда как азот и кислород вступают с ним в химическое взаимодействие. Наиболее вероятное состояние в жидком металле газов – растворенное в диссоциированном виде по реакции, например, $\text{N}_2 \rightleftharpoons 2\text{N}$. Зависимость растворимости этих газов от температуры имеет сложный характер. В основном с повышением температуры растворимость возрастает, за исключением температур плавления и кипения металла, где растворимость падает за счет того, что атмосфера над кипящим металлом полностью состоит из паров металла.

При температуре плавления металла наблюдается резкое изменение растворимости газов, что может привести к образованию пор, так как при затвердевании металла газ из него не удаляется. Кроме кислорода воздуха жидкий металл может окисляться водяным паром, диоксидом углерода и другими кислородсодержащими газами. Особенно тщательной должна быть защита от воздуха при сварке химически активных металлов (титана, алюминия и их сплавов).

Жидкие шлаки и металл взаимодействуют довольно интенсивно, несмотря на относительную кратковременность при сварке плавлением. Эти реакции относят к реакциям замещения, т.е. вытеснения из шлака в металл одного элемента другим, или реакциям распределения элемента между металлом и шлаком. Например, реакция замещения кремния и марганца из шлака железом, т.е.



В этих уравнениях символы в квадратных скобках обозначают металлическую фазу, а в круглых – шлаковую.

При повышении температуры реакции протекают преимущественно слева направо (восстановления кремния и марганца из шлака), а при снижении – наоборот. Сера распределяется между шлаком и металлом путем перехода через межфазную границу молекул сульфида железа, особенно при наличии кислого шлака.

Важную роль в металлургических процессах при сварке и наплавке играет также образование неметаллических включений за счет уменьшения растворимости примесей (оксиды, сульфиды, соединения фосфора, нитриды и др.) при снижении температуры шлаковых включений, попавших в металл шва вследствие несоблюдения технологического процесса.

Таким образом, с практической точки зрения с помощью металлургических процессов можно регулировать и обеспечивать стабильность качества сварных соединений за счет изменения состава электродного металла, входящих в покрытие компонентов, а также соблюдения технологического процесса.

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 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 формировании 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 подлежат термической обработке.

Среднеуглеродистые стали удовлетворительно свариваются всеми видами сварки, за исключением газовой. Изделия сложной формы с толщиной стенок менее 15 мм сваривают с предварительным подогревом до 200 °С. После сварки производят отпуск при 650 °С.

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 после сварки подлежат отпуску 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%-м содержанием хрома (30Х2ГСНВМ, 42Х2ГСНМ, 43Х3СНМФА) и с 12%-м 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 отжиг, то термической обработке после сварки они не подвергаются. Если сплавы прошли ранее упрочняющую термическую обработку (закалку и старение), то перед сваркой металл 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 при жестких режимах в среде инертных

газов или контролируемой атмосфере источниками тепла с высокой удельной тепловой энергией.

Режимы сварки. Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины восстанавливаемой детали. При сварке деталей толщиной до 4 мм его диаметр принимают равным толщине восстанавливаемой детали. В других случаях диаметр целесообразно подсчитывать по эмпирической формуле

$$d = \frac{S}{2} + 1, \quad (3.5)$$

где S – толщина свариваемого металла, мм.

Сила сварочного тока I_{CB} определяет качество и производительность работ. Она зависит от толщины свариваемого металла S , диаметра электрода d , коэффициента теплопроводности λ , типа сварочного соединения, скорости сварки, положения сварочного шва в пространстве. Сила сварочного тока, А:

$$I_{CB} = Kd, \quad (3.6)$$

где K – плотность тока, А/мм². Для металлических электродов он равен 40...50, угольных – 5...8 и графитовых – 18...20.

При сварке легированных сталей с пониженной теплопроводностью за счет содержания в них легирующих элементов (Ni, Cr, W, Mn) и склонных к образованию в детали трещин

$$I_{CB}^L = (0,8...0,9)I_{CB}^Y, \quad (3.7)$$

где I_{CB}^L и I_{CB}^Y – сила сварочного тока легированных и углеродистых сталей, А.

При сварке на переменном токе из-за пониженной ионизации и охлаждения межэлектродного пространства силу сварочного тока повышают, т.е.

$$I_{CB}^{ПЕР} = (1,2...1,2)I_{CB}^{ПОС}, \quad (3.8)$$

где $I_{CB}^{ПЕР}$ и $I_{CB}^{ПОС}$ – сила сварочного тока на переменном и постоянном токе.

Для ручной дуговой сварки сталей в нижнем положении силу сварочного тока определяют по формуле академика К.К. Хренова, т.е.:

$$I_{CB} = (20 + 6d)d, \text{ А}, \quad (3.9)$$

где d – диаметр проволоки электрода, мм.

Напряжение дуги, В, определяют в зависимости от длины дуги, т.е.

$$U_{CT} = U_{АН} + U_{Д}l_{Д}, \quad (3.10)$$

где $U_{АН} = 10...12$ В и не зависит от длины дуги;

$U_{Д} = 2...3$ В на 1 мм длины дуги;

$l_{Д} = 0,5(d+2)$.

Скорость сварки, м/ч,

$$V_{CB} = I_{CB} K_H / m, \quad (3.11)$$

где K_H – коэффициент наплавки, г/(А-ч), [$K_H = 7 \dots 12$ г/(А-ч)];

m – масса наплавленного металла на 1 м длины, г/м.

Технологические коэффициенты K_H (коэффициент наплавки), K_P (коэффициент расплавления) и K_{II} (коэффициент потерь при дуговой сварке) характеризуют экономическую эффективность и правильность режима сварки. Коэффициент наплавки, г/(А-ч),

$$K_H = Q_H / I_{CB} t, \quad (3.12)$$

где Q_H – масса наплавленного металла, г;

I_{CB} – сила сварочного тока, А;

t – продолжительность горения дуги, ч.

Для широко применяемых электродов $K_H = 5 \dots 13$ г/(А-ч).

Коэффициент расплавления, г/(А-ч),

$$K_P = Q_P / I_{CB} t, \quad (3.13)$$

где Q_P – масса расплавленного металла, г.

Коэффициент расплавления учитывает потери металла на разбрызгивание и не должен значительно превышать коэффициент наплавки. Считается нормальным, если $K_P = (1, 2 \dots 1, 3) K_H$. Большее его значение будет указывать на нерационально выбранный электрический режим сварки. Чем больше разница между K_P и K_H , тем больше потери металла (коэффициент K_{II}), т.е.

$$K_{II} = (Q_P - Q_H) 100 / Q_P. \quad (3.14)$$

Коэффициент потери металла принимают равным 10...25 %.

Для его уменьшения необходимо:

- защищать зону от воздействия воздуха;
- удалять водород и азот из сварочной ванны либо пузырьки нерастворимых газов за счет их перевода в соединения, переходящие в шлак до кристаллизации ванны;
- снижать содержание оксида углерода или водяного пара раскислением ванны и удалением свободного кислорода;
- замедлять кристаллизацию сварочной ванны, чтобы скорость выделения пузырьков была выше скорости роста кристаллов;
- применять обратную полярность, что способствует уменьшению растворения водорода в капле;
- подбирать режимы сварки и среды, в которой она проводится.

Сварочные материалы. Сварку ведут различными материалами (сварочной проволокой, прутками и электродами).

Стальные сварочные проволоки разделяют на низкоуглеродистые, легированные и высоколегированные. Всего выпускают 75 марок диаметром 0,3...12 мм.

Условное обозначение марки проволоки включает в себя: индекс *Св* – сварочная и следующие за ним цифры, показывающие содержание углерода в сотых долях процента; буквенное обозначение легирующих элементов. При содержании последних менее 1 % ставят только букву этого элемента, а если превышает 1 % – цифру, указывающую на наличие элемента в целых единицах процента. Цифра перед *Св* обозначает диаметр проволоки, буква *А* в конце марки низкоуглеродистых и легированных проволок указывает на повышенную чистоту металла по содержанию серы и фосфора. Буквы, стоящие после *А* через дефис, указывают: *О* – омедненная, *Э* – для изготовления электродов, *Ш* – полученная из стали, выполненной электрошлаковым переплавом; *ВД* – выплавленная вакуумнодуговым переплавом; *ВИ* – выплавленная в вакуумно-индукционной печи; *Д* – холоднодеформированная (тянутая); *Г* – горячедеформированная; *КР* – круглого сечения; *БТ* – мотки, бухты; *КТ* – катушки; *БР* – барабаны. Так, 2,5Св-08ХЗГ2СМФА-ВИ-Э-О расшифровывают следующим образом: диаметр проволоки 2,5 мм, сварочная проволока содержит 0,08 % углерода, 3 % хрома, 2 % марганца, 1 % кремния, 1 % молибдена, 1 % ванадия, повышено чистая по содержанию серы и фосфора, выплавленная в вакуумно-индукционной печи, предназначенная для изготовления электродов, омедненная.

Для сварки алюминия и его сплавов выпускают 25 различных видов проволоки диаметром 0,8...12,5 мм по ГОСТ 7871.

Для сварки меди и ее сплавов служат проволоки (ГОСТ 16130) из меди (М1, М1р, Мсп1, МНЖ5-1, МНЖКТ5-1-0,2-0,2), бронзы (БрКМц3-1, БрОЦ4-3, БрАМц9-2 и др.), латуни (Л63, ЛО60-1 и ЛК62-05), прутка (М1р, М2р, ЛМц58-2, ЛОК-52-1-0,3 и др.).

Прутки используют при сварке чугуна и применяют в зависимости от назначения (ГОСТ 2671) диаметром 4, 6, 8, 10, 12, 14 и 16 мм и длиной 250, 350 и 450 см, торцы которых окрашены в различные цвета: ПЧ1 – черный, ПЧ2 – красный, ПЧН1 – синий, ПЧН2 – коричневый, ПЧИ – желтый и ПЧВ – зеленый.

Электроды делят на неплавящиеся и плавящиеся. К неплавящимся относят графитовые и вольфрамовые. В качестве присадочного материала используют обычно сварочную проволоку.

Плавящиеся электроды классифицируют по различным признакам и различают по видам покрытий.

Для сварки и наплавки деталей используют качественные электроды со специальными покрытиями.

По толщине покрытия в зависимости от отношения их диаметра D к диаметру стального стержня d электроды бывают с тонким – М ($D/d < 1,20$);

средним – С ($D/d=1,20...1,45$); толстым – Д ($D/d=1,45...1,80$) и с особо толстым – Г ($D/d>1,80$) покрытиями.

Для сварки электроды обозначают буквой Э с двузначной цифрой через дефис. Например, Э-42 (цифра показывает прочность сварного шва на растяжение [420 МПа]).

Наплавочные электроды обозначают обычно двумя буквами ЭН и цифрами, которые показывают гарантированную твердость наплавленного слоя. Каждому типу соответствует несколько марок, различающихся видом покрытий и составом обмазок. По ГОСТ 10051 установлено 44 типа.

По видам покрытий и составам обмазок электроды бывают:

А – с кислым покрытием, содержащим оксид железа, марганца, кремния, иногда титана (ОММ-5, ОММ-5Ц, ЦМ-7, ЦМ-8 и др.). Сварку ведут на постоянном (прямой и обратной полярности) и переменном токе;

Б – с основным покрытием (УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, ЦЛ-9, ОЗС-2, АНО-7 и АНО-8), имеющим в качестве основы фтористый кальций (плавиковый шпат) и карбонат кальция (мрамор, мел). Сваривают на постоянном токе обратной полярности. Вследствие малой склонности металла шва к образованию горячих и холодных трещин электроды с этими покрытиями используют для сварки деталей с толстыми стенками;

Ц – с целлюлозным покрытием, создающим газовую защиту дуги (ВСЦ-4, ВСЦ-4А, ОМА-2, ОЗС-1 и др.). Ими сваривают стали малой толщины на переменном токе прямой и обратной полярности;

Р – с рутиловым покрытием (ОЗС-4, ОЗС-6, АНО-1, АНО-3, АНО-4, АНО-5, АНО-12 и др.). Основной компонент – оксид титана (TiO_2). Они служат для сварки на постоянном (любой полярности) и переменном токе. Устойчивость горения дуги высокая во всех пространственных положениях. Поскольку в обмазку входит 2...8 % органических веществ, то электроды необходимо хранить в сухом месте и перед сваркой просушивать в течение 1 ч при температуре 120...150°C;

П – прочие виды покрытий (АНО-6, АНО-10 и др.).

При покрытии смешанного вида используют двойное условное обозначение.

В зависимости от свариваемых материалов (углеродистых и низкоуглеродистых сталей – У; легированных конструкционных – Л; легированных термоустойчивых – Т; высоколегированных сталей с особыми свойствами – В; для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами – Н) электроды делят на группы. По допустимым пространственным положениям их обозначают: для всех пространственных положений – 1; для всех пространственных положений, кроме вертикального сверху вниз, – 2; для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх – 3; для нижнего – 4.

По роду и полярности применяемого тока, а также по номинальному напряжению холостого хода источника питания сварочной дуги перемен-

ного тока электроды маркируют: только для постоянного тока обратной полярности – 0; для напряжения холостого хода переменного тока $50 \pm 5\text{В}$ – 1, 2 и 3; то же для $70 \pm 10\text{В}$ – 4, 5 и 6; то же для $90 \pm 5\text{В}$ – 7, 8 и 9.

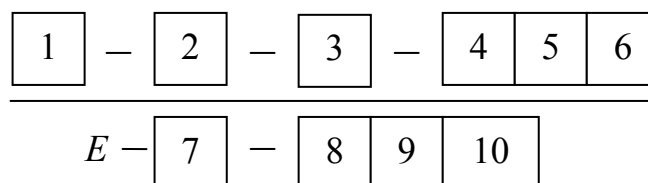


Рис. 3.5. Структура условного обозначения электродов:
 1 – тип; 2 – марка; 3 – диаметр стальной проволоки; 4 – назначение;
 5 – толщина покрытия; 6 – группа электродов; 7 – группа индексов, указывающих характеристики наплавляемого металла шва; 8 – вид покрытия;
 9 – допустимые пространственные положения сварки;
 10 – род применяемого тока при сварке и его полярность

На рис. 3.5 приведена структура условного обозначения электродов. Например, электрод $\frac{\text{Э} - 46\text{А} - \text{УОНИ} - 13/45 - 3,0 - \text{УД}2}{\text{E}432(5) - \text{Б}10}$ расшифровыва-

ют следующим образом: Э – 46А [Э – электрод сварочный, 46 – минимальный гарантируемый предел прочности металла шва на растяжение, кгс/мм² (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; E432 (5) – характеризует наплавленный металл шва, где 43 – временное сопротивление разрыву не менее 430 МПа, 2 – относительное удлинение не менее 22 % и (5) – ударная вязкость не менее 34,5 Дж/см² при температуре минус 40 °С; Б – основное покрытие; 1 – для сварки во всех пространственных положениях; 0 – на постоянном токе обратной полярности.

3.1.3. Газовая сварка

Такая сварка основана на плавлении свариваемого и присадочного материалов высокотемпературным газокислородным пламенем (рис. 3.6). В качестве горючего газа для сгорания в кислороде применяют ацетилен, водород, пропан-бутановую смесь, природный и другие газы.

В зависимости от объемного соотношения кислорода и газа можно получить три вида пламени: нормальное (это соотношение составляет 1,1...1,2); окислительное (1,3...1,4); науглероживающее (1,0), при котором в пламени будет присутствовать свободный углерод, переходящий в расплавленный металл, науглероживая его.

Обычно стальные детали сваривают нормальным пламенем. При сварке деталей из низколегированных сталей, наплавке твердым сплавом, увеличении твердости трущихся поверхностей и сварке чугунных деталей применяют науглероживающее пламя. Окислительное пламя используют при резке металла.

Качество присадочного материала в большей степени определяет прочность сварочного соединения. Металл присадочного прутка по своим химическим и механическим свойствам должен быть примерно таким же, как и металл детали, и отличаться в сторону увеличения легкоокисляющихся элементов.

В процессе наплавки изношенных поверхностей деталей используют наплавочные проволоки Нп-40, Нп-50, Нп-30ХГСА, Нп-50Г, Нп-65Г, дающие наплавочный слой с высокой износостойкостью.

При сварке встык листового материала или заварке трещин толщиной до 5 мм кромки не разделяют. Для облегчения прогрева по всему сечению стыка производят разделку кромок. При толщине металла 5...12 мм выполняют одностороннюю (У-образную) разделку, а при толщине более 12 мм – двустороннюю (Х-образную).

Существуют левый и правый способы направления сварки и наплавки (рис. 3.7). Левый способ сварки более распространен (рис. 3.7 а). Его используют при сварке стальных деталей толщиной до 5 мм. Его легче освоить и с помощью него выполнить работу. Присадочная проволока находится у сварщика в левой руке впереди сварочного пламени и вместе с последним перемещается справа налево. Пламя направлено от металла сварного шва.

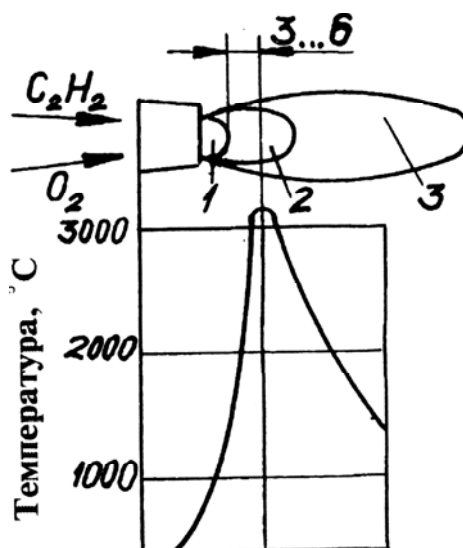


Рис. 3.6. Строение ацетилено-кислородного пламени с распределением в нем температур:
1 – ядро пламени;
2 – сварочная зона;
3 – окисная зона

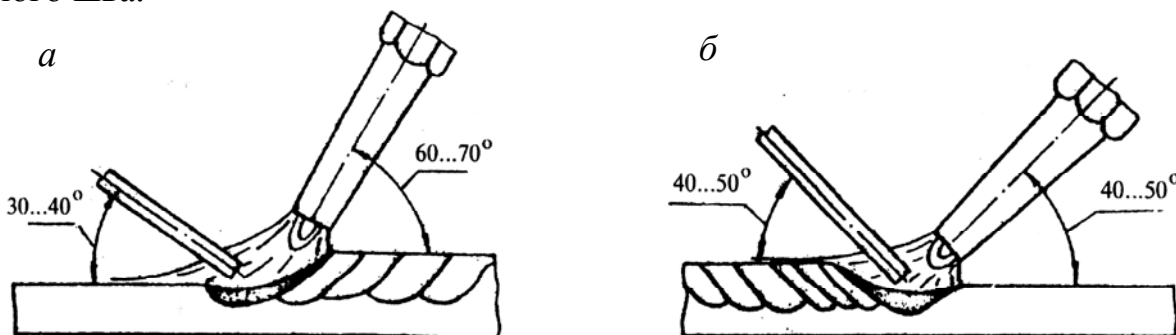


Рис. 3.7. Способы газовой сварки:
а – левый; б – правый

Правый способ (рис. 3.7 б) сварки целесообразно применять при толщине металла более 5 мм. Пламя направлено на сваренную часть шва, и теплоту пламени используют более полно, чем при левом способе. Сварочная горелка и присадочная проволока перемещаются слева направо. Конец последней находится все время в сварочной ванне. Угол скоса кромок сварного шва уменьшается до 40...50° по сравнению с левым способом (60...70°). Все это повышает производительность труда при экономии присадочного металла и уменьшении коробления деталей. Скорость сварки правым способом увеличивается на 10...20 %, расход газов сокращается на 10...15 % по сравнению с левым способом.

Металл в месте сварки и наплавки плавится при любом способе не сразу, а путем предварительного нагрева металла с целью устранения резкого перепада температур и возможности возникновения значительных внутренних напряжений, поэтому горелку сначала перемещают вокруг места сварки с большим радиусом. Затем его уменьшают и подводят горелку к месту сварки для расплавления металла. В дальнейшем положение горелки и присадочного металла зависит от способа сварки.

Диаметр прутка или проволоки, мм, выбирают из соотношения при способе сварки:

$$\text{левом} \quad d = \frac{S}{2} + 1; \quad (3.15)$$

$$\text{правом} \quad d = \frac{S}{2} + 2, \quad (3.16)$$

где S – толщина детали, мм.

Мощность пламени характеризуется часовым расходом ацетилена, зависящим от номера наконечника горелки. Расход ацетилена, м³/с:

$$A = KS, \quad (3.17)$$

где K – коэффициент, мкм³/с (дм³/ч).

Для стали K равен 360...432 мкм³/с (100...120 дм³/ч), чугуна – 396...500 (110...140), латуни – 430...470 (120...130) и алюминия – 220...360 мкм³/с (60...100 дм³/ч) на 1 мм толщины детали.

Свариваемость металлов (ГОСТ 29273-92). Это способность металла образовывать соединения с близкими в шве механическими свойствами к основному металлу по установленной технологии сварки.

Различают металлургическую, технологическую и эксплуатационную свариваемость.

Под металлургической свариваемостью понимают процессы, протекающие в зоне сплавления свариваемых деталей. В результате образуются неразъемные сварные соединения.

Под технологической свариваемостью понимают возможность получения качественного сварного соединения определенным способом сварки. С

ее помощью устанавливают режимы и способы сварки, технологическую последовательность выполнения сварочных работ.

Под эксплуатационной свариваемостью понимают прочность и пластичность сварных соединений при определенных условиях нагружения. Ее критерием считают разрушающее усилие, характеризующее механическую прочность при испытании на срез и растяжение.

Стали по свариваемости разделяют на четыре группы. К основным признакам групп стали относят склонность к образованию трещин и механические свойства сварного соединения.

В первую группу входят хорошо сваривающиеся стали Ст1...Ст6, стали 08, 10...15, 20...25 и низколегированные 15Х, 15ХГ, 12ХН2 и др. Их сваривают по обычной технологии, т.е. без предварительного подогрева, а также без последующей термообработки.

Ко второй относятся удовлетворительно сваривающиеся стали (стали 30 и 35, низколегированные с содержанием углерода 0,3...0,35 % – 20ХН3А, 20ХГСА и 30Х и высоколегированные – 12Х14А, 9Х14А, 30Х13 и др.). При их сварке и наплавке в нормальных условиях трещины не образуются, но желательна последующая термообработка.

Третья группа представляет собой ограниченно сваривающиеся стали, склонные в обычных условиях сварки к образованию трещин (углеродистые 40, 45 и 50, низколегированные с содержанием углерода до 0,45 % – 30ХГС, 40ХМЮ и 45Л, высоколегированные – 20Х18Н9, 36Х18Н25С2, 20Х23Н18 и др.). После сварки их подвергают термообработке.

К четвертой группе относят плохо сваривающиеся стали, которые наиболее трудно поддаются сварке и наплавке и склонны к образованию трещин (стали с содержанием углерода более 0,55% – стали 60...85, низко- и среднелегированные – 50Г, 50ХГСА и 45ХНЗМФА, высоколегированные с цементированными рабочими поверхностями – 18ХНЗА, 12Х2НЧА и 3Х2В8Ф и др.). Чтобы предупредить образование трещин на границе наплавки с цементированным слоем, необходимо предварительно подогреть деталь до температуры 200...300 °С и провести последующую термообработку.

Особенности сварки чугунов. Сварка вызывает значительные трудности:

- отсутствие площадки текучести у чугуна, повышенная хрупкость и небольшой предел прочности на растяжение, часто служит причиной образования трещин;
- отсутствие переходного пластического состояния при нагреве до плавления. Высокая жидкотекучесть затрудняет ремонт деталей даже с небольшим уклоном от горизонтального положения;
- получение отбеленных участков карбида железа (Fe_3C – цементит) затрудняет механическую обработку и вызывает образование трещин.

Чугунные детали можно восстанавливать дуговой сваркой металлическим или угольным электродом, газовой сваркой, порошковой проволокой, аргонодуговой сваркой и т.д.

Выбор способа сварки зависит от требований к соединению. При определении метода учитывают: необходимость механической обработки металла шва и околошовной зоны после сварки, получение однородности металла шва с металлом свариваемых деталей; требования к плотности шва; нагрузки, при которых должны работать детали.

На получение качественного соединения влияют технологические и металлургические факторы. К первым относят силу тока, напряжение дуги и скорость наплавки, ко вторым – графитизацию, удаление углерода и карбидообразование.

Холодную сварку выполняют как с подогревом, так и без предварительного подогрева деталей, для недопущения отбела чугуна и закалки сварного шва.

Для получения пластичного шва сваривать рекомендуется на низких режимах при силе тока 90...120 А электродами с малым диаметром (3 мм), короткими валиками (длиной 40...50 мм), с охлаждением деталей после наложения каждого валика до температуры 330...340 °С. Это позволяет в некоторой степени снизить долю основного металла в металле шва и значение сварочных напряжений посредством проковки валиков шва сразу же после окончания сварки.

Чтобы получить более мягкую перлитно-ферритную структуру, необходимо, чтобы процесс графитизации прошел более полно, т.е. до такой стадии, при которой осталось бы мало углерода в связанном состоянии. Ускорению графитизации способствуют такие элементы, как С, Si, Al, Ti, Ni и Cu, а также малая скорость охлаждения детали. Таким образом заваривают трещины в нижней части блок-картера, особенно в поперечинах, где расположены опорные гнезда для коренных подшипников коленчатого вала двигателей автомобилей ЗИЛ, КамАЗ, МАЗ, ВАЗ и др.

Введение в состав наплавочных материалов кислородсодержащих компонентов способствует максимальному удалению избыточного углерода.

Карбидообразующие элементы W, Cr, Vn, Mo связывают углерод в труднорастворимые карбиды.

Ручную дуговую холодную сварку чугуна стальными электродами подразделяют на сварку стальными электродами без специальных покрытий; с карбидообразующими элементами в покрытии; с окислительными покрытиями.

Стальными электродами без специальных покрытий сваривают тогда, когда не требуется механическая обработка и не оговариваются плотность и прочность соединения. В качестве электродного материала для сварки применяют электроды Э-34 и Э-42. Основной ее недостаток – появление трещин и отбеленных структур в самом шве и околошовной зоне.

При холодной сварке тонкостенных чугуновых деталей (рубашки охлаждения блок-картеров, корпуса коробок передач) широко используют проволоки ПАНЧ-11 и ПАНЧ-12 (табл. 3.1).

Установлено, что наличие большого количества никеля при сочетании с редкоземельными элементами (литий, церий и др.) позволяет получить пластичный, без трещин и пор металл шва. В зоне сплавления отсутствует ледебурит.

Т а б л и ц а 3 . 1

Примерный состав проволоки, %

Компонент	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 и наплавка цветных металлов. Сварка деталей из алюминия и его сплавов затрудняется по следующим причинам:

- очень плохая сплавляемость металла из-за образования на его поверхности тугоплавкой оксидной пленки Al_2O_3 ;
- при нагреве до 400...450 °С алюминий сильно теряет свою прочность и деталь может разрушиться от легкого удара или от действия собственной массы;
- металл, минуя пластическое состояние, при нагреве сразу переходит из твердого в жидкое состояние;
- коэффициент линейного расширения алюминия в 2, а теплопроводность в 3 раза больше, чем у стали;
- поглощение растворенным металлом воздуха способствует образованию пор.

Наиболее эффективные средства для удаления оксидной пленки – химическое взаимодействие с элементами из группы галогенов. В природе известно много соединений, содержащих галогены, но для использования в качестве сварочного флюса они должны иметь невысокую (600...700 °С) температуру плавления. Этим требованиям удовлетворяют соли щелочных и щелочно-земельных металлов (NaF , $NaCl$, KCl , Na_3AlFe_6 , $BaCl_2$, CaF_2 и др.). У сварки с применением флюса много положительных сторон. Однако ее нельзя применять в различных пространственных положениях. Кроме того, коррозионная стойкость шва снижается из-за остатков флюса на его поверхности.

Алюминий и его сплавы сваривают дуговой, аргонодуговой и газовой сваркой. Поверхности обезжиривают растворителями и очищают от нагара, масла и грязи не более чем за 2...4 ч до сварки.

Дуговую сварку выполняют угольными или плавящимися электродами.

Сварку угольными электродами ведут на постоянном токе прямой полярности. Детали толщиной до 2 мм сваривают без присадочного металла и разделки кромок, а свыше 2 мм и с зазором, составляющим 0,5...0,7 от толщины свариваемой детали, с разделкой кромок. Оксидную пленку удаляют с помощью флюса АФ-4А.

Сварку плавящимися электродами проводят короткой дугой при обратной полярности из расчета не более 40 А на 1 мм диаметра электрода со скоростью 0,4...0,6 м/мин. Перед заваркой трещину разделяют в виде канавки по всей длине.

Аргонодуговую сварку выполняют неплавящимся вольфрамовым электродом на установках УД Г-301 и УДГ-501. В зависимости от толщины стенки свариваемой детали выбирают диаметр электрода и силу тока. Чем тоньше стенки, тем меньше диаметр электрода и сила тока.

Особые требования предъявляют к технике сварки. Угол между присадочным материалом и вольфрамовым электродом должен составлять примерно 90°. Размеры сварочной ванны должны быть минимальными. Сварку стенок толщиной до 10 мм обычно ведут справа налево, т.е. левым способом, при котором снижается перегрев металла. Дуга должна быть как можно короче.

Режим сварки при толщине стенки 4...6 мм: диаметр присадочного материала 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) углекислого газа и 2...3 % кислорода повышается устойчивость горения дуги и улучшается формирование металла.

Режим наплавки при диаметре электродной проволоки 0,8...1 мм: сила тока 70...90 А; напряжение 17...19 В; скорость подачи проволоки 160...200 м/ч; шаг наплавки 1,5...1,8 м/об; толщина наплавленного слоя за один проход 0,8...1,0 мм; расход аргона 2...3 л/мин.

Газовую сварку ацетиленокислородным нейтральным пламенем выполняют с помощью флюсов АФ-4А, АН-4А и других, содержащих хлористые и фтористые соли лития, натрия, калия и бария. В качестве присадочных прутков применяют сплав с содержанием 5...6 % кремния.

3.2. Механизированная сварка и наплавка

Механизированные способы сварки и наплавки наиболее широко используют на специализированных ремонтных предприятиях. Наряду с традиционными методами наплавки – под слоем флюса, в среде углекислого газа, вибродуговой, электроконтактной, электрошлаковой, индукционной разработаны перспективные способы наплавки: лазерная, плазменная и др.

Выбор способа наплавки обуславливается материалом детали, требуемыми физико-механическими свойствами наплавляемого слоя, геометрическими параметрами детали, износами и др.

Условно способы сварки и наплавки можно разделить на дуговые и бездуговые.

3.2.1. Дуговые способы сварки и наплавки

Дуговая сварка и наплавка под слоем флюса. Этот вид наплавки по сути является развитием ручной наплавки с электродами с толстым качественным покрытием. Наплавка под слоем флюса разработана коллективом под руководством акад. Е.О. Патона в 1938–1939 гг.

Сущность электродуговой наплавки под слоем флюса заключается в том, что сварочная дуга горит между голым электродом и изделием под слоем гранулированного флюса с размерами зерен 0,5...3,5 мм и толщиной 10...40 мм

При использовании этого способа можно повысить мощность сварочной дуги за счет увеличения допустимой плотности тока до 150...200 А/мм² (при ручной дуговой сварке плавящимся электродом не превышает 15...30 А/мм²) без опасности перегрева электрода. Производительность сварочно-наплавочных работ повышается в 6...7 раз по сравнению с ручной дуговой сваркой.

Горение дуги под слоем флюса способствует резкому снижению теплообмена с внешней средой, в результате чего удельный расход электроэнергии при наплавке металла уменьшается с 6...8 до 3...5 кВт-ч/кг. Значительно улучшаются условия формирования наплавленного металла и его химический состав. Так, содержание кислорода в наплавленном слое в 20 раз и более, а азота – втрое ниже, чем при наплавке открытым электродом.

При механизации процесса сокращаются потери электродного материала на разбрызгивание с 20...30 до 2...4 %, а также снижается влияние квалификации сварщика на качество сварочно-наплавочных работ.

Между электродом 1 (рис. 3.8), проходящим через мундштук 2, и деталью 11 возбуждается электрическая дуга 5. В зону горения последней по флюсопроводу 4 поступает флюс 3. Тепловая энергия, возникающая при горении дуги, оплавляет электрод и расплавляет флюс. В результате образуется флюсовый пузырь, состоящий из газовой оболочки 7 и расплавленного флюса 6, что защищает дугу и расплавленный металл 8 от воздействия внешней среды. По мере перемещения сварочной ванны наплавленный металл 9 остывает и формируется под защитой шлаковой корки 10.

Наплавкой под слоем флюса восстанавливают и упрочняют детали с достаточно большими износами (до 3...5 мм).

Для этого используют наплавочные головки, устанавливаемые на обычные токарные станки или специализированные наплавочные полуав-

томаты, наплавляют детали типа «вал», а также детали сложного профиля (шестерни и т.п.), например шейки коленчатых валов, мелко модульные зубчатые колеса и шлицевые валы коробок передач.

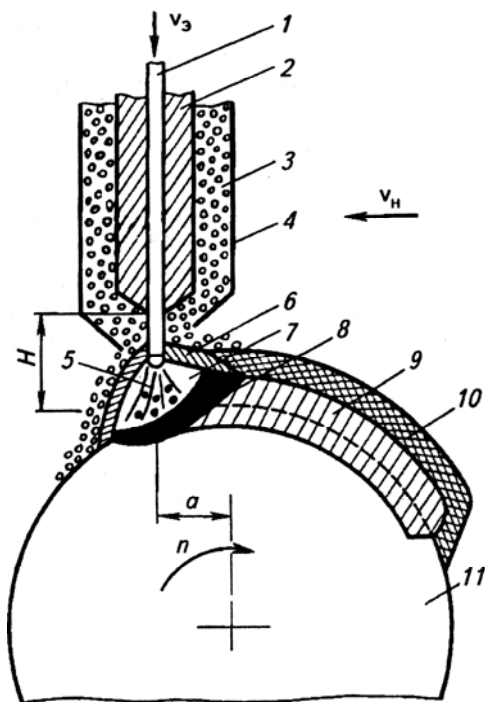


Рис. 3.8. Схема наплавки под слоем флюса цилиндрических деталей:

- 1 – электрод; 2 – мундштук;
- 3 – флюс; 4 – флюсопровод;
- 5 – электрическая дуга;
- 6 – расплавленный флюс;
- 7 – газовая (газошлаковая) оболочка; 8 и 9 – расплавленный и наплавленный металл;
- 10 – шлаковая корка;
- 11 – деталь; H – вылет электрода; a – смещение электрода с зенита; V_z – направление подачи электродной проволоки;
- V_n – скорость наплавки;
- n – направление вращения детали

наплавленного металла за счет выбора соответствующих флюсов с легирующими элементами и электродных материалов.

Шлакообразующие вещества (марганцевая руда, полевой шпат, кварц, плавленый шпат и др.) образуют шлаковую корку, необходимую для защиты металла от окисления и улучшения формирования металла шва.

Раскисляющие и легирующие вещества (ферромарганец, ферротитан, феррохром, алюминий и др.) способствуют раскислению сварочной ванны и легированию ее соответствующими элементами.

Наплавочная установка включает в себя вращатель (токарный станок), обеспечивающий закрепление и вращение деталей и перемещение наплавочной головки относительно ее.

Наплавочная головка состоит из механизма подачи проволоки, изменяющего ступенчато или плавно скорости подачи электрода, мундштука для подвода проволоки к детали, флюсоаппарата, представляющего собой бункер с задвижкой для регулирования количества подаваемого флюса. В некоторых случаях во флюсоаппарат входит устройство для просеивания и транспортирования флюса в бункер.

Наибольшее распространение получила наплавка при постоянном токе, так как она способствует получению более высокой стабильности и качества процесса.

Источниками постоянного тока служат сварочные преобразователи и выпрямители, рассчитанные на номинальный ток до 300...500 А.

При наплавке обычно применяют обратную полярность, т.е. на деталь подается отрицательный потенциал, а на электрод – положительный, что уменьшает ее нагрев и позволяет более рационально использовать теплоту.

В процессе наплавки можно в широких пределах изменять механические свойства

Газообразующие вещества (крахмал, декстрин, древесная мука и т.д.) при нагреве разлагаются с выделением значительного количества газов (СО и СО₂), которые вытесняют воздух из зоны горения дуги.

Ионизирующие вещества (сода, поташ, диоксид титана) образуют легкоионизирующиеся газы, стабилизирующие горение дуги.

Различают плавные и керамические флюсы.

Плавные флюсы готовят сплавлением в печах компонентов, входящих в их состав, с последующей грануляцией.

Керамические флюсы, например АНК-18, 19, 40, включают в себя ферросплавы с температурой плавления в 1,5...2,0 раза выше, чем остальные компоненты. Поэтому они не могут быть приготовлены сплавлением.

Компоненты измельчаются, просеиваются и смешиваются в заданных пропорциях с добавлением связующего вещества (жидкого стекла). Полученная масса гранулируется, подсушивается и прокаливается при температуре 300...400 °С.

Различают мелкозернистые (0,4...2,5 мм) и крупнозернистые (1,6...4,0 мм) флюсы. Плавные флюсы имеют низкую стоимость, обеспечивают качественную защиту металла и его легирование марганцем и кремнием (табл. 3.2, 3.3).

Посредством керамических флюсов за счет имеющихся в их составе ферросплавов можно легировать наплавленный металл хромом, титаном, алюминием и другими металлами. Однако стоимость таких флюсов выше.

Т а б л и ц а 3 . 2

Содержание компонентов в плавных флюсах, по массе в %

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	1...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	1,2	0,4...0,6	1,2	18...24	0,15	0,2	-
АН-20	22	0,5	30	5	11	2,7	-	29	0,08	0,05	1
АН-22	18...21	7...9	19...23	12...15	11...15	1...2	1	20...24	0,05	0,05	-
АН-26	29...33	2,5...5	19...23	4...8	15...18	-	1,5	20...24	0,1	0,1	-
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	0,15	-
Ф9	39	40	11	3,5	1	-	0,5	2,6	-	-	-
ФЦЛ-2	36	-	6	32	16	-	-	8	-	-	2

Силу сварочного тока I_{CB} , А и напряжение U , В источника питания рассчитывают по формулам:

$$I_{CB} = 40\sqrt[3]{D}; \quad (3.18)$$

$$U = 21 + 0,01I_{CB}, \quad (3.19)$$

где D – диаметр детали, мм.

Таблица 3.3

Содержание элементов в наплавленном электродом Св-08
металле и его твердость

Флюс	Элемент, %						Твердость <i>HRC</i>
	C	Cr	Mn	Si	Mo	V	
ЖСН-1	0,5	5,4	2,0	0,6	-	-	47...51
ЖСН-2	0,32	2,8	1,2	0,3	-	-	36...40
ЖСН-3	1,1	5,0	0,6	0,6	-	-	44...45
ЖСН-4	0,18	6,2	0,32	0,3	0,76	0,35	35...38
АНК-18	0,30	3,5	1,4	0,2	-	-	38...47
АНК-19	0,6	4,5	0,8	0,3	-	-	50...55
АНК-40	0,25	1,2	1,2	0,8	-	-	16...32

С ростом силы тока увеличивается глубина проплавления, в то же время повышение напряжения благоприятно сказывается на подвижности дуги, что снижает глубину проплавления и делает валик более широким.

Важный показатель, характеризующий удельное значение скорости наплавки, – коэффициент наплавки, г/(А·ч),

$$K_H = 2,3 + 0,065 \frac{I_{CB}}{d}, \quad (3.20)$$

где d – диаметр электродной проволоки, мм.

Скорость перемещения дуги, или скорость наплавки, м/ч, обуславливается шириной валиков и глубиной проплавления и рассчитывается по формуле

$$V_H = \frac{K_H \cdot I_{CB}}{F \cdot \gamma \cdot 100}, \quad (3.21)$$

где F – площадь поперечного сечения наплавленного валика, см² (при $d=1,2...2,0$ мм $F=0,06...0,2$ см²);

γ – плотность металла шва, г/см³.

Скорость подачи электродной проволоки определяется возможностью ее полного расплавления и определяется по формуле

$$V_{\text{э}} = \frac{4K_H I_{CB}}{\pi d \gamma}. \quad (3.21)$$

При увеличении вылета электродной проволоки повышается электрическое сопротивление цепи, что приводит к росту коэффициента расплавления, снижению тока наплавки, а следовательно, и глубины проплавления.

Вылет электрода, мм,

$$H = (10...15)d. \quad (3.22)$$

Шаг наплавки определяется перекрытием валиков и влияет на волнистость наплавленного слоя. Оптимальное его значение определяется из выражения

$$s = (2...2,5)d, \text{ мм.} \quad (3.23)$$

При смещении электрода от зенита в сторону, противоположную вращению детали, с одной стороны, улучшаются условия формирования наплавленного слоя, а с другой – гидростатическое давление жидкой ванны металла вытесняет дугу, что уменьшает глубину проплавления. Оптимальное его значение определяется из выражения

$$a = (0,05...0,07)D, \text{ мм.} \quad (3.24)$$

Выбранные режимы уточняют в процессе пробных наплавки.

Разновидностями наплавки под слоем флюса являются наплавка под лежачим электродом, многоэлектродная наплавка и по слою порошка.

Наплавка лежачим электродом (прутковым или пластинчатым) из низкоуглеродистой или легированной стали применяется для восстановления плоскостей (рис. 3.9). Часть флюса насыпают на восстанавливаемую поверхность (толщиной 3...5 мм), а часть – на электрод (толщина слоя флюса достигает 10...15 мм). 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.

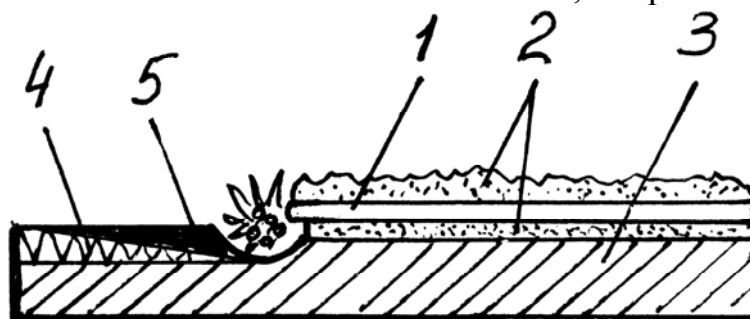


Рис. 3.9. Наплавка лежачим (пластинчатым электродом):
1 – пластинчатый электрод; 2 – слой флюса; 3 – восстанавливаемая деталь;
4 – покрытие; 5 – сварочная ванна

Повышение производительности и более высокое содержание легирующих элементов в покрытии обеспечиваются **многоэлектродной наплавкой под флюсом** на детали со значительным износом на большой площади (рис. 3.10). Блуждающая дуга горит между деталью и ближайшим к ней электродом.

Механизированная наплавка под слоем флюса применяется при восстановлении деталей (диаметром более 50 мм) из углеродистых и низколегированных сталей, требующих нанесения слоя толщиной более 2 мм, с

высокими требованиями к его механическим свойствам. Механизованная наплавка под слоем флюса обладает такими преимуществами:

- повышенная производительность 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;
- высокое качество наплавленного металла благодаря насыщению необходимыми легирующими элементами и рациональной организации тепловых процессов;
- возможность получения покрытий большой толщины (более 2 мм);
- улучшенные условия труда наплавщиков за счет механизации процесса и отсутствия открытой дуги.

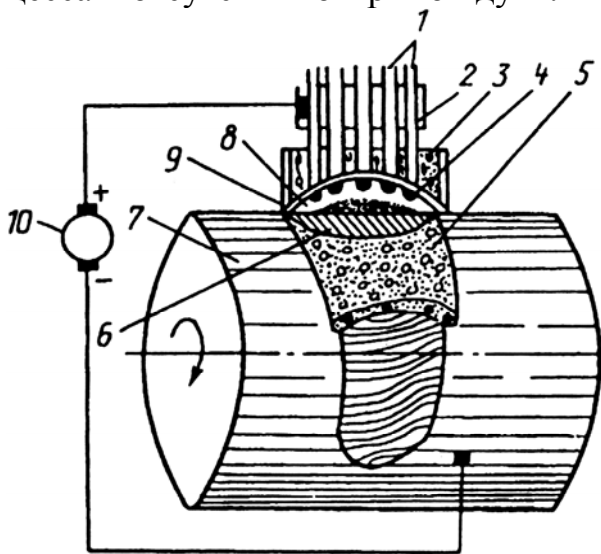


Рис. 3.10. Многоэлектродная наплавка под слоем флюса:

- 1 – электроды; 2 – токопроводящий 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

• появление силикатной пыли при загрузке флюса в бункер и его просеивании после использования, вредный фактор для организма человека.

Вибродуговая наплавка. Процесс разработан в Челябинском институте механизации и электрификации сельского хозяйства (ЧИМЭСХ) инж. Г.П. Клековниковым в 1950–1952 гг.

Отличительные особенности вибродуговой наплавки:

- высокая производительность (до 2,6 кг/ч);
- незначительный нагрев детали;

Недостатками наплавки под слоем флюса являются:

- высокая степень нагрева детали, что увеличивает зону термического влияния и изменяет ее физико-механические свойства. После наплавки обычно требуется последующая термическая обработка, хотя применение керамического флюса ее исключает;

- трудности удержания ванны расплавленного металла на поверхности цилиндрической детали и необходимость удаления шлаковой корки. По первой причине детали диаметром менее 50 мм под слоем флюса не наплавляют;

- уменьшение усталостной прочности деталей до 20...40 % за счет внутренних напряжений, пористости и структурной неоднородности;

- малая зона термического влияния при наплавке: незакаленных деталей – 0,6...1,5 мм и закаленных – 1,8...4,0 мм, что позволяет наплавлять детали малого диаметра (от 8 мм), не опасаясь их прожога или коробления.

Применение охлаждающей жидкости в сочетании с различными электродными материалами исключает из технологического процесса последующую термическую обработку, так как твердость наплавленного металла может достигать 58...60 HRC. Толщину последнего можно устанавливать от 0,3 до 3,0 мм. При необходимости проводят многослойную наплавку. Потери электродного материала на угар и разбрызгивание не превышают 6...8 %.

Сущность вибродуговой наплавки заключается в том, что электрод подается к детали возвратно-поступательным движением (вибрирует), вследствие чего сварочная дуга горит периодически. Каждый временной цикл процесса состоит из трех периодов – короткого замыкания, горения дуги и холостого хода. Такой процесс обуславливает наплавление металла при низком напряжении источника тока, относительно небольшую мощность в сварочной цепи, когда непрерывный дуговой процесс невозможен. При вибрации улучшается стабильность наплавки и расширяется диапазон ее устойчивых режимов.

В момент соприкосновения электрода с деталью (период короткого замыкания) сопротивление электрической цепи источник тока – электрод – деталь приближается к нулю, что способствует падению напряжения при одновременном резком нарастании силы тока (рис. 3.11). Реальная мощность применяемых источников тока ограничивает это значение до 1100...1300 А. Это недопустимо для электрода малого сечения, поскольку он расплавляется и разбрызгивается под действием электродинамических сил. Для ограничения тока в период короткого замыкания в цепь последовательно включают дополнительную индуктивность (дроссель).

При отводе электрода от детали в разрыве возникает электрическая дуга (период дугового разряда). Энергия, запасенная дросселем, начинает освобождаться. Электродвижущая сила (ЭДС) самоиндукции прибавляется к ЭДС источника тока, в результате чего напряжение на дуговом разряде оказывается выше в 2 и более раз, чем на зажимах источника тока, причем оно поддерживается примерно постоян-

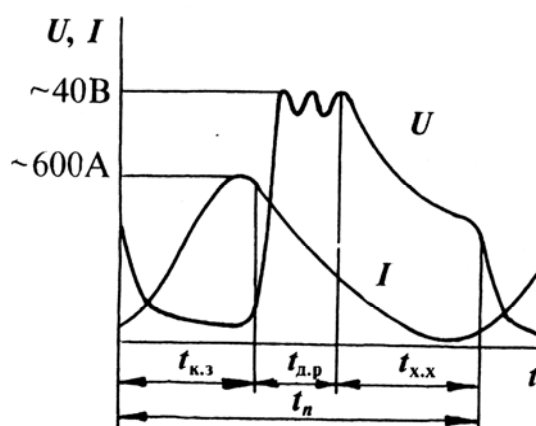


Рис. 3.11. Осциллограмма тока I и напряжения U при вибродуговой наплавке:
 $t_{к.з}$ – продолжительность короткого замыкания; $t_{д.р}$ – продолжительность дугового; $t_{х.х}$ – продолжительность холостого хода;
 t – текущее время; $t_{п}$ – период полного цикла

ным, несмотря на изменение длины дуги. В этот период выделяется 90...95 % тепловой энергии и кончик электрода оплавляется.

При достаточном удалении электрода от детали, а также израсходовании энергии, запасенной дросселем, дуга гаснет. Начинается период холостого хода. Он заканчивается тогда, когда электрод, возвращаясь, касается детали и капля расплавленного металла переносится на ее поверхность. Цикл многократно повторяется, и на детали формируется валик наплавленного металла.

Длительность периодов короткого замыкания и горения дуги определяется частотой вибрации электрода, напряжением холостого хода и индуктивностью цепи. С увеличением напряжения и индуктивности возрастают период горения, а следовательно, количество выделившейся теплоты и производительность процесса. Однако чрезмерное их увеличение нарушает стабильность процесса, и возникают большие потери электродной проволоки. Установка для вибродуговой наплавки (рис. 3.12) включает в себя: наплавочную головку, закрепленную на суппорте токарного станка; источник питания; дополнительную индуктивность (дроссель); систему подачи охлаждающей жидкости.

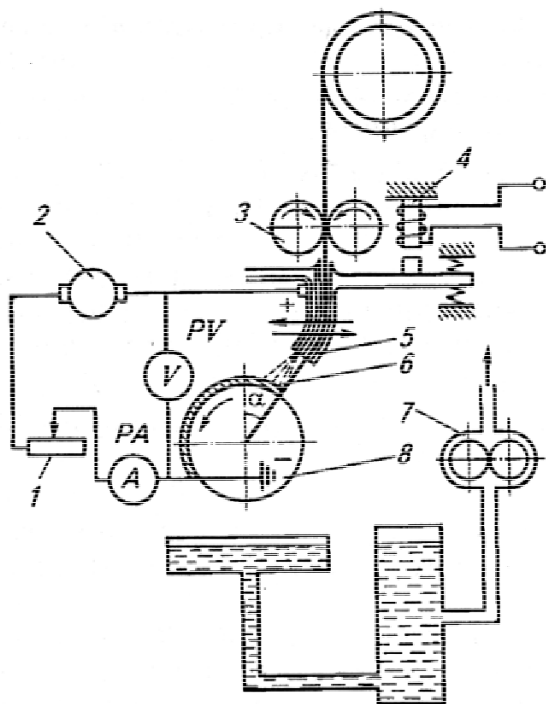


Рис. 3.12. Принципиальная схема установки для вибродуговой наплавки: 1 – реостат; 2 – сварочный преобразователь; 3 – механизм подачи электродной проволоки; 4 – вибратор; 5 – мундштук; 6 – электродная проволока; 7 – насос для подачи охлаждающей жидкости; 8 – наплавляемая деталь

Наплавочная головка предназначена для подачи электрода в зону горения дуги, придания ему возвратно-поступательного движения (вибрации). Частота колебаний 100...120 Гц. Наплавку проводят на постоянном токе обратной полярности. В качестве источников питания используют сварочные преобразователи и выпрямители с жесткой внешней характеристикой.

В качестве дополнительной индуктивности служат сварочные дроссели. Сварочные и наплавочные проволоки имеют диаметр 1,2...3,0 мм, ленты – толщину 0,3...1,0 мм и ширину до 10,0 мм.

Для защиты расплавленного металла применяют углекислый газ, флюс, пар и охлаждающие жидкости (4...6%-й раствор кальцинированной соды, 10...20%-й раствор технического глицерина в воде или их смесь). Вода, испаряясь, вытесняет из зоны горения дуги воздух, сни-

жая содержание азота в наплавленном металле. Кальцинированная сода, разлагаясь, с одной стороны, стабилизирует горение дуги, с другой – снижает коррозию восстанавливаемых деталей. Глицерин уменьшает скорость охлаждения наплавленного металла и, следовательно, трещинообразование при использовании высокоуглеродистых наплавочных проволок.

Свойства наплавленного металла зависят от режимов наплавки и скорости его охлаждения.

Повышение скорости охлаждения снижает выгорание углерода и легирующих компонентов, а также содержание азота, что благотворно сказывается на физико-механических свойствах металла.

Т а б л и ц а 3 . 4

Содержание элементов в металле в зависимости от подачи жидкости при наплавке проволокой НП-60 при напряжении холостого хода 18 В

Подача жидкости, л/мин	Элемент, %			
	С	Mn	Si	N
0	0,29	0,34	0,17	0,087
0,5	0,31	0,35	0,2	0,079
2,5	0,4	0,37	0,23	0,034

Особенность наплавки с высокой скоростью охлаждения – значительная «пятнистость» слоя, вызванная взаимным термическим влиянием наплавляемых валиков. При использовании углеродистых электродов для закаленных валиков характерной структурой считают мартенсит, а для зон сплавления – сорбит или троостит.

Мелкокапельный перенос металла на деталь, высокая скорость его охлаждения приводят к пористости слоя, появлению микротрещин, вызванных значительными внутренними напряжениями растягивающего характера, что снижает усталостную прочность восстановленных деталей. Это необходимо учитывать при выборе номенклатуры таких восстанавливаемых деталей. Вибродуговой наплавкой восстанавливают опорные шейки кулачковых валов ДВС, топливных насосов высокого давления, толкатели, оси коромысел, валики жидкостных насосов, опорные шейки различных валов.

Режимы наплавки выбирают в соответствии с необходимой толщиной слоя.

Сила тока, А:

$$I = jF_{\text{эл}}, \quad (3.25)$$

где j – плотность тока, А/мм² (для $d < 2,0$ мм $j = 60 \dots 75$ А/мм²; для $d > 2,0$ мм $j = 50 \dots 75$ А/мм²);

$F_{\text{эл}}$ – сечение электрода, мм².

Индуктивность дросселя зависит от источника питания, длины соединительных кабелей. Ее подбирают экспериментально по минимальному разбрызгиванию металла и качеству его сплавления с основой.

Скорость подачи электродной проволоки, м/ч:

$$V_{\text{эл}} = \frac{0,1IU}{d^2}. \quad (3.26)$$

Скорость наплавки, м/ч:

$$V_{\text{н}} = \frac{0,785d_{\text{э}}V_{\text{эл}}\eta}{hsa}, \quad (3.27)$$

где η – коэффициент перехода электродного материала в наплавленный металл ($\eta=0,8\dots0,9$);

s – шаг наплавки, мм/об.;

a – коэффициент, учитывающий отклонение фактической площади сечения наплавленного валика ($a=0,7\dots0,85$).

Т а б л и ц а 3 . 5

Режимы вибродуговой наплавки

Толщина наплавленного металла h , мм	Рекомендуемый диаметр электрода d , мм	Рекомендуемое напряжение источника питания U , В
0,3...0,9	1,6	12...15
1,0...1,6	2,0	15...20
1,8...2,5	2,5	20...25

Шаг наплавки влияет на прочность сцепления наплавленного металла с основой и волнистость поверхности. Шаг наплавки, мм/об.:

$$s = (1,6\dots2,2)d. \quad (3.28)$$

Амплитуда колебаний, мм:

$$A = (0,75\dots1)d. \quad (3.29)$$

Вылет электрода, мм:

$$H = (5\dots8)d. \quad (3.30)$$

Качество наплавки можно улучшать посредством применения защитных сред: углекислого газа, флюсов, водяного пара; самозащищенных материалов.

Недостатки процесса следующие:

- снижение усталостной прочности до 60 % из-за образования закалочных структур в материале, вызывающих растягивающие напряжения и неоднородности твердости (в местах перекрытия точек сварки в результате отпуска твердость снижается);

- наличие пор в покрытии по причине быстрого перехода металла из жидкого состояния в твердое.

Наплавка в среде защитных газов. Разработана в ЦНИИТМаше коллективом под руководством проф. К.В. Любовского в 1952 г.

Такого рода наплавка устраняет некоторые недостатки наплавки под слоем флюса и вибродуговой наплавки.

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. Для наплавки деталей применяют ток обратной полярности.

Если автоматическую сварку в среде защитных газов используют для наплавки деталей, то полуавтоматическую – для сварки листовых панелей. Наплавкой в среде диоксида углерода восстанавливают стальные и чугунные детали диаметром более 12 мм широкой номенклатуры, работающие в различных условиях. Восстановлению подлежат как гладкие, так и шлицевые валы автомобилей.

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);
- исключением необходимости отделения шлаковой корки и зачистки швов;
- возможностью сварки и наплавки в любых пространственных положениях;
- в 1,2...1,5 раза лучшей экономичностью;
- наплавкой сложнопрофильных деталей.

Схема рассматриваемого процесса приведена на рис. 3.13. 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. 3.6 и 3.7.

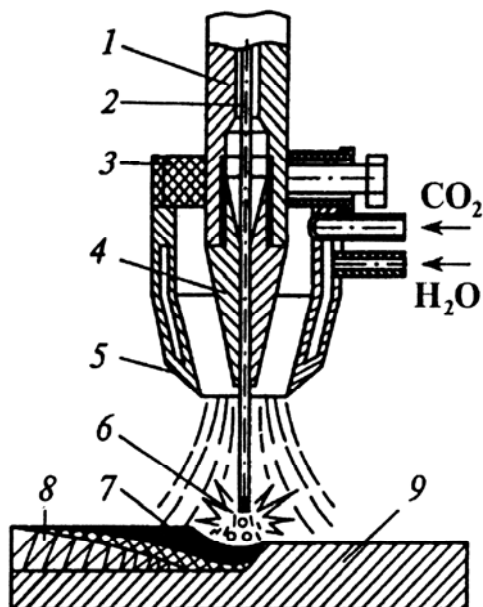


Рис. 3.13. Схема наплавки в среде диоксида углерода:
 1 – мундштук; 2 – электродная проволока; 3 – горелка; 4 – наконечник;
 5 – сопло горелки; 6 – электрическая дуга; 7 – сварочная ванна;
 8 – покрытие; 9 – восстанавливаемая деталь

Т а б л и ц а 3 . 6

Режимы наплавки в среде диоксида углерода

Диаметр детали	Толщина наплавляемого слоя	Диаметр электрода	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость наплавки, м/ч	Смещение электрода	Шаг наплавки	Вылет электрода	Расход углекислого газа, л/мин
10-20	0,5-0,8	0,8	70-90	16-18	40-45	2-4	2,5-3,0	7-10	6-8
20-30	0,8-1,0	1,0	85-110	18-20	40-45	3-5	2,8-3,2	8-11	6-8
30-40	1,0-1,2	1,2	90-150	19-23	35-40	5-8	3,0-3,5	10-12	6-8
40-50	1,2-1,4	1,4	110-180	20-24	30-35	6-10	3,5-4,0	10-15	8-10
50-60	1,4-1,6	1,6	140-200	24-28	30-20	7-12	4,0-6,0	12-20	8-10
60-70	1,6-2,0	2,0	280-400	27-30	20-15	8-14	4,5-6,5	18-25	10-12
70-80	2,0-2,5	2,5	280-450	28-30	10-20	9-15	5,0-7,0	20-27	12-15
80-90	2,5-3,0	3,0	300-400	28-32	10-20	9-15	5,0-7,5	20-27	14-18
90-100	0,8-1,0	1,0	100-300	18-19	70-80	8-10	2,8-3,2	10-12	6-8
100-150	0,8-1,0	1,2	130-160	18-19	70-80	8-12	3,0-3,5	10-13	8-9
200-300	0,8-1,0	1,»	150-190	19-21	20-30	18-20	3,0-3,5	10-13	8-9
200-400	1,8-2,8	2,0	350-420	32-34	25-35	18-22	4,5-6,5	25-40	15-18
200-400	2,6-3,2	3,0	380-450	32-34	25-35	20-25	5,0-7,5	25-50	15-18

Таблица 3.7

Расход углекислого газа в зависимости от диаметра электрода

Диаметр электродной проволоки	Вылет электрода	Внутренний диа- метр спирали для подвода проволоки	Расход углекиси- стого газа, л/мин
мм			
0,5-0,8	7-10	1,0-2,0	6-8
1,0-1,4	8-15	1,6-2,5	8-10
1,6-2,0	15-25	2,2-4,0	10-15
2,5-3,0	18-30	3,0-5,0	14-18

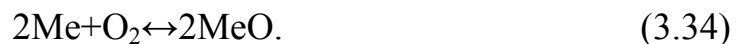
При высокой температуре углекислый газ диссоциирует, т.е.



Моноксид углерода частично диссоциирует:



Происходит реакция окисления расплавленного металла



Выделение газообразного оксида приводит к образованию пор. Это объясняет необходимость применения при сварке раскислителей, в качестве которых используют кремний, марганец, хлор, титан.

Приведенные элементы связывают кислород, мешая образованию оксида железа:



Присутствие в металле шва более 0,2 % Si и более 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, Св-08Г2С, Нп-30ХГСА и др. диаметром 0,5...2,0 мм и самозащищенные 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.

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 ди-

оксида углерода полностью исключает инородные включения, появление трещин и пор в широкой области режимов наплавки.

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 более 3 мм разделяют кромки под углом 70...90° шлифовальной машинкой ГОСТ 12633 – 79.

Для наплавки в среде защитного газа применяют:

- наплавочный станок с газозащитной 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.

Дуговая наплавка с газопламенной защитой. Большими технологическими возможностями при восстановлении деталей широкой номенклатуры в условиях ремонтного производства обладает дуговая наплавка с газопламенной защитой. Способ позволяет наплавлять на детали плотные слои, применяя доступные и относительно дешевые углеродистые проволоки. Металл, наплавленный высокоуглеродистыми проволоками на стальные детали, хорошо воспринимает закалку. Чугунные детали также можно наплавлять стальной низкоуглеродистой проволокой. Наплавленный слой в этом случае обладает хорошей обрабатываемостью.

Особенностью способа является то, что защитные газы в сварочную зону подаются двумя концентричными потоками (рис. 3.14): в наружном потоке – природный газ (ГОСТ 5542 – 78) или пропан-бутановую смесь (ГОСТ 20447 – 80) и во внутреннем потоке – кислород (ГОСТ 5583 – 78). При этом природный газ и продукты его сгорания защищают сварочную зону от проникновения азота из воздуха. Однако углеводородный газ вызывает при сварке обильную пористость. Вредное влияние газа на плотность наплавленного металла подавляется кислородом, который подается узким внутренним потоком в зону дуги. По выходе из горелки газ сгорает, образуя пламя. Таким образом, дуга горит в факеле газокислородного пламени.

Для наплавки с газопламенной защитой применяется двухсопловая горелка конструкции ВНИИВИД и УФ ЦОКПТЬ ВНПО «Ремдеталь». Газо-

вую горелку крепят к мундштуку таким образом, чтобы ось ее совпадала с концом электрода на расстоянии от наконечника, равном вылету электрода.

Для защиты от перегрева в процессе наплавки газовая горелка и головка мундштука снабжены рубашками жидкостного охлаждения.

Плотные слои на стальные и чугунные детали наплавляют различными стальными, сварочными и наплавочными проволоками, такими как, например, Св-08, Св-08ГА, Св-08Г2С, Нп-ЗОХГСА, или углеродистыми и низколегированными проволоками, например из стали 08КП, 10, 20, 45, 65Г, 80 и др. Присутствие раскислителей в составе проволоки не обязательно. Наиболее целесообразно большинство стальных деталей наплавлять пружинной проволокой II класса (ГОСТ 9378 – 75). Могут применяться и другие проволоки, содержащие до 0,7 % углерода и легированные – до 1 % марганца.

Для наплавки чугунных деталей применяют сварочные проволоки Св-08 и Св-08А или низкоуглеродистые проволоки из сталей 08КП и 10. Можно применять другие проволоки, близкие по составам к указанным ранее.

Принудительное охлаждение детали позволяет сохранять удовлетворительное формирование слоя при наплавке с использованием тока большей силы, чем при наплавке в углекислом газе. Благодаря этому по сравнению с наплавкой в среде углекислого газа можно наплавлять детали меньшего диаметра, не опасаясь их перегрева, применять проволоки больших диаметров и более производительнее вести процесс. Совмещая наплавку с интенсивным охлаждением наплавленного металла струей охлаждающей жидкости (четырёхпроцентным раствором кальцинированной соды или водой), при наплавке пружинной проволокой II класса можно получить наплавленные слои с твердостью 56...64 HRC.

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.

Наплавка открытой дугой самозащищенными материалами. Разработана учеными Института электросварки имени О.Е. Патона. Примене-

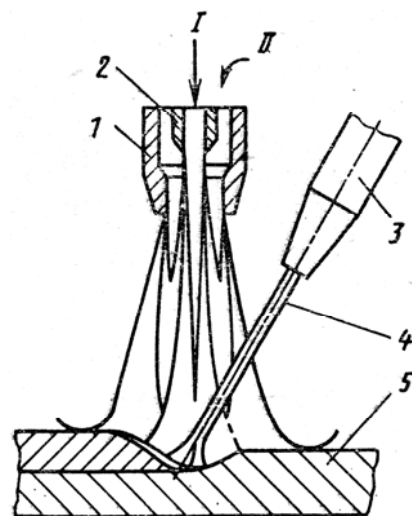


Рис. 3.14. Схема наплавки с газопламенной защитой: 1 – сопло для природного газа; 2 – сопло для кислорода; 3 – мундштук; 4 – проволока; 5 – деталь; I и II – подача соответственно кислорода и природного газа (пропан-бутана)

ние флюса или защитных газов при дуговой наплавке связано с определенными технологическими трудностями. Поэтому наряду с дальнейшим совершенствованием сварочных процессов исследовали возможность сварки открытой дугой с помощью порошковых проволок. У такой наплавки очень высокая производительность (до 10...11 кг/ч) при плотности тока 150...170 А/мм².

Конструктивно проволока представляет собой металлическую трубку, внутри которой помещен порошок – шихта. Состав шихты определяет ее свойства и назначение. В состав входят газообразующие, шлакообразующие, легирующие, раскисляющие, ионизирующие и другие компоненты. По назначению и материалу они соответствуют составляющим, входящим в рассмотренные ранее флюсы для наплавки.

Трубку изготавливают вальцовкой из малоуглеродистой ленты. Наиболее распространены проволоки сплошного (рис. 3.15 *а*) и простого трубчатого сечений. Однако при горении дуги шихта отстает в расплавлении от оболочки, что ухудшает защиту и свойства наплавленного металла.

Чтобы повысить электропроводность шихты, в нее следует добавлять до 30 % железного порошка или разделить сердечник проволоки на части металлическими перегородками, электрически связанными с ее оболочкой (рис. 3.15 *б* и *в*).

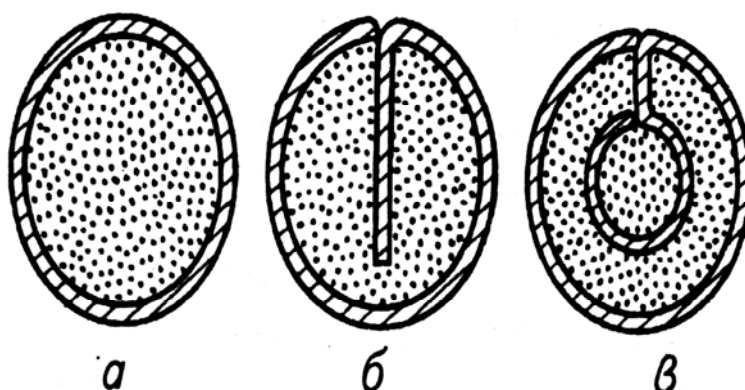


Рис. 3.15. Варианты конструкции сварочной порошковой проволоки по сечению:
а – сплошное; *б* – с одним загибом; *в* – двухслойное

По назначению проволоки предназначены для сварки углеродистых и низколегированных сталей; легированных и высоколегированных сталей; чугуна; цветных металлов и сплавов; наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

В процессе наплавки наиболее часто используют проволоки диаметром 2,0...3,2 мм (табл. 3.8). Недостаток порошковых проволок – относительно высокая стоимость. Кроме них выпускают также порошковые ленты с еще более высокой производительностью наплавочных работ.

Таблица 3.8

Рекомендуемые режимы наплавки порошковой проволокой

Электродная проволока	Диаметр детали, мм	Режимы наплавки			
		Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость наплавки, м/ч	Шаг наплавки, мм/об
ПП-У25Х17Т-О диаметром 3 мм	50...60	200...230	22...24	35...40	4,0...4,5
	60...75	240...250	24...26	30...35	4,5...5,6
	70...85	260...280	26...28	25...30	5,5...6,0
ПП-1Х14Т-О диаметром 2 мм	45...55	160...180	22...24	25...35	2,5...3,0
	50...65	160...180	22...24	20...25	3,5...4,0
	60...75	200...220	24...26	15...20	4,5...5,0

Наплавка сжатой дугой (плазменная наплавка). Одна из разновидностей дуговой наплавки – наплавка сжатой дугой. С помощью такой наплавки можно получать наплавленные слои толщиной 0,2...5,0 мм с припуском на последующую механическую обработку 0,4...0,9 мм. Производительность процесса – 1...12 кг/ч. При малой глубине проплавления (0,3...3,5 мм) обеспечивается доля основного металла в наплавленном слое до 30 % при зоне термического влияния 3...6 мм. Наплавливают детали диаметром более 12 мм, снижая на 10...15% предел выносливости (при вибродуговой наплавке – на 35...40 %).

Между центральным вольфрамовым катодом 4 (рис. 3.16) и внутренним соплом 6 с помощью дросселя *LL* возбуждается электрическая дуга. Продуваемый между ними плазмообразующий газ 5 сжимает дугу, повышая ее температуру. В результате происходят термическая диссоциация газа и образование высокоионизированного потока частиц – *плазмы*, которая служит высококонцентрированным источником тепловой энергии с температурой 10 000...30 000 °С. Процесс протекает с малым проплавлением и большим термическим КПД.

Наибольшее применение нашли плазмотроны прямого действия с комбинированным способом сжатия дугового разряда, однодуговые с тангенциальной подачей инертного газа, работающие на постоянном токе прямой полярности и с радиальной подачей материала. У плазмотрона различают основную дугу – между анодом и деталью и вспомогательную – между анодом и соплом. Самые теплонапряженные детали плазмотрона – это электрод и сопло. Материал электрода определяется составом плазмообразующей среды. В плазмотронах, работающих с применением инертных и нейтральных газов (аргон, азот, гелий, смеси: аргон и азот, аргон и водород, азот и водород), используют электроды из вольфрама. В плазмотронах, работающих в кислородсодержащих средах, применяют катоды из гафния и циркония. Водоохлаждаемое сопло выполнено из меди. Сопло, рассчитанное на ток силой 260...310 А, имеет диаметр отверстия для выхода плазмы 3...4 мм. Диаметр насадки для подачи защитного газа 10...13 мм.

Плазменная наплавка нашла применение при восстановлении ответственных деталей, к которым, например, относятся: коленчатые и распределительные валы, валы турбокомпрессоров, оси, крестовины карданных шарниров и др.

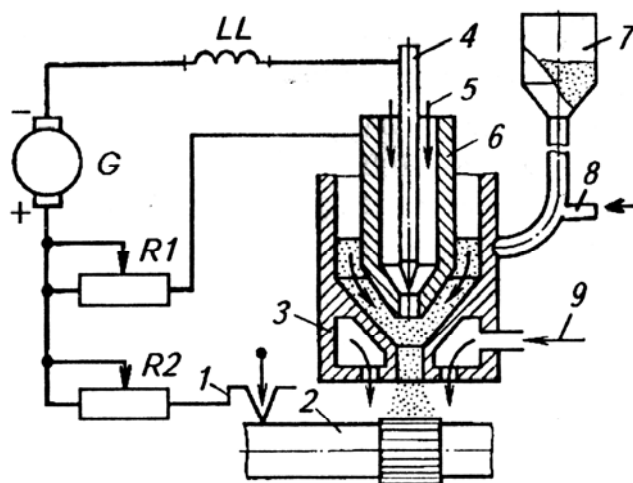


Рис. 3.16. Схема наплавки с вдуванием порошка в плазменную струю:
 1 – привод; 2 – деталь; 3 – наружное сопло; 4 – вольфрамовый катод;
 5 – плазмообразующий газ; 6 – внутреннее сопло – анод; 7 – питатель;
 8 – транспортирующий газ; 9 – защитный газ; С – сварочный преобразователь;
 R1 и R2 – реостаты; LL – дроссель

Наплавляют по винтовой линии, однако при наличии специального механизма колебаний, перемещающего плазмотрон вдоль детали, есть возможность получения наплавленных слоев шириной до 50...60 мм. Частота колебаний плазмотрона – 40...100 в 1 мин.

Силу тока косвенной и прямой дуг регулируют с помощью балластных реостатов R1 и R2 (см. рис. 3.16).

В качестве плазмообразующих газов наиболее часто используют аргон и азот, а транспортирующих и защитных – азот, углекислый газ и их смеси (табл. 3.9)

Выбор материалов для наплавки зависит от свойства наплавленного слоя как с точки зрения высокой адгезии к поверхности детали, так и с точки зрения износостойкости слоя, которая может быть в 1,5...2 раза и более выше, чем у исходной детали. В этих целях применяют порошковые твердые сплавы ПР-Н80Х13С2Р, ПР-Н65Х25С3Р3, ПГ-СР4 (ПГ-ХН80СР4), ПГ-ФБХ-6-2 (У45Х35ХСР) и др., с помощью которых можно получить твердость наплавленного слоя 25...60 HRC. Оптимальная грануляция порошков – 200...600 мкм с разбросом до 30 мкм. Для наплавки используют и легированные сварочные и наплавочные проволоки.

При наплавке порошковыми твердыми сплавами наряду с высокой твердостью и износостойкостью у наплавленного металла высокая хрупкость и он плохо работает в условиях знакопеременных нагрузок. Наплавка проволочными электродами не обеспечивает высокой износостойкости,

но металл достаточно пластичен. При комбинированной наплавке может быть достигнуто оптимальное сочетание физико-механических свойств.

Режимы наплавки влияют на свойства слоя. Так, с увеличением сварочного тока повышается производительность процесса, но увеличиваются нагрев детали и глубина проплавления. От напряжения холостого хода зависит устойчивость наплавки: при наплавке порошком оно должно быть не менее 100 В, а электродной проволокой – 70 В.

Т а б л и ц а 3 . 9

Состав плазмообразующих газов

Наименование газа	Содержание основного вещества, по массе в %
Азот газообразный технический повышенной чистоты в баллонах:	
- первый сорт	99,99
- второй сорт	99,95
Аргон газообразный:	
- высший сорт	99,992
- первый сорт	99,987
Гелий газообразный:	
- особой чистоты	99,995
- высокой чистоты	99,985
- технический	99,8
Смесь аргон-азотная (аргон технический)	86...88%Ar, 12...14%N ₂

Снижение скорости наплавки приводит к увеличению толщины наплавленного слоя и повышению тепловыделения в деталь. При чрезмерном увеличении скорости уменьшаются ширина и толщина наплавленного металла и ухудшается прочность его сцепления с деталью.

При наплавке плазматрон смещают с зенита в сторону, противоположную направлению вращения детали (на 3...5 мм для деталей диаметром до 100 мм). Расстояние от сопла плазматрона до поверхности детали 12...20 мм (при комбинированном способе – 8...16 мм). Расстояние от сопла плазматрона до электропроводной проволоки – 5...8 мм.

Плазменной наплавкой восстанавливают детали типа «вал» (коленчатые и распределительные валы, фаски клапанов газораспределительного механизма и т.д.).

Технологические расчеты плазменной наплавки порошка выполняются в такой последовательности.

Определяют диаметр детали до наплавки D_0 , мм, после наплавки D_H , мм, и длину наплавленной шейки l , мм.

Толщина наплавленного слоя, мм:

$$h = \frac{D_H - D_0}{2}. \quad (2.37)$$

Число наплавленных слоев n_C при $h < 2,5$ мм принимают равным единице, при $2,5 < h < 5$ мм $n_C = 2$ и при $5 < h < 7,5$ мм $n_C = 3$.

Назначают расход наносимого порошка в зависимости от диаметра восстанавливаемой детали из отрезка значений $Q_{\Pi} = 0,3 \dots 3,0$ кг/ч. Меньшее значение расхода порошка соответствует наплавке детали диаметром от 10 мм. Большее значение можно применять для деталей начиная с диаметра 50 мм.

Сила плазмообразующего тока, А:

$$I = (80 \dots 100) Q_{\Pi}. \quad (3.38)$$

Выбирают марку плазменной горелки по силе тока. Для определения скорости наплавки необходимо провести некоторые промежуточные расчеты. Масса m_B (кг) одного валика

$$m_B = \frac{\pi(D_H^2 - D_O^2)}{4 \cdot 10^6} S_{\Pi} \rho, \quad (3.39)$$

где S_{Π} – подача плазменной горелки, мм/об;

ρ – плотность порошка, кг/м³. Число валиков металла n_B , наносимых в одну минуту (мин⁻¹), равно:

$$n_B = \frac{1000 V_H}{\pi D_O}, \quad (3.40)$$

где V_H – скорость наплавки, м/мин.

Масса металла, наплавленного в минуту (кг/мин), равна

$$\frac{Q_{\Pi}}{60 k_{\text{И}}} = m_B n_B = \frac{(D_H^2 - D_O^2) S_{\Pi} \rho V_H}{4 \cdot 10^6 D_O}, \quad (3.41)$$

где $k_{\text{И}}$ – коэффициент использования порошка, доли единицы.

Скорость наплавки (м/мин)

$$V_H = \frac{10^6 Q_{\Pi} D_O}{15 k_{\text{И}} (D_H^2 - D_O^2) S_{\Pi} \rho}. \quad (3.42)$$

Основное время наплавки (мин.)

$$t_o = \frac{l}{S_{\Pi} n}, \quad (3.43)$$

где n – частота вращения детали, мин⁻¹.

Расход порошка m_{Π} (кг/изделие) на восстанавливаемую деталь

$$m_{\Pi} = \frac{Q_{\Pi} t_o}{60 k_{\text{И}}}. \quad (3.44)$$

Импульсно-дуговая сварка и наплавка. Импульсно-дуговая наплавка состоит в том, что на наплавочный ток малого значения накладываются импульсы тока с частотой 30 – 100 импульсов/с генератора импульсов. Наплавка осуществляется от источника постоянного тока и импульсного генератора, дающего кратковременные импульсы. Установка для импульсно-дуговой наплавки (сварки) (рис. 3.17) состоит из сварочного выпрямителя *СВ*, импульсного генератора *ИГ* и индуктивной катушки *L*. Питание сварочной дуги осуществляется от сварочного выпрямителя *СВ*. На постоянный ток накладываются импульсы от генератора *ИГ*, состоящего из конденсатора *С*, выпрямителя *В*, сопротивления *R* и контактов *K₁*, *K₂*. Замыкая контакт *K₁*, конденсатор заряжается до определенной величины емкости. Замыкая контакт *K₂*, конденсатор разряжается, посылая импульс тока на дугу.

Зарядка конденсатора идет через сопротивление *R*. Выпрямитель *СВ* защищен от импульсного тока индуктивной катушкой *L*. Конструкция импульсного генератора упрощается в том случае, если частота импульсов соответствует промышленной частоте тока 50 или 100 Гц.

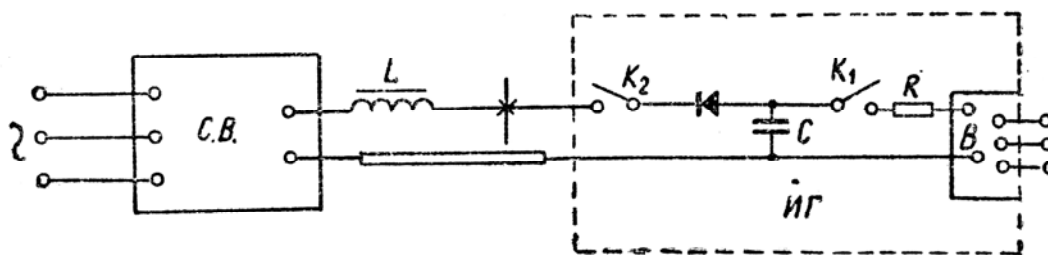


Рис. 3.17. Схема установки для импульсно-дуговой наплавки (сварки)

Кривые тока и напряжения при импульсно-дуговой наплавке (сварке) показаны на рис. 3.18.

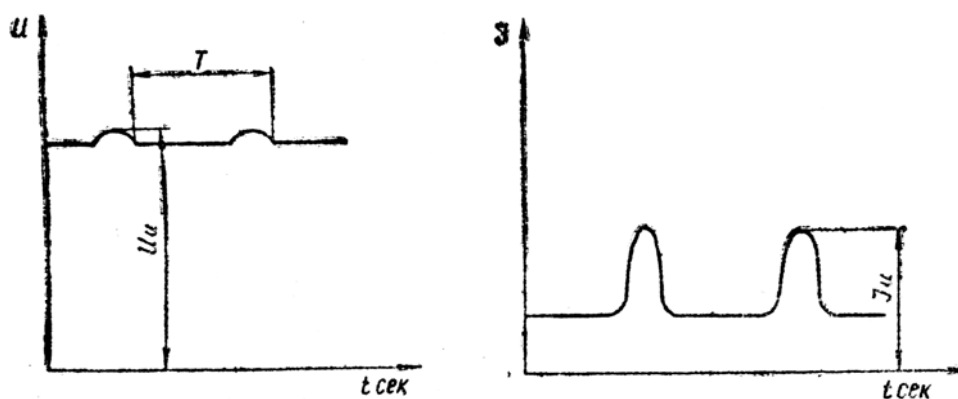


Рис. 3.18. Кривые напряжения (а) и тока (б) при импульсно-дуговой наплавке

Наложение на постоянный ток импульсов тока упорядочивает перенос металла в сварочной дуге. Так, если силу тока в импульсе увеличить в 5 раз, то усилие, воздействующее на металл, увеличивается в 25 раз.

Электродинамические силы, возникающие в дуге, облегчают наплавку, увеличивая глубину проплавления, и в целом улучшают формирование и качество сварного шва.

3.2.2. Бездуговые способы наплавки

Электрошлаковая сварка и наплавка. Разработана в 1974 г. в Институте электросварки имени Е.О. Патона. Электрошлаковая сварка (наплавка) является бездуговым процессом. Расплавление основного и электродного металла при электрошлаковой сварке осуществляется за счет тепла, выделяемого при прохождении электрического тока через расплавленный электропроводный флюс – шлак. Электрошлаковая сварка выполняется в вертикальном положении или с наклоном от вертикали до 30° (рис. 3.19).

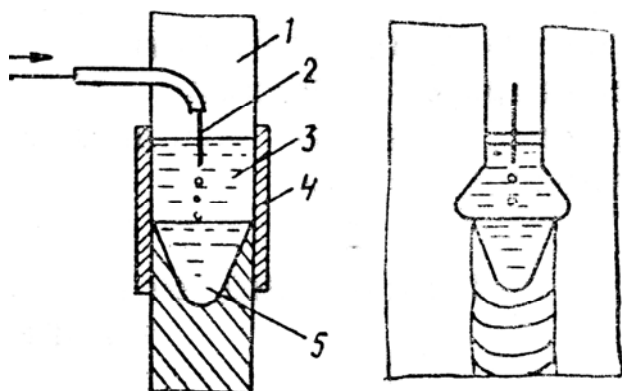


Рис. 3.19. Принципиальная схема электрошлаковой сварки

В пространстве, ограниченном кромками свариваемых деталей 1 и формирующими медными приспособлениями 4, находится расплавленная шлаковая ванна 3, в которую непрерывно подается электродная проволока 2. Электрический ток, проходя между электродом и основным металлом, разогревает шлаковую ванну до температуры, превышающей температуру плавления металла. Шлак расплавляет кромки свариваемых деталей и электрод. Расплавленный металл стекает на дно шлаковой ванны, образуя металлическую ванну 5, которая, затвердевая, образует сварной шов. По мере заполнения зазора металлом поднимается шлаковая ванна и производится подъем всей системы, состоящей из формирующих приспособлений, электрода и сварочного аппарата.

Преимущества электрошлаковой сварки:

1. Отсутствие дугового процесса исключает разбрызгивание металла и шлака.

2. Возможность сварки деталей за один проход практически неограниченной толщины без разделки кромок.

3. Вертикальное положение шва и длительность пребывания металла в жидком состоянии способствуют лучшему удалению газа и шлака и обеспечивают меньшую чувствительность процесса к влажности, ржавчине и другим загрязнениям кромок, благодаря чему обеспечивается получение наиболее плотных сварных швов.

4. Малый расход флюса снижает расход электроэнергии на его плавление и способствует получению швов с более постоянным химическим составом.

5. Равномерный нагрев металла по всей толщине устраняет угловые деформации

6. Производительность сварки выше автоматической сварки под флюсом в 5–15 раз, при этом с увеличением толщины возрастает экономичность электрошлаковой сварки.

Диаметр и число электродов (рис. 3.20) при электрошлаковой наплавке определяют исходя из толщины и ширины наплавленного шва. Диаметр обычно принимают равным 3 мм, толщину наплавленного металла можно увеличивать до 20...30 мм и ширину шва до 60 мм. Для расширения диапазона перечисленных значений применяют перемещение электрода по ванне со скоростью 30...40 м/ч и многоэлектродный процесс.

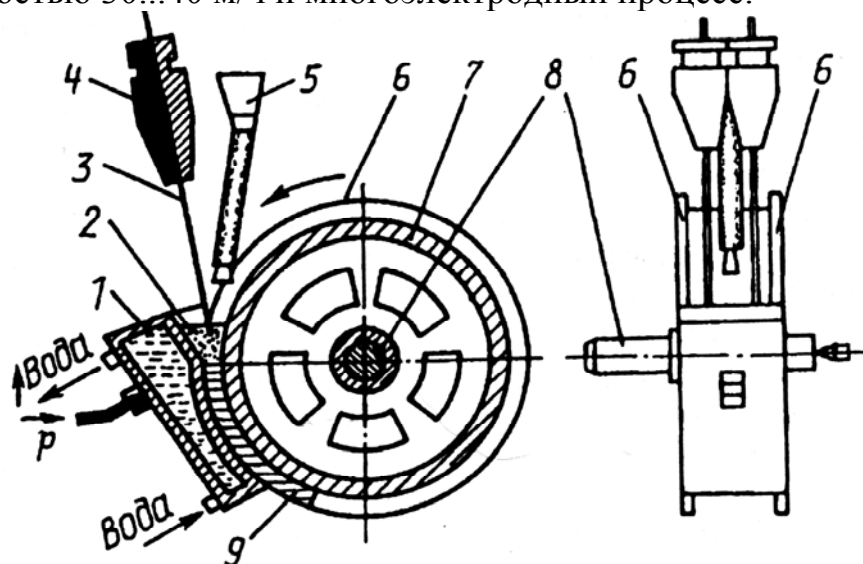


Рис. 3.20. Схема электрошлаковой наплавки:
 1 – кристаллизатор; 2 – шлаковая ванна; 3 – электрод; 4 – мундштук;
 5 – дозатор легирующих добавок; 6 – диск; 7 – восстанавливаемая деталь;
 8 – оправка; 9 – покрытие

Силу сварочного тока I и напряжение устанавливают по количеству теплоты, необходимой для расплавления соответствующего объема металла с учетом потерь. Сила сварочного тока, А:

$$I = A + Bs, \quad (3.45)$$

где A и B – эмпирические коэффициенты ($A=220...280$, $B=3,2...4,0$);

s – толщина наплавленного металла, мм.

Скорость подачи электрода, м/ч:

$$V_э = \frac{I}{C}, \quad (3.46)$$

где C – эмпирический коэффициент ($C = 1,6...2,7$ А·ч/м).

Глубина шлаковой ванны существенно влияет на процесс. Недостаточное ее значение нарушает устойчивость процесса, приводит к кипению и разбрызгиванию шлака, а слишком большое – уменьшает проплавление основного металла детали. Оптимальной считают глубину, равную 40...60 мм. Сухой вылет электрода – 100...500 мм.

Электроконтактная приварка металлического слоя. Сущность электроконтактной приварки металлического слоя состоит в закреплении

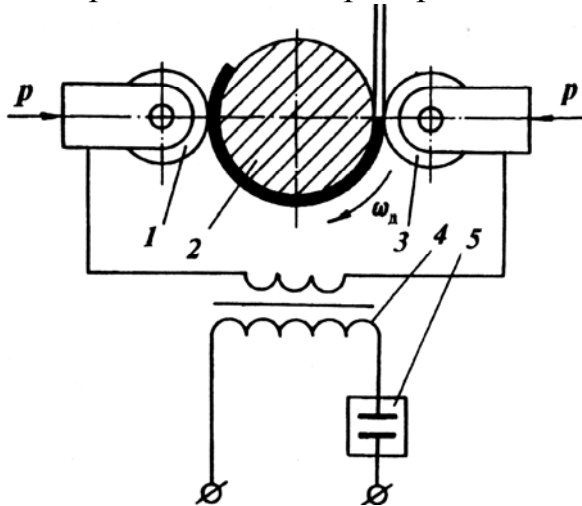


Рис. 3.21. Схема электроконтактной приварки ленты:
1 и 3 – ролики; 2 – восстанавливаемая деталь; 4 – трансформатор; 5 – контактор

его на изношенной поверхности мощными импульсами тока с приложением давления (рис 3.21). Электроконтактная приварка металлического слоя получила научное развитие в результате деятельности коллектива под руководством проф. А.В. Поляченко (ВНИИТУВИД «Ремдеталь», Москва). Этот коллектив разработал и основное оборудование.

Металл детали и слои расплавляют в результате прохождения тока не по всей толщине покрытия, а только в точках контакта материала. Способ реализуют на установках путем совместного деформирования наносимого металла и поверхностного слоя детали, нагретых в очагах пластического деформирования короткими (0,02...0,16 с) импульсами тока 7...30 кА. Количество выделившегося тепла Q (Дж) при этом равно

$$Q = kI^2Rt, \quad (3.47)$$

где k – коэффициент пропорциональности;

I – ток, А;

R – сопротивление участка цепи, Ом;

t – время действия тока, с.

Деформирующее усилие составляет 1000...1600 Н. Слой приваривают ко всей поверхности детали перекрывающимися точками, которые располагаются по винтовой линии. Сварные точки перекрываются как вдоль рядов, так и между ними. Перекрытия точек достигают частотой импульсов тока, пропорциональной частоте вращения детали и скорости продольного перемещения сварочной головки. Такое расположение сварных точек обеспечивает высококачественную приварку. При электроконтактной приварке материал детали прогревается на малую глубину, что обеспечивает неизменность его химического состава и исключает применение флюсов и защитных газов. Для уменьшения нагрева детали и улучшения условий за-

калки приваренного слоя в зону приварки подают охлаждающую жидкость.

По сравнению с дуговыми способами наплавки электроконтактная приварка металлического слоя с охлаждением рабочей зоны позволяет:

- увеличить производительность труда в 2...3 раза;
- сократить расход материалов в 3...4 раза за счет сокращения потерь на разбрызгивание металла и создания минимально необходимого припуска на обработку;
- исключить нагрев и деформацию детали;
- обеспечить закалку слоя непосредственно в процессе приварки;
- достичь высокой прочности сцепления покрытия с восстанавливаемой поверхностью (100...250 МПа);
- наплавлять черные и цветные металлы на различные марки сталей и чугунов;
- исключить выгорание легирующих элементов;
- обеспечить различные сочетания присадочных материалов;

Зона термического влияния не более 0,5 мм и при нанесении второго слоя распространяется лишь на толщину первого слоя, не достигая основного металла. Разновидности способа определяются видами основного материала, применяемого для нанесения покрытий. Металлический слой создают из проволоки, ленты, порошков, сочетания порошков с лентой.

На твердость и прочность покрытия наибольшее влияние оказывает его материал (табл. 3.10).

Т а б л и ц а 3 . 1 0

Твердость приваренного слоя в зависимости от материала ленты

Марка стали	Твердость слоя, <i>HRC</i>	Марка стали	Твердость слоя, <i>HRC</i>
20	22...27	55	51...56
40	41...46	40X	51...61
45	46...51	65Г	61...66

Проволочный материал нашел широкое применение при восстановлении резьбы и шеек валов, ленточный – при восстановлении шеек валов и поверхности отверстий в корпусных деталях, а порошковый – при восстановлении шеек валов и конических поверхностей клапанов.

Электроконтактная приварка проволоки обеспечивает хорошее соединение покрытия с восстанавливаемой поверхностью, постепенное изменение свойств в зоне перехода между приваренным и основным металлом, наличие зоны сплавления между витками проволоки, проникновение металла последующего валика в предыдущий, что повышает прочность соединения по сравнению со способами сварки, где имеется зона пережога, характеризующаяся низкой прочностью, формированием мелкодисперсной структуры, которая способствует не только увеличению твердости, но и

ударной вязкости металла, а в конечном итоге уменьшает интенсивность изнашивания.

Диаметр проволоки при восстановлении резьбы выбирают из расчета, чтобы при нагреве и осадке проволока полностью заполнила впадину между витками и обеспечила припуск на механическую обработку. Этому условию удовлетворяет превышение диаметра проволоки на 5...10 % шага резьбы. Зависимость между усилием сжатия Q (в ньютонах) и силой сварочного тока I (в амперах) выражается формулой

$$Q = 6,4\sqrt{I}. \quad (3.48)$$

Приварка проволоки обеспечивает высшую износостойкость покрытий, но отрицательно влияет на усталостную прочность восстановленных элементов. Приварка проволок Св-08ГС и 65Г снижает усталостную прочность на 10...25 % по сравнению с этими показателями у нормализованной стали 45 и чугуна ВЧ-50. В отличие от стали 45, закаленной ТВЧ, снижение этого показателя у образцов с покрытием, нанесенным электроконтактной приваркой, значительно больше и достигает 50 %. Режимы приварки проволоки приведены в табл. 3.11. Длительность импульса составляет 0,02...0,04 с, а пауза 0,06...0,08 с. Скорость приварки 1,6...2,0 м/мин.

Т а б л и ц а 3.11

Режимы электроконтактной приварки проволоки на наружные поверхности цилиндрических деталей

Проволока	Диаметр проволоки, мм	Ток, кА	Давление на ролик, Н	Шаг приварки, мм/об
Пружинная I класса (65Г)	2	8,5...10	1300	2,0...2,2
		7,5...9		
	1,6	7...8	1100	1,6...1,8
		5...6		
Св-08	2,5	8,5...10	1500	2,5...2,8
		7,5...9		
	2,0	8...9	1300	2,0...2,2
		7...8		
	1,6	7...8	1100	1,6...1,8
		5...6	1000	

Большое распространение среди способов приварки получила электроконтактная приварка ленты. Режимы электроконтактной приварки ленты приведены в табл. 3.12. Этот способ требует применения оборудования для мерной отрезки ленты и ее предварительной гибки. К такому оборудованию относятся установка 02.11.157 «Ремдеталь» для продольной и поперечной размерной резки ленты и гибочный станок 01.08.001. Применение установки 02.11.157 «Ремдеталь» повышает производительность труда в 5 раз по сравнению с изготовлением ленты вручную.

Широкими технологическими возможностями, позволяющими повысить послеремонтную наработку восстановленных деталей, обладает электроконтактная приварка порошковых материалов.

Т а б л и ц а 3 . 1 2

Режимы приварки металлической ленты

Параметр	Детали	
	Корпусные	Валы
Сила сварочного тока, кА	7,8...8,0	16,1...18,1
Продолжительность, с		
• сварочного цикла	0,12...0,8	0,04...0,08
• паузы	0,08...0,10	0,10...0,12
Скорость сварки, м/мин.	0,5	0,7...1,2
Подача электродов, мм/об	Вручную	3...4
Сила сжатия электродов, кН	1,7...2,25	1,3...1,6
Ширина рабочей части электрода, мм	8	4
Диаметр электродов, мм	50	150...180
Марка стали ленты	10...30	10...50
Расход охлаждающей жидкости, л/мин.	0,5...1,0	1,5...2,0

Сущность процесса заключается в том, что между движущимися деталью и электродом помещают металлический порошок, через них пропускают электрический ток с приложением давления.

Вращающаяся или неподвижная деталь является одним из электродов переменного тока, второй медный электрод вращается или неподвижен. В зазор между этими двумя электродами из бункера подают порошковый материал. Материал к восстанавливаемой поверхности детали прижимают под давлением 30...60 МПа вторым электродом. Через электроды и материал пропускают электрический ток силой 5...30 кА, плотностью 1...5 А/см², напряжением 6...12 В и импульсами длительностью 0,04...0,14 с. Скорость приварки составляет 0,17...0,37 м/мин. Схемы устройств для нанесения порошковых покрытий приведены на рис. 3.22.

В результате на поверхности восстанавливаемой детали образуется слой, толщина которого определяется углом захвата порошка роликом. От состава порошков зависят требуемые свойства восстановительных покрытий.

Прочность соединения покрытия с восстанавливаемой поверхностью находится в пределах 150...300 МПа. Пористость и твердость покрытий изменяются в широких пределах и зависят от состава составляющих покрытия. Пористость покрытий – 12...25 %, а твердость – 25...63 HRC. Сопротивление усталости деталей с покрытиями из порошков снижается на 7...12 % по сравнению с этим показателем у новых деталей.

Покрытия обрабатывают лезвийным или абразивным инструментом. Лезвийную черновую обработку выполняют резцом из гексанита-Р при скорости резания 22...30 м/мин, подаче 0,15...0,20 мм/об., глубине резания

0,5...0,9 мм. Чистовую обработку таким инструментом ведут при скорости резания 60...80 м/мин, подаче 0,02...0,2 мм/об., глубине резания 0,1...0,5 мм.

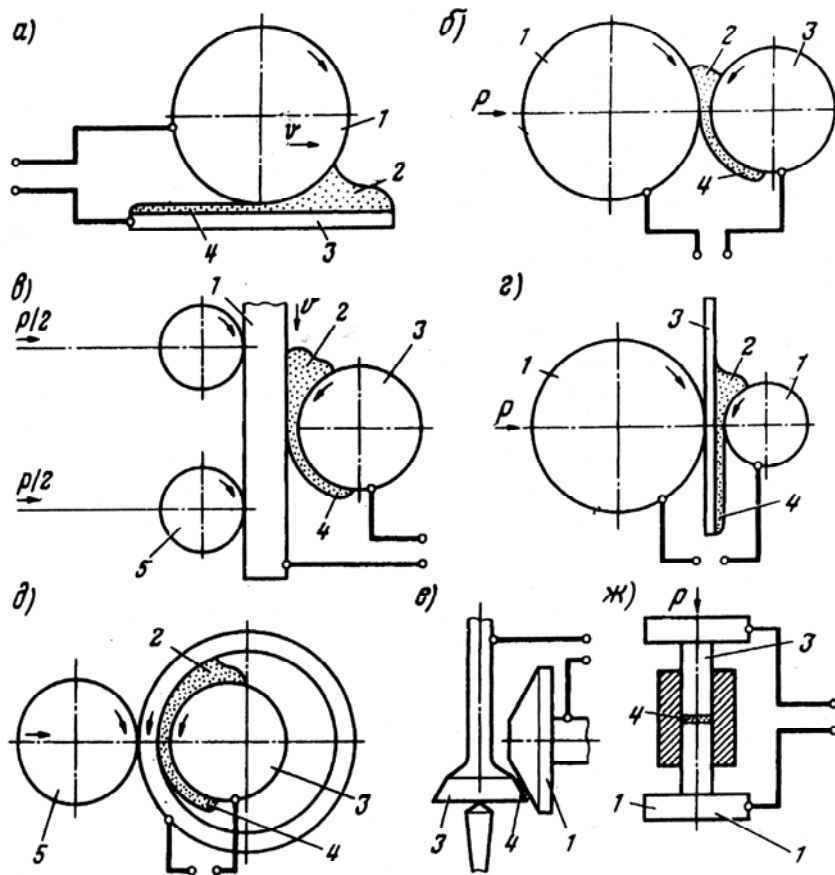


Рис. 3.22. Схема электроконтактной приварки порошков на поверхности:
а – плоскую (горизонтальная схема); *б* – наружную цилиндрическую;
в – наружную цилиндрическую плоским электродом; *г* – плоскую
 (вертикальная схема); *д* – наружную цилиндрическую;
е – коническую; *ж* – торцовую; 1 – электрод; 2 – порошок;
 3 – деталь; 4 – слой порошка; 5 – нажимной ролик

Индукционная наплавка. При наплавке на поверхность детали наносится специальная шихта, состоящая из металлического порошка различного состава и флюсов. Деталь помещают в поле индуктора высокочастотной установки. Ток высокой частоты, проходящий через индуктор 1 (рис. 3.23), наводит в поверхностном слое детали вихревые токи, в результате чего деталь нагревается. Шихта, расположенная между индуктором и нагреваемой поверхностью детали 4, из-за высокого электрического сопротивления слабо взаимодействует с переменным электромагнитным полем. Шихта нагревается путем теплопередачи от поверхности нагреваемой детали. Температура плавления шихты должна быть на 100...150 °С ниже температуры плавления металла, а скорость нагрева поверхности детали – выше скорости теплоотвода в глубину детали. При нагреве флюс расплавляется. Он вступает во взаимодействие с оксидными пленками на поверх-

ности порошка и детали 4, восстанавливает их с образованием чистого металла и шлаков, которые всплывают на поверхность жидкого сплава б. После прекращения нагрева формируется наплавленный слой и начинается кристаллизация металла, сопровождаемая активными диффузионными процессами.

К флюсам индукционной наплавки предъявляют специфические требования: температура плавления флюса должна быть ниже температуры плавления частиц металла, что должно обеспечить надежное удаление оксидных пленок до начала плавления металла; у образующегося при наплавке шлака должны быть минимальными плотность и вязкость, чтобы обеспечивать его хорошее удаление из сварочной ванны.

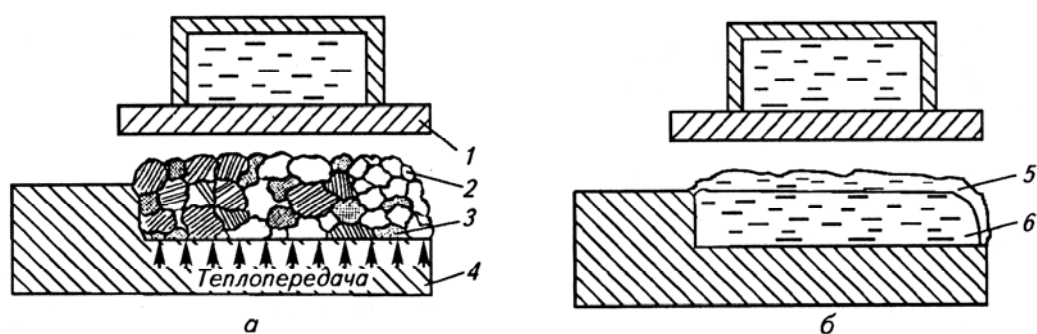


Рис. 3.23. Схема способа индукционной наплавки порошкообразной шихтой: а – начало процесса; б – окончание процесса; 1 – индуктор ТВЧ; 2 – частицы наплавляемого сплава; 3 – частицы флюса; 4 – деталь; 5 – слой жидкого флюса; 6 – жидкий присадочный сплав

Для индукционной наплавки используют, как правило, порошки твердых сплавов, обеспечивающие высокие эксплуатационные характеристики наплавленных деталей. У них должны быть минимальная магнитная проницаемость и определенный гранулометрический состав. Так, при толщине шихты 1,5...4,5 мм оптимальный размер частиц меняется от 0,2...0,4 до 0,8...1,2 мм.

Ассортимент материалов для наплавки достаточно широк. Используют высоколегированные чугуны У30Х28Н4С4 (сормайт №1), У45Х35ГЗР2С (ФБХ-6-2), У35Х2Н5 (нихард), Ж4НДХ-15-7-2 (нирезист); сплавы на основе кобальта, вольфрама и никеля – стеллиты В2К и В3К; композитные материалы (псевдосплавы) на основе карбидов вольфрама (релиты) и хрома.

При повышении в наплавленном металле содержания хрома и углерода увеличиваются твердость и износостойкость в абразивной среде, но снижаются пластичность и стойкость к ударным нагрузкам. При уменьшении содержания хрома и углерода при одновременном увеличении содержания никеля, как правило, несколько снижается твердость, но одновременно повышаются пластичность и стойкость к ударным нагрузкам. Индукционной наплавкой восстанавливают ведущие диски сцепления, гильзы цилиндров.

Технологический процесс наплавки выполняют в следующем порядке. Детали очищают от масел, продуктов коррозии и других загрязнений. На восстанавливаемую поверхность наносят слой шихты. Наплавляемую поверхность помещают в индуктор, нагревают до расплавления шихты. После этого нагрев прекращается и наплавленный металл кристаллизуется. Далее по необходимости проводят термо- и механическую обработку.

Для наплавки используют высокочастотные генераторы.

Выбор частоты ТВЧ-генератора определяется необходимой глубиной проникновения электромагнитного поля в металл, мм:

$$\Delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \quad (3.49)$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление материала, Ом-мм²/м;

μ – относительная магнитная проницаемость;

f – частота тока, Гц.

Конструкция индукторов определяется формой, размером деталей и способом наплавки. Их изготавливают из электротехнической меди. Для повышения производительности процесса применяют различную оснастку, обеспечивающую перемещение детали, нанесение на ее поверхность слоя шихты и т.д.

В зависимости от формы, габаритов детали и мощности ТВЧ-генератора применяют следующие способы наплавки:

- одновременную – наплавляемая поверхность полностью вводится в поле индуктора;
- последовательную – наплавляют поочередно несколько участков поверхности;
- непрерывно-последовательную – наплавляемая поверхность перемещается в поле индуктора;
- центробежную – наплавляют внутреннюю поверхность тел вращения.

Мощность высокочастотной установки, кВт, необходимая для наплавки:

$$P = \frac{2500(Km_0 + m_H)}{\tau_H \eta}, \quad (3.50)$$

где K – коэффициент, учитывающий теплопередачу в тело детали ($K=1, 1 \dots 1, 2$);

m_0 и m_H – массы нагреваемого основного металла в зоне наплавки и наплавляемой шихты, кг;

τ_H – продолжительность нагрева, с;

η – КПД нагрева.

Если требуемая мощность больше мощности ТВЧ-установки, то наплавляют непрерывно-последовательным способом.

Продолжительность нагрева, с, определяют по эмпирическим формулам:

при одновременной наплавке

$$\tau_{\text{H}} = 10ah_{\text{C}}, \quad (3.51)$$

при непрерывно-последовательной

$$\tau_{\text{H}} = (10ah_{\text{C}}) \left(\frac{l}{l_{\text{И}}} + 1 \right), \quad (3.52)$$

где a – коэффициент, учитывающий состав шихты и грануляцию порошка ($a=13...17$);

h_{C} – толщина наплавляемого слоя, мм;

l и $l_{\text{И}}$ – длины наплавляемого участка и активной части индуктора, мм.

Электромагнитная наплавка. Сущность электромагнитной наплавки заключается в нанесении покрытия из порошка на поверхность заготовки в магнитном поле при пропускании постоянного тока большой силы через зоны контакта частиц порошка между собой и с заготовкой.

Магнитное поле создают в зазоре между заготовкой и полюсным наконечником. Оно выстраивает мостики частиц ферромагнитного порошка между указанными элементами. На магнитное поле, в свою очередь, налагают электрическое поле путем приложения напряжения к заготовке и полюсному наконечнику. Восстановительное покрытие получается за счет нагрева частиц порошка в зазоре, их оплавления и закрепления на восстанавливаемой поверхности.

Процесс разработан и совершенствуется в Беларуси. В настоящее время плодотворные исследования ведет научная школа БАТУ (Минск) под руководством проф. Л.М. Кожуро.

Способ позволяет совмещать во времени процессы нанесения покрытия и поверхностного пластического деформирования. Совмещение обеспечивает получение сжимающих внутренних напряжений в наплавленном слое (усталостная прочность увеличивается в 1,2... 1,4 раза), повышение его износостойкости в 1,8...2,7 раза.

Область применения процесса – восстановление и упрочнение деталей с износом до 0,6 мм в мелко- и среднесерийном производствах с одновременным их поверхностным пластическим деформированием.

Лазерная наплавка. Лазерная наплавка использует в качестве источника тепла концентрированный луч лазера.

С помощью лазеров выполняют наплавку, оплавление напыленных поверхностей, поверхностное легирование, поверхностную закалку и аморфизацию материала. Лазерный нагрев позволяет также устранять повреждения в виде трещин в высоконагруженных деталях с нерегулярным режимом нагружения, соединять детали в труднодоступных местах и керамические изделия. После лазерной обработки деталей с трещинами на режимах,

обеспечивающих их частичное оплавление с последующей нормализацией детали, долговечность деталей на 30 % выше по сравнению с деталями, имеющими начальные трещины.

Исключительная локальность воздействия луча за счет высокой плотности энергии определяет область применения лазерной наплавки. Она применяется при восстановлении ответственных деталей (гладких валов и деталей со сложным профилем) с местным износом. Способ наиболее эффективен при восстановлении поверхностей площадью 5...50 мм и значением износа 0,1...1,0 мм, при этом расход порошков невелик, глубина термического влияния обычно не превышает 0,5...0,6 мм, а деформации детали отсутствуют. С помощью лазерной наплавки восстанавливают, например, кулачки распределительных валов, поверхности ротора турбокомпрессора, оси фильтров тонкой очистки масла, фаски клапанов.

В качестве оборудования чаще применяют установки ЛГН-702, УЛГН-502 и ЛОК-3М.

При лазерной наплавке реализуют следующие преимущества этого вида нагрева:

- большую скорость выполнения операции;
- широкие технологические возможности;
- высокое качество поверхности после обработки;
- возможность местной обработки;
- легкость автоматизации;
- обработку внутренних поверхностей больших и малых диаметров с помощью несложных оптических устройств.

Лазерная наплавка заключается в получении покрытий путем принудительной подачи порошка или проволоки непосредственно в зону лазерного излучения. Частицы порошка начинают нагреваться в лазерном луче и расплавляются в поверхностном слое. Этот вид наплавки определяется следующими параметрами (интервалы рациональных значений приведены в скобках):

- мощностью лазерного излучения (1...3 кВт);
- скоростью перемещения восстанавливаемой поверхности под облучением (16,7...33,3 мм/с);
- диаметром пятна нагрева, определяемым условиями фокусировки излучения (10...15 мм);
- массовым расходом порошка, подаваемым в зону обработки (2,1...3,2 кг/ч);
- углом ввода порошка (30...35°).

Увеличение мощности лазера приводит к увеличению количества расплавляемого порошка, вследствие чего возрастают ширина и высота наплавленных валиков.

Повышение скорости обработки приводит к существенному уменьшению геометрических размеров наплавленных валиков. Это связано с тем, что с увеличением скорости обработки при постоянной мощности уменьшается удельная погонная энергия, а также массовый расход порошка.

Влияние степени фокусировки на геометрические параметры наплавленных валиков неоднозначно. С уменьшением степени фокусировки при постоянной мощности снижается плотность мощности излучения, что приводит к уменьшению количества расплавленного порошка и высоты расплавленного валика. Ширина же валика первоначально возрастает за счет увеличения размеров пятна излучения, а затем уменьшается.

Важным параметром является направление подачи порошка относительно движения детали при лазерной наплавке. Подача порошка в направлении движущейся детали обеспечивает хорошее формирование наплавленных валиков. Процесс формирования при такой схеме стабилен: колебания высоты и ширины валика незначительны (10...15 %). При подаче порошка навстречу движущейся поверхности детали газопорошковая струя отесняет жидкий металл от закристаллизовавшейся части, вследствие чего он несколько растекается по поверхности, увеличивая площадь ванны плавления. При этом растет количество частиц порошка, попадающих в расплав, и немного увеличиваются размеры валиков по сравнению со случаем подачи порошка вслед движущейся детали. Однако геометрические размеры отличаются нестабильностью, разброс высоты и ширины валика достигает 50...60 %.

Один из видов лазерной наплавки – это оплавление шликерных покрытий. Наплавка шликерных обмазок целесообразна при восстановлении плоских поверхностей или локально изношенных участков деталей в труднодоступных местах. Наносимый материал готовят в виде коллоидной смеси порошка в растворе целлюлозы. В этом случае наплавочный материал используется полностью. Для получения качественных покрытий хорошего качества для лазера 1 кВт толщина обмазки не должна превышать 1 мм, а для лазера мощностью 2,5 кВт быть не более 2 мм. Коэффициент перекрытия при этом должен составлять не менее половины диаметра рабочего пятна.

Твердость покрытий из самофлюсующихся порошков составляет 35...60 HRC для подложки из стали и 45...60 HRC для подложки из чугуна. Толщина нанесенного слоя достигает 40...50 мкм. Прочность соединения покрытия с материалом подложки более 250 МПа.

Электронно-лучевая наплавка. Сущность электронно-лучевой наплавки заключается в нагреве материала и поверхности детали потоком электронов. Способ обеспечивают высококонцентрированные вложения энергии в нагреваемую поверхность.

Малый объем обрабатываемого металла и кратковременность теплового воздействия гарантируют незначительные термические деформации со-

единяемых деталей. Толщина покрытий составляет от нескольких десятых миллиметра до 1,0...1,5 мм на сторону.

Электронно-лучевая наплавка обладает широкими технологическими возможностями, применение промышленных ускорителей электронов с энергией 1,5 МэВ и более и мощностью 50 кВт позволяет осуществлять наплавку углеродистых, легированных и жаропрочных сталей, серого чугуна и меди. Применяют наплавочные материалы в виде порошков никеля и железа: ПР-Н80Х13С2Р; ПР-Н67Х18С5Р4; ПР-Н73Х16С3Р3; ПР-Н70Х17С4Р4; ПР-10Р6М5; ПГ-10Н-04; ФБХ-6-2. Толщина насыпного слоя изменяется от 1 до 5 мм, ширина слоя – 8...40 мм, мощность электронного пучка 1,5...15 кВт, скорость наплавки 8...110 мм/с.

Покрытия, полученные электронно-лучевой наплавкой, содержат небольшое количество кислорода и азота: $(4...19) \cdot 10^{-3}$ и $(1...7) \cdot 10^{-3}$ % соответственно. Столь низкое содержание газов в металле, наплавленном без защиты, объясняется возникающим в зоне облучения порошка потоком из активированных газов, паров металла и ультрадисперсных частиц. Этот поток препятствует контакту расплавленного металла с воздухом. Наличие такой защиты обеспечивает отсутствие пор в покрытии.

Электронно-лучевая наплавка обеспечивает высокую производительность и широкие технологические возможности. Например, по сравнению с индукционной наплавкой производительность наплавки пучком электронов выше в 10...15 раз. Данный способ практически применим для наплавки любых материалов, позволяет точно дозировать энергию, вводимую в металл, изменяя тем самым глубину проплавления основного металла, структуру основного и наплавленного металла.

Для электронно-лучевой наплавки чаще применяют установки ЭЛУ-4 и А.306.05.

Наплавка намораживанием. Сущность наплавки намораживанием заключается в последовательном затвердевании сплава на очищенной от оксидной пленки поверхности заготовки, погруженной в расплав.

Заготовку после кратковременной выдержки извлекают из расплава с образовавшимся на ее поверхности слоем наплавленного металла.

Совершенствование процесса ведет научная школа БАТУ (Минск) под руководством проф. Г.Ф. Бетеня.

Основные операции наплавки намораживанием из расплава – подготовка присадочного материала и восстанавливаемой поверхности, погружение заготовки в расплав, выдержка, извлечение из расплава и охлаждение.

Присадочный материал (сплав Сормайт №1, смеси КБХ и ФБХ-6-2, псевдосплавы ПС-14-60, ПС-14-80 и др.) нагревают в индукционных печах до температуры, превосходящей на 30...50 °С температуру его плавления. Применяют тигли из графита или огнеупорного материала на основе нитридов бора и кремния. Выгоранию легирующих элементов препятствует

слоем расплавленного флюса АН-348А на поверхности присадочного материала.

Невосстанавливаемые поверхности заготовки, соприкасающиеся с расплавом, защищают нанесением на них тонкого слоя меловой обмазки. На восстанавливаемые поверхности последовательно наносят слои водного раствора жидкого стекла и порошкообразного флюса, состоящего на 4 % (по массе) из буры и 60 % борного ангидрида. Заготовку помещают в высокочастотный индуктор для активации наплавляемой поверхности при температуре 850...900 °С. Процесс активации протекает в течение 10...12 с, при этом флюс плавится, очищает поверхность от оксидов и защищает ее от последующего окисления.

Нагретую заготовку погружают в расплав. Детали выдерживают в расплаве в течение 0,8...1,2 с. За это время на поверхности заготовки затвердевает слой сплава толщиной 2,5...3,0 мм. Затем деталь охлаждают на воздухе.

На качество и толщину наплавленного металла влияют температура заготовки и расплава и продолжительность их контактирования.

Наплавка намораживанием обеспечивает повышение износостойкости восстанавливаемых элементов за счет придания их материалу необходимой текстуры. Износостойкость текстурированных поликристаллических материалов анизотропная. Наибольшая износостойкость наблюдается при трении перпендикулярно к главным осям карбидной фазы. Последнее обеспечивается направленным отводом тепла при кристаллизации материала.

Наличие в наплавочных материалах хрома и углерода способствует образованию карбидов хрома, микротвердость которых в 1,3...1,5 раза выше микротвердости кварца ($\alpha\text{-SiO}_2$). Такие структурные составляющие в наплавленном покрытии и их текстурная направленность снижают интенсивность абразивного изнашивания.

Разновидностью способа является нанесение покрытия погружением разогретой детали в порошковую шихту. Температура нагрева детали в этом случае превышает температуру плавления металлической шихты. Частицы шихты в процессе контакта с деталью расплавляются, а образовавшийся расплав под действием молекулярных сил удерживается на поверхности детали и кристаллизуется на ней, образуя покрытие. Применение процесса уменьшает время пребывания наносимого материала в расплавленном состоянии, что позволяет сохранить его наследственные свойства. Толщину покрытия регулируют температурой нагрева детали.

4. ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ НАПЫЛЕНИЕМ

4.1. Классификация способов напыления

Напыление (ГОСТ 28076–89) – это способ получения покрытий из нагретых и распыленных частиц, получаемых в результате газотермического диспергирования исходного напыляемого материала покрытия с использованием транспортирующей среды, при соударении которых с основой или подслоем ранее напыленного материала происходит их соединение посредством сварки, химического или механического сцепления. Газотермическое диспергирование производится непосредственно в процессе напыления.

Газотермическое напыление представляет собой совокупность самостоятельно проводимых технологических способов, функциональная задача которых заключается в образовании требуемого технологического покрытия как средства упрочнения обрабатываемой поверхности конструкционного материала, т.е. производстве упрочняющего покрытия, которое позволяет повышать сопротивляемость основы защищаемого конструкционного материала разрушению определенного вида. Упрочнение в таком случае носит целенаправленный характер, при котором становится целесообразным использование достижений высоких технологий. Прагматика газотермического упрочнения определяет функциональную номинацию таких покрытий.

Упрочняющее назначение газотермических покрытий имеет многоцелевой характер. Особенностью таких покрытий является не только их видовое многообразие, но и результат совокупного взаимодействия трех основных физических факторов газотермического напыления:

1. Вещества напыляемого материала.
2. Энергетического способа газотермического диспергирования напыляемого материала.
3. Восприимчивости основы к сцеплению с диспергированными частицами напыляемого материала при определенном состоянии их агрегатно-фазовых превращений.

В зависимости от характера сочетаний этих трех факторов и функционального назначения все газотермические покрытия имеют следующую видовую (эксплуатационную) классификацию (ГОСТ 28076–89):

- антиадгезионное – износостойкое газотермическое покрытие, снижающее склонность контактирующих поверхностей к адгезионному взаимодействию или схватыванию;
- антифрикционное – износостойкое газотермическое покрытие, понижающее коэффициент трения в рабочей паре трения;

- жаростойкое – коррозионностойкое газотермическое покрытие, повышающее сопротивление поверхности разрушению при высоких температурах;
- защитное – газотермическое покрытие, защищающее поверхность от внешних воздействий;
- износостойкое – газотермическое покрытие, повышающее сопротивление поверхности различным видам изнашивания;
- корковое — газотермическое покрытие, сформированное на основе в целях копирования ее формы или снимаемое с поверхности для использования в самостоятельных целях;
- коррозионностойкое – защитное газотермическое покрытие, повышающее сопротивление основы коррозионному разрушению;
- теплозащитное – терморегулирующее газотермическое покрытие, снижающее воздействие тепловых потоков на защищаемую поверхность;
- терморегулирующее – газотермическое покрытие, обеспечивающее регулирование поглощения или излучения поверхностью тепловых потоков;
- термостойкое – газотермическое покрытие, обладающее необходимой работоспособностью в условиях многократных изменений температуры;
- уплотнительное – газотермическое покрытие, обеспечивающее необходимую стабильность зазоров в соединенных элементах конструкции изделия;
- фрикционное – износостойкое газотермическое покрытие, повышающее коэффициент трения;
- эрозионностойкое – газотермическое покрытие, уменьшающее результативность воздействия высокоскоростных (турбулентных) потоков на защищаемую поверхность.

В основу классификации способов газотермического напыления (ГОСТ 28076–89) положены те (функциональные) признаки, которые имеют преимущественное значение в организации технологии газотермического упрочнения поверхности защищаемого конструкционного материала:

1) по виду энергии газотермического диспергирования вещества напыляемого материала – газоэлектрические, газопламенные и газодинамические способы газотермического напыления;

2) по виду источника тепловой энергии, необходимой для обеспечения процессов газотермического напыления. Этот признак является доминирующим при выборе определенного технологического способа газотермического напыления, поскольку включает в себе особенности физико-химических процессов, связанных с диспергированием вещества напыляемого материала в зависимости от термодинамических характеристик энергетического источника газотермического напыления;

- газопламенное напыление – способ газотермического напыления, при котором используется струя продуктов сгорания смеси газов, сжигаемых посредством горелки;

- детонационное напыление – способ газотермического напыления, при котором используется струя продуктов сгорания в режиме детонации;
- плазменное напыление – способ газотермического напыления, при котором используется плазменная струя;
- высокочастотное плазменное (ВЧ-плазменное) напыление – разновидность плазменного напыления с использованием токов высокой частоты и плазменной струи;
- тигельное напыление – способ газотермического напыления, при котором используется напыляемый материал в виде расплава распыляемого нагретой газовой струей сжатого воздуха;
- электродуговое напыление – способ газотермического напыления, при котором нагревание металла в виде проволоки, прутка или ленты производится электрической дугой, а диспергирование его расплава – напорной струей сжатого газа (воздуха);
- газодинамическое напыление – способ газотермического напыления, при котором нагревание напыляемого порошка производится под действием электрического тока, а транспортирование порошка в пластическом состоянии осуществляется высоконапорной струей воздуха;

3) по виду компактного состояния исходного напыляемого материала – этот признак является определяющим при организации подачи напыляемого материала в рабочую зону газотермического диспергирования;

4) по виду защиты рабочей зоны газотермического напыления – газотермическое напыление без защиты, с местной или общей защитой в герметичной камере. Газотермическое напыление без защиты проводится в условиях нормального (атмосферного) давления. Это ограничивает энергетические возможности газотермического напыления и использование оптимальных размеров диспергируемых частиц: от 10 до 200 мкм. При меньших размерах частиц напыляемого материала их кинетическая энергия как характеристика в части количества ударного импульса может оказаться недостаточной для требуемого механического взаимодействия с основной напыляемой поверхностью, а при воздействии на такие частицы высоких температур возможно их перегревание и образование продуктов термического разложения, что не будет соответствовать необходимым условиям достаточного сцепления с основой. При величине напыляемой частицы более 200 мкм возможно ухудшение условий адгезии и качества напыляемого покрытия из-за недостаточного прогрева материала напыляемой частицы и неполной завершенности ее агрегатно-фазовых превращений. При общей защите рабочей зоны газотермического напыления технологический процесс проводится в условиях полностью контролируемой атмосферы, когда в объеме рабочей камеры поддерживаются заданный химический состав, температура и давление газовой среды. При этом давление в камере может быть нормальным, повышенным или пониженным.

Газотермическое напыление в контролируемой атмосфере, где непрерывно поддерживается заданное разряжение, называется газотермическим напылением в динамическом вакууме. В таких условиях проведения газотермического напыления возможно диспергирование напыляемых частиц размером менее 10 мкм, поскольку энтропия газовой среды динамического вакуума позволяет выполнять газотермическое диспергирование на атомарном уровне;

5) по характеру периодичности распыления газотермического потока – газотермическое напыление непрерывного, циклического или импульсного режима напыления. Периодичность распыления газотермического потока может быть обоснована не только особенностями геометрии или размерами обрабатываемой поверхности, но и спецификой термодинамического состояния газотермического потока;

б) по степени механизации и автоматизации технологических операций газотермического напыления – газотермическое напыление ручным (когда механизирована только операция доставки технологических материалов в зону газотермического диспергирования); при этом все рабочие параметры процесса газотермического напыления контролируются оператором и управляются им вручную. Механизированное газотермическое напыление устраняет участие оператора в ориентированном перемещении распылителя относительно обрабатываемой поверхности, оставляя за ним только право контроля и регулирования технологических параметров: расхода технологических материалов, температуры и скорости газо-дисперсного потока напыляемых частиц, температуры основы и т.д.

В соответствии с теплофизической природой процессов газотермического диспергирования исходного напыляемого материала и выполнением условий надежного сцепления диспергируемых частиц с основой все технологические газотермические покрытия, однозначно соответствующие способу газотермического напыления, подразделяются на:

- газопламенные – газотермические покрытия, получаемые газопламенным напылением;
- плазменные – газотермические покрытия, получаемые плазменным напылением;
- электродуговые – газотермические покрытия, получаемые электродуговым напылением;
- детонационные – газотермические покрытия, получаемые детонационным напылением;
- газодинамические – газодинамические покрытия, получаемые газодинамическим напылением;
- тигельные – газодинамические покрытия, получаемые тигельным напылением.

4.2. Технологический процесс напыления

Технологический процесс напыления материала в общем виде включает такие операции:

- предварительную обработку наносимого материала;
- предварительную механическую обработку восстанавливаемой поверхности;
- подготовку восстанавливаемой поверхности (нарезание «рваной» резьбы, дробеструйная обработка, обезжиривание);
- изоляцию поверхностей, не подлежащих напылению (установка заглушек в масляные каналы детали, выходящие в зону напыляемых поверхностей, установка экранов, нанесение лака);
- нагрев детали;
- нанесение подслоя;
- нанесение основного покрытия;
- оплавление покрытия;
- выдержку деталей в термосе;
- снятие экранов и заглушек, очистку детали.

Операции предварительной подготовки наносимого материала необходимы для достижения требуемой прочности соединения покрытия с восстанавливаемой поверхностью. Предварительная механическая обработка восстанавливаемых поверхностей необходима для придания правильной геометрической формы восстанавливаемым элементам и обеспечения равномерной толщины будущих покрытий. Следует учитывать, что напыленные покрытия работоспособны при минимальной толщине $\sim 0,3$ мм, что также обеспечивается указанной обработкой. Предварительная обработка заключается в точении, растачивании, подрезке или обдирочном шлифовании.

Прочность соединения покрытия с основой является одной из эксплуатационных характеристик. Ее увеличивают путем:

- создания неровностей и шероховатостей поверхности дробеструйной обработкой и наклепа поверхности, что придает ей большую химическую активность;
- очистки поверхности от загрязнений, оксидных и жировых пленок, достигаемой механическими и химическими способами (обезжиривание, травление, ультразвуковая очистка в моющих растворах);
- нанесения промежуточного слоя (подслоя) любым способом;
- предварительного подогрева поверхности до температуры $\sim 150...250$ °С.

Способы подготовки восстанавливаемой поверхности под напыление в зависимости от вида используемой энергии делятся на механические, химические и термические.

Механические способы подготовки поверхности включают обработку струей газа (обдув) или жидкости либо твердым материалом. В качестве инструмента при обработке твердыми материалами используют резцы, щетки, зерна абразивного материала. Основными видами подготовки поверхности под напыление являются нарезание рваной резьбы, канавок и дробеструйная обработка.

Основными задачами подготовки поверхности перед напылением являются удаление следов износа, придание ей правильной геометрической формы и увеличение ее площади, что в последующем благоприятно сказывается на работоспособности и сцепляемости напыленных покрытий.

При нарезании рваной резьбы (рис. 4.1) на цилиндрической поверхности резец имеет угол при вершине $55...60^\circ$, радиус закругления при вершине $0,1...0,2$ мм, угол резания 80° , вылет резца из резцедержателя $100...150$ мм. Режимы нарезания рваной резьбы приведены в табл. 4.1. Нарезание такой резьбы целесообразно и на внутренних поверхностях.

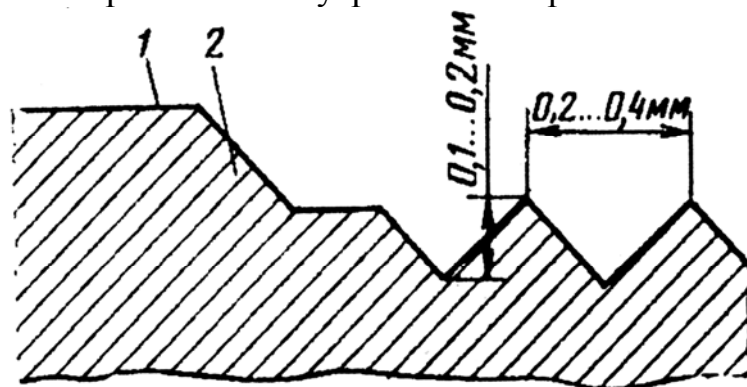


Рис. 4.1. Подготовка поверхности способом нарезания рваной резьбы:
1 – удаление усталостного (изношенного) слоя;
2 – подготовка поверхности сцепления

На конических поверхностях нарезают кольцевые канавки. Применяют отрезные резцы с шириной режущей кромки $1,2...1,4$ мм. Режущую кромку закругляют по радиусу $0,2...0,5$ мм. Шаг канавок при обработке составляет $1,6...2,0$ мм, их глубина $0,7...0,8$ мм.

На плоских поверхностях деталей нарезают канавки по спирали Архимеда на токарных или карусельных станках. Параллельные канавки выполняют на строгальных станках.

Канавки должны быть расположены перпендикулярно к направлению нагрузки. В последующем вершины канавок прикатывают, а в заключение подвергают дробеструйной обработке.

Для поверхностей с твердостью более $35 HRC$ применяют механическую обработку без снятия стружки – путем косой сетчатой накатки на гладких наружных цилиндрических поверхностях. Накатка увеличивает прочность соединения покрытия с деталью и почти не изменяет усталостную прочность детали. На обрабатываемую поверхность воздействуют два

ролика, расположенных в одной плоскости с двух сторон детали. На роликах фрезеруют треугольные зубья с закругленными вершинами и впадинами, расположенными под углом 30° к оси ролика и направленными у одного ролика вправо, у другого – влево. Материал роликов – У10А.

Т а б л и ц а 4 . 1

Режимы нарезания рваной резьбы перед напылением

Диаметр детали, мм	Смещение резца выше линии центров, мм	Частота вращения детали, мин ⁻¹
10	1	300
15	1,5	210
20	2	150
25	2,5	135
30	2,5	100
35	3	95
40	3	75
45	3	70
50	3,5	60
75	4	45
100	4,5	30
150	5	20
200	6	15
250	7,5	13
300	9	10
350	11	
400	13	7
450	15	6
500	16	5

Упрочненные твердые поверхности перед напылением проходят струйно-абразивную обработку зернами электрокорунда. Поверхности чугунных или стальных деталей подвергают дробеструйной обработке стальной или чугунной колотой дробью (соответственно ДЧК или ДСК).

Режим обработки поверхности электрокорундом следующий: размер зерен 500...800 мкм; давление очищенного от влаги и масла сжатого воздуха 0,55...0,65 МПа; его расход 3,0...3,5 м³/мин; расстояние от среза сопла до поверхности детали 60...90 мм; угол наклона струи с абразивным материалом к поверхности детали 70...90°. Приведенный режим обеспечивает удельную мощность потока 60...150 кВт/м. В качестве абразивного материала применяют также стружку, отходы проволоки, карбид кремния зеленый, кварцевый песок, дробленый гранит, косточки фруктовых деревьев (слива, алыча, персик, абрикос) и др.

Для упрочненных поверхностей, для которых трудно применить механическую обработку, используют электроискровую обработку. Режим обработки: напряжение 30 В, сила тока 180...200 А, окружная скорость дета-

ли 8...18 м/мин. Рабочие жидкости – мыльные растворы, водные растворы буры, суспензии каолина и др.

Химические способы подготовки поверхности в зависимости от вида используемых веществ разделяют на кислотные, щелочные и солевые.

Химическое травление (табл. 4.2) основано на различной скорости растворения кристаллов и межкристаллитных включений. Перерыв между травлением и нанесением покрытий не должен превышать 3 ч.

Т а б л и ц а 4 . 2

Растворы для химического травления поверхности перед напылением

Материал основы	Состав для травления	Продолжительность
Магний с добавками 7 % Zr и 2 % Th	2%-й NH_4NO_3	8 ч
Медь	20%-я H_2SO_4 +10%-я HNO_3 (1:3)	70 ч
Нержавеющая сталь	40%-я HNO_3 +20%-я HCl	10 мин
Холоднокатаная сталь	7%-ная HNO_3	25 мин
Чугун	15%-ная HNO_3	16 мин

При термических способах подготовки поверхности под напыление используют в качестве рабочей среды нагретый газ (неподвижный или движущийся), ионизированный газ (ионы, электроны) и излучения (инфракрасное, ультрафиолетовое или лазерное).

Чугунные детали перед напылением нагревают до температуры 250 °С в нагревательной печи для полного удаления масла из пор.

Способы подготовки поверхностей деталей под нанесение покрытий напылением и их влияние на предел выносливости, эффективный коэффициент концентрации напряжений и прочность соединения показаны в табл. 4.3.

Поверхности, на которые нет необходимости наносить покрытие, защищают металлическими щитками, асбестовыми листами или слоем недорогого лака. В масляные каналы забивают латунные или асбестовые пробки.

Нагрев поверхности детали перед напылением бывает необходим для ее активации с целью повышения прочности соединения покрытия с подложкой, однако в некоторых случаях это приводит к образованию пленки оксидов на этой поверхности и к снижению прочности соединения покрытия с основой.

Перед нанесением основного слоя иногда наносят подслои из тугоплавкого или терморезирующего материала. В первом случае частицы материала (например, молибдена), обладая большим запасом тепла, подплавляют поверхность детали и привариваются к ней, во втором – частицы материала (например, Al-Ni) вступают между собой в химическое взаимодействие по принципу термитной сварки с выделением тепла и образованием между собой и с поверхностью детали прочной металлической связи.

Таблица 4.3

**Влияние способов подготовки поверхностей под напыление
на эксплуатационные свойства деталей**

Способ подготовки	Предел вы- носливости, МПа	Эффективный ко- эффициент концен- трации напряжений	Прочность со- единения по- крытия с осно- вой, МПа
Обработка дробью	324	0,78	104
Накатка (прямая, косая, перекре- стная)	306	0,82	100
Обдувка песком	278	0,91	34,5
Шлифование	252	1,00	-
Нанесение треугольной накатки с последующей обработкой дро- бью	245	1,02	190
Электроискровая обработка на переменном токе	194	1,29	110
Нанесение нарезок:			
• круглой без прикатки вершин	194	1,29	1,67
• круглой с прикаткой вершин	188	1,33	144
• треугольной без прикатки вершин	188	1,33	188
• треугольной с прикаткой вер- шин	170	1,48	156
Электродуговая обработка	170	1,48	25
Нарезание кольцевых канавок без прикатки вершин	165	1,52	140
То же с прикаткой вершин	150	1,64	113

Качество покрытия, получаемого при напылении, во многом определяется процессом транспортирования диспергированных частиц материала. Энтальпия этих частиц изменяется из-за теплообмена с окружающей средой. Изменяется также их кинетическая энергия, причем частицы, движущиеся в периферийной части металловоздушной струи, интенсивно передают тепло и энергию практически неподвижной окружающей среде. Скорость их и энтальпия падают. В результате покрытие, сформированное из периферийных частиц, имеет низкие механические свойства и большую пористость. Поэтому слабо закрепленные частицы срываются с покрытия вращающимися металлическими щетками.

Нанесение покрытия может быть без оплавления, с одновременным оплавлением, с последующим оплавлением.

Крупные ответственные детали (корпуса, валы) после нанесения покрытия подвергаются термической обработке при температуре 150...200 °С в течение 1,0...1,5 ч, для снятия внутренних напряжений в покрытии и в зоне его соединения с деталью.

4.3. Электродуговое напыление (металлизация)

Как технологический способ электродуговое напыление позволяет использовать основные технологические достоинства газотермического напыления, присущие прогрессивному промышленному производству, – переналаживаемое и мобильное производственное оборудование, высокую производительность и культуру организации технологического процесса.

При электродуговом напылении (рис. 4.2 и 4.3) источником энергии теплового диспергирования является мощный дуговой разряд промышленного тока, и под воздействием выделяющейся теплоты горения электрической дуги происходит нагревание и расплавление вещества напыляемого материала, исходное состояние которого – проволока, подающаяся в зону горения электрической дуги синхронно интенсивности расплавления. Капли расплавленного металла распыляются на частицы размером 10...100 мкм. Сразу после распыления частицы выходят за пределы высокотемпературной зоны электрической дуги и транспортируются в струе газа, температура которого резко падает по мере удаления от дуги. Скорость движения частиц составляет 50...180 м/с и в нагретом состоянии они ударяются о восстанавливаемую поверхность или о закрепившиеся частицы. Расстояние от распыляемого узла до наплавляемой поверхности изменяется в пределах 60...150 мм. В качестве распыляющего и транспортирующего газа используют воздух, азот или аргон под давлением 0,5...0,7 МПа.

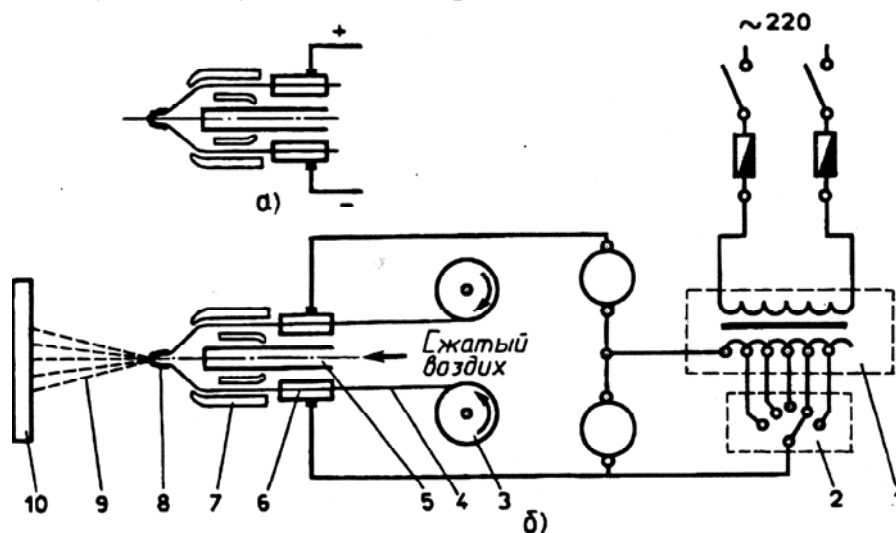


Рис. 4.2. Схема процесса электродугового напыления металла: а) на постоянном токе; б) на переменном токе; 1 – понижающий трансформатор; 2 – переключатель напряжения; 3 – катушка с проволокой; 4 – распыляемая проволока; 5 – сопло для сжатого воздуха; 6 – контактные трубки; 7 – направляющее устройство для проволок; 8 – электрическая дуга; 9 – факел распыляемого металла; 10 – напыляемое изделие

Частицы, имея достаточный запас тепловой и кинетической энергии, деформируются сами и деформируют покрытие, внедряются в поры и не-

ровности и формируют покрытие. Максимальная толщина покрытия – 1,0...1,5 мм для тугоплавких и 2,5...3,0 мм – для легкоплавких металлов.

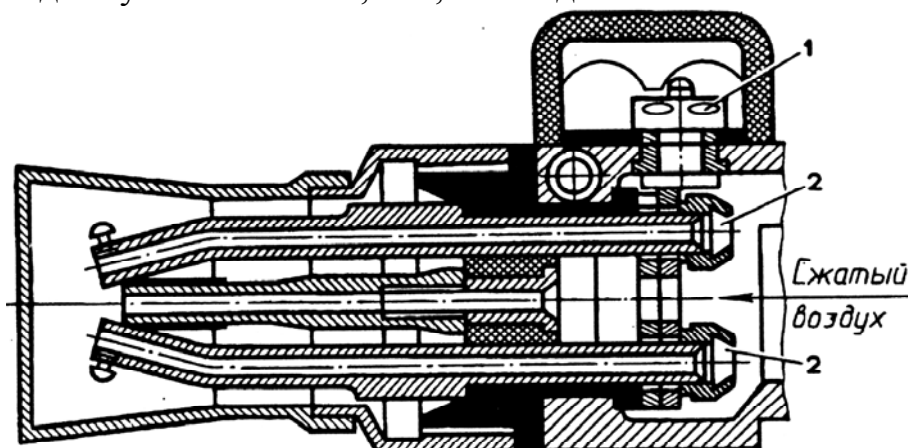


Рис. 4.3. Принципиальная схема электродугового металлатора для напыления покрытий из проволоки:
1 – токоподвод; 2 – направляющие для напыляемой проволоки

Диаметр распрыляемых проволок – 1,0...3,5 мм, а угол между ними – 120°. При увеличении диаметра проволоки увеличивается турбулентность газовой струи. Коэффициент турбулизации

$$\alpha = 1,024 \frac{d_{\text{п}}}{d_{\text{с}}} - \alpha_1, \quad (4.1)$$

где $d_{\text{п}}$ – диаметр проволоки, мм;

$d_{\text{с}}$ – диаметр воздушного сопла, мм;

α_1 – коэффициент турбулизации при свободном истечении струи в сопле.

Средний диаметр частиц металла $d_{\text{ч}}$ (мм) может быть ориентировочно определен из выражения

$$d_{\text{ч}} = k_1 k_2 \sqrt[3]{q_{\text{н}} / \gamma \mu}, \quad (4.2)$$

где k_1 – коэффициент, зависящий от вида распрыляемого материала (для стали он равен 1,61, для алюминия – 1,45, для цинка – 1,64, для олова 0,85);

k_2 – коэффициент, зависящий от диаметра сопла, для цилиндрических сопел $k_2 = 1,87 d_{\text{с}} + 0,29$;

$q_{\text{н}}$ – производительность напыления, кг/ч;

γ – плотность распрыляемого металла, г/см³;

μ – коэффициент, учитывающий непрерывность горения дуги, его максимальное значение равно 1.

Поток летящих частиц должен составлять угол с восстанавливаемой поверхностью, близкий к 90 градусам, допустимое отклонение – 30 градусов при напылении алюминиевых и медных сплавов, и 40 градусам – при

напылении стальных сплавов. Скорость перемещения пятна напыления относительно детали – 30...50 м/мин.

При использовании в качестве электродов проволок из двух различных металлов можно получить покрытие из их сплава. При напылении покрытия распылением двух плавящихся электродов из разнородных напыляемых материалов желательно использовать такое оборудование, которое позволяет выполнять индивидуальную настройку скорости подачи каждого электрода.

Недостатком способа электродугового напыления является перегрев и окисление вещества напыляемого материала. Кроме того, большое количество теплоты, выделяющейся при горении электрической дуги, приводит к значительному выгоранию легирующих элементов, входящих в напыляемый сплав (например, содержание углерода в материале покрытия снижается на 40–60 %, а кремния и марганца – на 10–15 %). Это необходимо иметь в виду и применять для напыления проволоку, содержащую повышенное количество легирующих элементов.

Электродуговое напыление характеризуется надежной устойчивостью при соблюдении оптимального режима напыления, но при неизменной мощности источника дугового разряда увеличение скорости подачи проволоки как компактного исходного напыляемого материала нарушает стабильность горения дуги, возникают токи короткого замыкания, качество покрытия снижается. При работе на переменном токе целесообразно использовать проволоку большего диаметра (2,5 мм), и вести процесс на пониженной скорости подачи напыляемого материала.

Преимуществами электродугового напыления являются высокая производительность процесса и возможность значительного сокращения затрат времени на напыление.

Применяют ручное и механизированное напыление. В первом случае технологические перемещения аппарата осуществляют вручную. Механизированные установки имеют устройство для перемещения распылителей относительно напыляемой поверхности. В практике напыления используют металлаторы мощностью 5...20 кВт, потребляющие ток силой 80...600 А при напряжении 18...36 В. Выпускают аппараты для электродугового напыления: стационарные (станочные) ЭМ-6, ЭМ-12, ЭМ-15 и МЭС-1 и переносные (ручные) ЭМ-3, РЭМ-3А, ЭМ-9, ЭМ-10, ЭМ-14. Краткие технические характеристики их приведены в табл. 4.4.

Разновидностью электродугового напыления является активированное электродуговое напыление.

Сущность активированного электродугового напыления состоит в распылении металла и его защите от воздействия воздуха продуктами сгорания углеводородного топлива. Эта технология позволяет получать слои с прочностью сцепления до 55 МПа и плотностью до 95 %, что расширило диапазон восстанавливаемых деталей.

Таблица 4.4

Характеристика металлаторов

Показатель	Аппараты		
	ЭМ-12	ЭМ-14	ЭМ-15
Тип	Стационарный	Ручной	Стационарный
Производительность распыления, кг/ч:			
• алюминия	14	12,5	25
• цинка	38	32	65
• стали	20	10	20
Диаметр распыляемой проволоки, мм	1,5...2,5	1,5...2,0	2,0...3,0
Скорость подачи проволоки, м/мин	3,8...14,2	2...12	1...14
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	2,5	1,5	2,5
Рабочий ток, А	500	400	800
Рабочее напряжение, В	17...35	17...44	17...35
Масса металлатора, кг	22,6	2,3	15

В качестве устройства для нанесения покрытий применяют активированный дуговой металлатор типа АДМ конструкции Института надежности машин НАН Беларуси. Работа этого металлатора основана на использовании восстановительных транспортирующих газов с особой схемой их подачи через профилированные сопла, применении камеры сгорания в системе подачи газов, особенностях взаимного расположения токопроводов и распыляющего сопла. Скорость газового потока при этом достигает 1500 м/с, а скорость частиц наносимого материала – 590 м/с. Угол раскрытия струи не превышает 10°. Пористость покрытия при этом снижается с 9...11 до 2...4 %. При равном соотношении воздуха и пропана в горючей смеси содержание углерода в покрытии уменьшается вдвое по сравнению с исходным материалом.

Скоростной напор потока газов, выражающий отношение кинетической энергии к единице объема газа и характеризующий силу, действующую на частицу в потоке, составляет для традиционного электродугового напыления 750 кН/(м²-с), а для активированного – 2340 кН/(м²-с), что обеспечивает большую скорость частиц наносимого материала и формирование покрытия с прочностью соединения вдвое выше, чем при традиционном напылении, что достаточно для работы покрытия в условиях ударно-абразивного изнашивания.

Используют проволочные материалы: Нп-65Г, Нп-40Х13, Св-08Г2С.

Повышение твердости покрытия является следствием химико-термических процессов (цементации) при напылении в этих веществах за счет диссоциации углеводородных соединений, абсорбции и диффузии углерода в покрытие.

4.4. Газопламенное напыление

Сущность *газопламенного напыления* заключается в нагреве напыляемых материалов газовым пламенем и транспортировании их на восстанавливаемую поверхность скоростным газовым потоком. Напыляемый материал подается в зону нагрева в виде порошка (рис. 4.4), прутка (проволоки) (рис. 4.5), а также в виде набивного шнура.

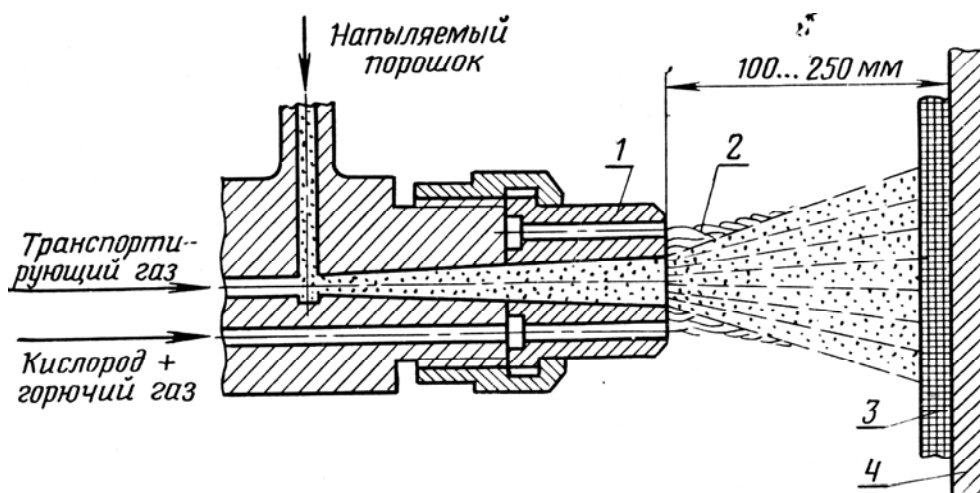


Рис. 4.4. Принципиальная схема газопламенного напыления порошка: 1 – сопло; 2 – газовое пламя; 3 – покрытие; 4 – напыляемая поверхность

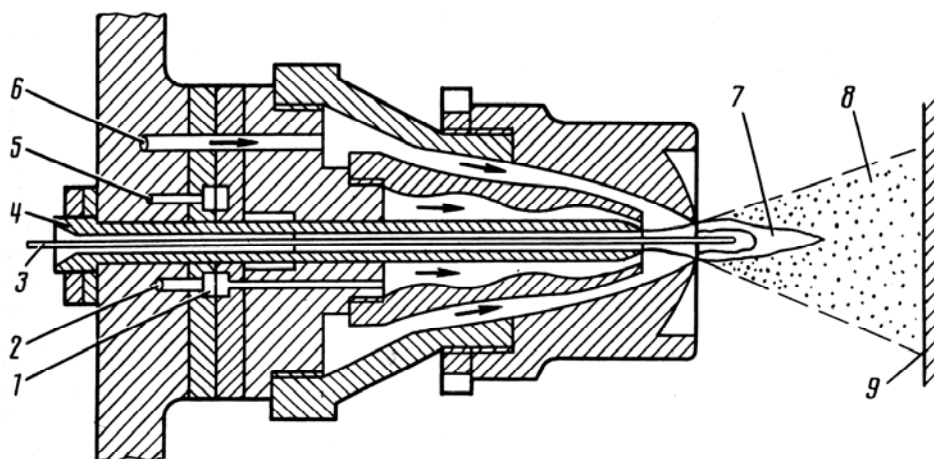


Рис. 4.5. Принципиальная схема газопламенного напыления проволокой: 1 – смешивательная камера; 2 – канал подачи кислорода; 3 – проволока; 4 – направляющая втулка; 5 – канал подачи ацетилена; 6 – канал подачи сжатого воздуха; 7 – ацетилено-кислородное пламя; 8 – газометаллическая струя; 9 – напыляемая поверхность

Тепло для нагрева материала получают путем сжигания ацетилена или пропан-бутана в кислороде, а переносится материал сжатым воздухом или продуктами сгорания углеводородного топлива. Распыленные металличе-

ские частицы, летящие со скоростью 120 м/с, попадают на подготовленную поверхность детали и формируют покрытие. Скорость газового потока – 150...160 м/с.

Порошок подают, как правило, вдоль оси факела в его внутреннюю часть под действием транспортирующего газа или собственного веса. Проволоки и шнуры подают в восстановительную часть пламени.

Для восстановления деталей применяют три вида газопламенного напыления: без оплавления, с последующим оплавлением, с одновременным оплавлением.

Первый вид напыления – без оплавления – служит для восстановления деталей, не испытывающих деформации, температуру менее 350 °С и знакопеременные нагрузки. Покрытия без оплавления наносят при восстановлении наружных и внутренних цилиндрических поверхностей подвижных и неподвижных соединений при невысоких требованиях к прочности соединения с основным материалом.

Оплавление покрытий выполняют газокислородным пламенем, в индукторе или другим источником тепла для покрытий толщиной 0,5...1,8 мм. Нанесенное покрытие оплавляют при восстановлении наружных и внутренних цилиндрических поверхностей подвижных и неподвижных соединений при повышенных требованиях к коррозионной стойкости и износостойкости. Газопламенным напылением восстанавливают широкую номенклатуру деталей – привалочные поверхности корпусных деталей, малогабаритные валы и оси, детали со сложной формой и профилем.

4.5. Плазменное напыление

Как технологический способ нанесения газотермического покрытия плазменное напыление выделяется возможностью использования плазменной струи, в потоке которой частицы напыляемого материала химически не разлагаются и не испаряются при высоких температурах (металлы и сплавы, оксиды, карбиды, нитриды).

Мощность плазмотрона при неизменном токе разряда зависит от его конструкции, межэлектродного пространства и от рода плазмообразующего газа (носителя частиц): аргона, азота, водорода, гелия и смесей этих газов (табл. 4.5).

Плазменное покрытие отличается от других технологических газотермических покрытий улучшенными эксплуатационными показателями, но сама возможность нанесения плазменного покрытия и его эксплуатационные качества реализуются только в условиях специализированного производства с высоким уровнем культуры прогрессивных технологий, находящихся в технологической цепочке плазменного напыления.

Таблица 4.5

Физико-химические характеристики плазмообразующих газов

Характеристика	Водород	Азот	Аргон	Гелий
Атомная или молекулярная масса	2,016	28,0016	39,94	4,0024
Плотность при 0°С и 760 мм рт. ст., кг/м ³	0,084	1,2505	1,783	0,1785
Вязкость при 20°С и 760 мм рт. ст., мкПа·с	88	170	221	196
Теплоемкость при 20°С и 760 мм рт. ст., Дж/(кг·°С)	10,80336	0,7925	0,39625	3,96567
Коэффициент теплопроводности при 0°С и 760 мм рт. ст., МДж/(ч·м·°С)	475,5	66,253	44,38	412,1
Потенциал ионизации, В:				
• однократный	13,5	14,5	15,7	24,5
• двукратный	-	29,4	27,5	54,1
Энтальпия плазмы, кДж/кг	242822	31541,5	14803,9	516198,7
Температура плазмы, °С	5000	7200	14 000	20 000
Напряжение дуги, В	62	60	40	47
Энергия, подводимая к дуге, кВт	120	65	48	50
Коэффициент использования энергии на нагрев газа, %	80	60	40	48
Коэффициент теплоотдачи от плазмы к частице материала, %	26	3	0,9	0,9

Исходными технологическими материалами плазменного напыления являются порошки тугоплавких металлов, оксидов, твердых сплавов, композиционных материалов, но получение требуемого покрытия, функциональные (эксплуатационные) характеристики которого отвечают физико-механическим возможностям напыляемых материалов, возможно только в случае соблюдения ряда технических условий, предъявляемых порошковым материалам и способу их доставки в зону плазменной струи: неизменность химического и гранулометрического состава, стабильность массовых соотношений транспортирующего газа и напыляемого порошка, подаваемых в зону плазменного напыления.

Источником энергии плазменного напыления является мощный дуговой разряд, при котором температура электрической дуги колеблется в диапазоне 5230...15700 °С. Электрическая дуга зажигается между вольфрамовым неплавящимся катодом и водоохлаждаемым медным анодом – соплом, через который непрерывно под давлением прокачивается плазмообразующий газ, выполняющий роль рабочей среды.

В промышленных плазменных горелках плазменную струю получают путем вдувания в электрическую дугу, возбужденную между электродами, плазмообразующего газа и его газодинамического обжатия в канале охлаждаемого сопла.

По специальному каналу в плазменную струю вдувается напыляемый порошковый материал, частицы которого, нагреваясь, одновременно приобретают высокую скорость. Схемы процессов плазменного напыления представлены на рис. 4.6 и 4.7.

Выбор конкретного напыляемого материала определяется эксплуатационными характеристиками защитного (упрочняемого) газотермического покрытия, а также значением дисперсности порошка как исходного технологического материала. Для плазменного газотермического покрытия необходимо использовать порошки тонкодисперсного гранулометрического состава.

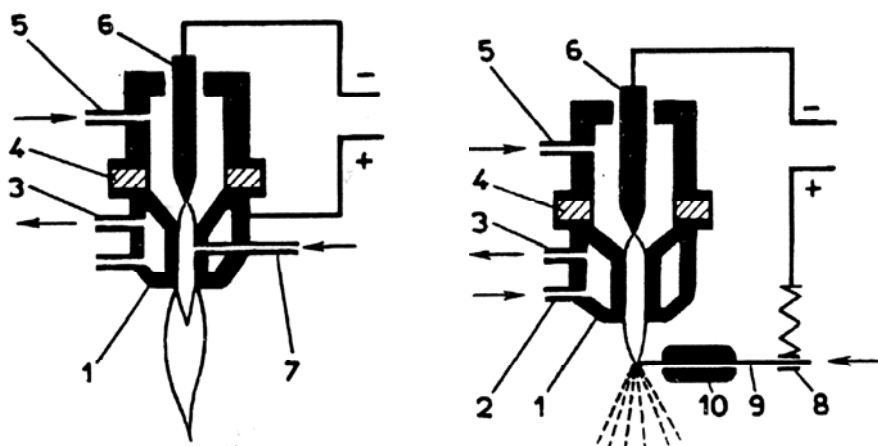


Рис. 4.6. Принципиальная схема плазменного напыления:
 а) для работы на порошках; б) для работы на проволоке;
 1 – сопло плазменной струи (анод); 2 и 3 – подвод и отвод охлаждающей воды;
 4 – изолирующее кольцо; 5 – подвод плазмообразующего газа;
 6 – вольфрамовый электрод (катод); 7 – подача напыляемого порошка;
 8 – контактное устройство для проволоки; 9 – напыляемая проволока (анод);
 10 – направляющая трубка для проволоки

Стабильность термодинамического состояния плазменного факела позволяет использовать для напыления газотермических покрытий с задаваемыми характеристиками поверхностного упрочнения композиционные порошковые материалы, подразделяющиеся на термореактивные и термонеutralные.

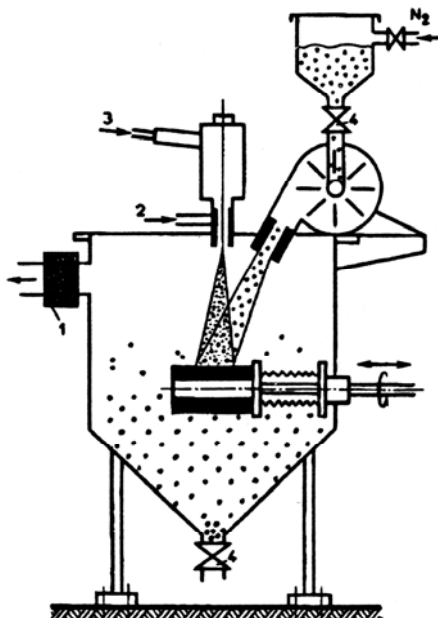


Рис. 4.7. Схема процесса:
 1 – фильтр; 2 – порошок;
 3 – плазматрон;
 4 – дробеметная машина;
 5 – манипулятор

Термореактивные порошковые материалы позволяют использовать энергию плазменного факела для интенсивного агрегатно-фазового превращения веществ, входящих в частицы композиционных порошковых материалов, и синтеза нового химического вещества на базе взаимодействия исходных. *Термонеutralные* порошковые материалы отличаются склонностью к сохранению исходного вещества напыляемого материала. В табл. 4.5 приведен состав компонентов композиционных порошковых материалов, получивших широкое применение при получении плазменных покрытий.

Таблица 4.6

Состав компонентов композиционных материалов

Термоактивные композиции	
Интерметаллидные	(NiAl); (NiTi); (CoAl); (NiPd); (NiCrAl) др.
Керметные	(AlNiO); (AlMoO ₃); (AlWO ₃) др.
Металл – тугоплавкие соединения	(TiSi ₃ N ₄); (TiSiC); (TiB ₄ C); (ZnSi ₃ N ₄); (CrSiC) др.
Термонейтральные композиции	
Керамические и керметные	(SiO ₂ -Cr ₂ O ₃); (TiO ₂ -Al ₂ O ₃); (Ni- Al ₂ O ₃); (Ni-ZrO ₂); (Cu-ZrO ₂); (Ni-MgO) и др.
Металл – тугоплавкие соединения	(Co-WC); (Ni-WC); (Ni-Cr ₃ C ₂); (Ni-TiB ₂); (Cu-SiC); (Ni-TiC) и др.
Металл – твердый смазочный материал	(Ni-графит);(Ni-Cu); (Cu-MoS ₂)и др. (Ni-алмаз); (Si-алмаз) и др.

Использование устойчивого термодинамического состояния плазменного факела является необходимым условием получения качественного газотермического покрытия, но это возможно только при стабилизации порционного расхода порошка как исходного напыляемого материала.

Для нанесения коррозионностойких газотермических покрытий используют алюминиевую проволоку типа АД1, проволоку алюминиевых сплавов типа АМц, проволоку из материала коррозионностойких сталей, которые используют обычно в производстве сварочных соединений, а также проволоку из аустенитной низкоуглеродистой коррозионной стали типа 12Х18Н10Т.

Проволоки из алюминиевой бронзы, например марки БрА10, применяют для нанесения антифрикционных покрытий. Такие покрытия отличаются высокой плотностью, хорошо обрабатываются.

Для антифрикционных покрытий подшипников скольжения ответственного назначения, работающих при больших давлениях и высоких скоростях, может быть использована проволока из баббита с высоким содержанием олова.

4.6. Детонационное напыление

При детонационном напылении наносимые частицы приобретают энергию во время горения и перемещения ацетиленокислородной смеси в стволе пушки. Детонация – особый вид горения газообразного топлива. Она возникает в начальный период горения смеси и распространяется по трубе со скоростью 2000...3000 м/с. Температура горения смеси при детонационном напылении достигает 5700 К, а развиваемое давление – сотен мегапаскалей. Скорость полета наносимых частиц – 600...800 м/с, а их температура до 4000 К. Покрытия имеют малую пористость (до 0,5 %) и высокую прочность соединения с подложкой (до 200 МПа).

Наносимые частицы нагреваются за счет теплообмена с высокотемпературной газовой средой и перемещаются ударной волной, возникшей в результате детонации горючей газовой смеси в стволе установки.

Установка детонационного напыления (рис. 4.8) включает охлаждаемый закрытый с одного конца ствол 5 длиной 1200...2000 мм и диаметром 8...40 мм. Внутренняя полость ствола вблизи торцевой стенки образует взрывную камеру 3. В ее стенке установлено запальное устройство 2 и клапанное устройство для подачи горючего и окислительного газов. В торце ствола имеется порошковый питатель 1. На расстоянии 150...200 мм от среза ствола перпендикулярно к оси располагают восстанавливаемую поверхность детали. На рисунке обозначены: 1 – порошковый питатель; 2 – запальное устройство; 3 – взрывная камера; 4 – смесительная камера; 5 – ствол; 6 – покрытие; 7 – восстанавливаемая деталь.

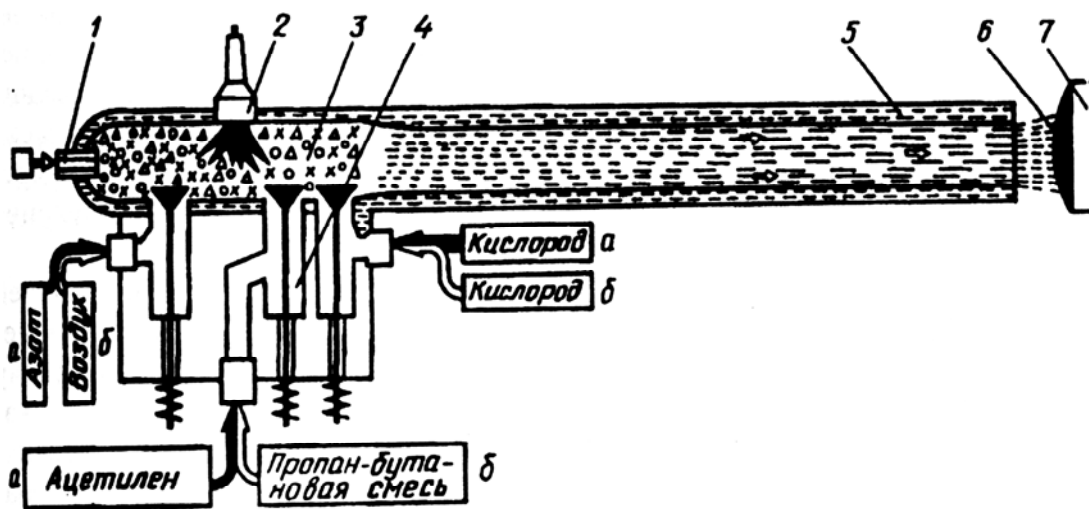


Рис. 4.8. Схема установки для детонационного напыления:
 а – базовый вариант; б – модернизированный вариант;
 1 – порошковый питатель; 2 – запальное устройство; 3 – взрывная камера;
 4 – смесительная камера; 5 – ствол; 6 – покрытие;
 7 – восстанавливаемая деталь

В установке имеется камера смешивания горючих газов с окислителем. Смешивание газов необходимо для равномерного распределения газовой смеси вдоль ствола. Газовые потоки в камере смешивания движутся под углом друг к другу или закручиваются.

Предусмотрено устройство, исключающее обратные удары из детонационной камеры в коммуникации и агрегаты установки. Ввиду того что водные затворы неэффективны, применяют газовые буфера, пламегасители и огнепреградители.

Для зажигания горючей смеси достаточно энергии $9 \cdot 10^{-4} \dots 10^{-6}$ Дж. Обычно применяют автомобильные свечи, воспроизводящие индукционную искру с энергией 0,05...0,20 Дж.

Установка работает следующим образом. С помощью транспортирующего газа (азота или воздуха) во взрывную камеру подают порцию порош-

ка массой 50...200 мг, а через клапанное устройство под давлением 0,12...0,20 МПа – горючую смесь (ацетилен – кислород или пропан – бутан – кислород). В качестве горючих газов можно также применять водород, метан (природный газ) и другие углеводороды. Окислителем может быть и воздух. Между электродами запального устройства инициируют электрическую искру, которая поджигает горючую смесь.

В начале процесс горения смеси горючий газ – кислород протекает со сравнительно небольшой скоростью. Горение горючих газов под атмосферным давлением в окислительной среде (воздухе или кислороде) в ламинарном или турбулентном режиме сопровождается как непрерывным расширением и перемещением его продуктов со скоростью до 10...15 м/с, так и сжатием несгоревшей газовой среды за фронтом пламени. Это сжатие в ограниченном объеме и теплопередача от очага горения к несгоревшей части смеси повышают температуру и давление этой части смеси. При достижении критических значений этих величин газовая среда самовоспламеняется и сгорает со скоростью взрыва. Данное явление представляет собой детонацию.

Таким образом, детонация – это процесс взрывного горения горючей смеси с последующим образованием ударной волны. Эта волна перемещается от очага горения (к открытому от днища концу трубы и навстречу фронту первого пламени). Отраженная от днища взрывная волна увлекает навеску порошка и перемещает ее наружу вдоль оси ствола со сверхзвуковой скоростью. После достижения открытого конца ствола детонационная волна затихает на расстоянии за ним примерно 100 мм.

Химическая энергия горения смеси расходуется на нагрев и расширение газа, перемещение и нагрев навески порошка. Высокая температура нагрева напыляемого материала в некоторых случаях приводит даже к его испарению. Кинетическая энергия частиц в 1000 раз превосходит кинетическую энергию частиц при плазменном напылении. Превращение кинетической энергии частиц напыляемого материала в момент удара в тепловую энергию материала, обеспечивает высокую прочность покрытия и отсутствие пористости.

Процесс завершается продувкой ствола инертным газом. Цикл работы повторяется через 0,2...0,5 с.

Частота цикла детонационного устройства для напыления покрытий может быть увеличена до 15 Гц и выше. Непрерывная автоматическая подача порошков и газов при этом упрощает технологию и оборудование.

При детонационном напылении, как и при газопламенном и плазменном, применяют металлические, оксидно-керамические, композитные и другие порошки. Порошки не должны реагировать с продуктами сгорания. Средний размер частиц порошка 10...50 мкм. Детонационное напыление нашло применение при нанесении защитных и износостойких покрытий из

оксидов алюминия и карбидов вольфрама, карбидокобальтовых сплавов и хрома на наружные поверхности.

Единичное пятно наносимого материала массой 50...100 мг имеет диаметр около 2мм и толщину 3...5 мкм. Совмещение пятен во время нанесения покрытия обеспечивает его суммарную толщину 0,02...0,40 мм. Производительность процесса невысокая. Для создания покрытия равномерной толщины деталь перемещают относительно канала ствола.

При разработке детонационного напыления учитывают такие особенности.

Ствол установки определяется следующими параметрами:

- формой канала,
- чистотой его поверхности,
- наличием форкамеры,
- отношением длины к диаметру и др.

Диаметр ствола принимают равным 8 мм. С уменьшением этого диаметра затрудняется детонационный взрыв и возрастают тепловые потери. Длина ствола обеспечивает получение необходимой скорости напыляемых частиц.

Вид и расход газа принимают исходя из производительности процесса и необходимой температуры продуктов горения.

Диаметр частиц составляет 10...50 мкм. Подача детали за цикл не более половины диаметра пятна. Коэффициент использования материала – 30...60 %. Плотность частиц по пятну контакта составляет $10^3...10^5$ частиц/(см²с).

Детонационные покрытия наносят с помощью установок «Днепр-2», «Днепр-3» (разработчик Институт порошковой металлургии (ИПМ) НАН Украины, сокращенно ИПМ НАН Украины) и «Катунь» (разработчик – НПО «Анитип», г. Барнаул). Модели установок – АДК, АДК-1, ДНП-5, АДУ-СП и др. Технические характеристики некоторых установок приведены ниже.

Технические характеристики автоматического детонационного комплекса АДК-1 М

Производительность, кг/ч	1,1...5,3
Потребляемая мощность, Вт, не более	300
Температура рабочей смеси, °С	3500
Давление рабочей среды, МПа	0,12
Скорострельность, с ⁻¹	2...5
Инициирование детонации	Форкамерное
Коэффициент использования порошков, %	50...60
Толщина покрытия на один цикл, мкм....	8...15
Точность толщины наносимого покрытия, мкм	10...20

Технические характеристики детонационной установки «Днепр-3»

Напряжение сети, В	220
Потребляемая мощность, Вт	300
Расход рабочих газов, м ³ /с:	
• кислорода	0,59...3,30
• пропан-бутана (ацетилен)	0,27...2,30
• азота	1,3...5,5
Производительность при толщине напыляемого слоя 15 мкм, м ² /с	0,02... 1,33
Толщина покрытия за один выстрел, мкм	5...20
Диаметр пятна, мм	20
Скорострельность, с ⁻¹	2...6

Детонационное оборудование имеет большие габаритные размеры, его производительность невысокая, стоимость нанесения покрытия высокая. Уровень шума при работе детонационной установки 125...140 дБ, поэтому ее устанавливают в отдельном помещении со звукоизолирующими стенами. Оператор управляет процессом, находясь за стеной. В выхлопных газах наблюдается повышенное содержание оксидов углерода, азота и других веществ.

Дальнейшее развитие детонационной технологии связано с подачей жидкого металла в ствол пушки. В этом случае объединяют хорошо отработанную технологию и оборудование для дугового напыления с малогабаритным высокочастотным детонационным ускорителем продуктов сгорания. Пористость покрытия при этом составляет 5...8%, сквозная пористость отсутствует, шероховатость покрытия малая, а количество оксидов не более 2...6 %.

4.7. Индукционное напыление

Индукционное напыление разработано и впервые применено в СССР. Напыляемая проволока подается в индуктор, где нагревается и расплавляется вихревыми токами, возникающими за счет переменного магнитного поля. Расплавленный металл распыляется сжатым воздухом. Головка индукционного аппарата (рис. 4.9) имеет высокочастотный индуктор и концентратор тока, который обеспечивает нагрев проволоки на небольшом участке. Частота тока (Гц), необходимого для расплавления проволоки, определяется по формуле

$$f=k/d^2, \quad (4.3)$$

где k – коэффициент, зависящий от материала проволоки и температуры ее плавления;

d – диаметр проволоки, мм.

Ток высокой частоты вырабатывают ламповые (ЛГПЗ-30, ГЗ-46, ЛПЗ-60 и др.), машинные (ОПЧ-250/2400, ВПЧ-100/8000 и др.) или тиристорные (ТПЧ-100-2,4 и др.) генераторы.

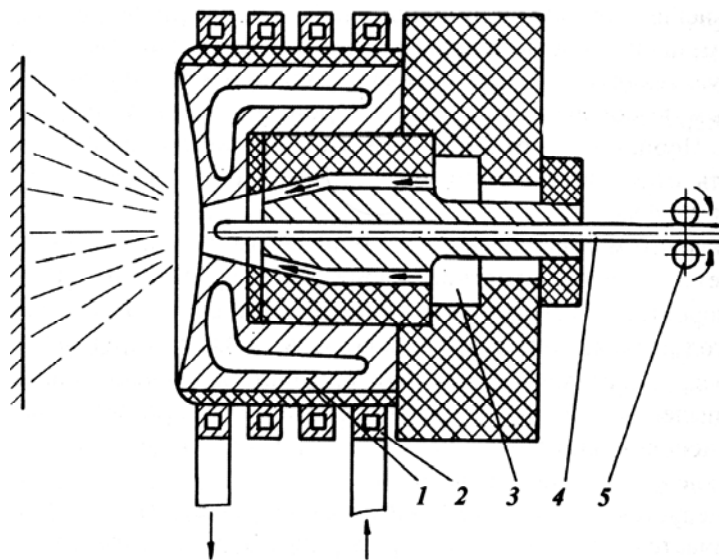


Рис. 4.9. Устройство для индукционного напыления:
1 – концентратор тока; 2 – индуктор; 3 – воздушный канал;
4 – проволока; 5 – подающие ролики

Индукционное напыление обеспечивает небольшое окисление металла и высокую прочность покрытий, но имеет невысокую производительность процесса, а применяемое оборудование при этом сложное и дорогое.

4.8. Вакуумные способы напыления

Одним из основных направлений решения проблемы повышения эксплуатационных характеристик материалов и изделий является усовершенствование уже имеющихся и создание новых высокоэффективных способов нанесения качественных покрытий самого различного назначения (износостойких, коррозионностойких, жаропрочных и др.). Основные требования, предъявляемые к покрытию и способу его нанесения, – это высокая прочность сцепления с основой, высокая плотность и заданный состав, возможность осаждения покрытий равномерной толщины, экономичность и технологичность процесса.

Достоинствами вакуумных способов нанесения покрытий являются возможность кристаллизации вещества в широком диапазоне регулируемых скоростей осаждения, отсутствие ограничений в смешивании различных материалов в паровой фазе, возможность вводить в металлическую матрицу высокодисперсные частицы упрочняющей фазы с очень равномерным их распределением по объему матрицы, чего нельзя достичь с помощью порошковой металлургии. При наличии ионизированного потока

металлического пара и впуске реактивного газа в вакуумную камеру можно получать в зависимости от парциального давления газа упрочненные покрытия из таких тугоплавких соединений, как нитриды, окислы, карбиды и т.д. в результате протекания плазмохимических реакций.

В настоящее время в зависимости от конкретно решаемых технологических задач применяются различные вакуумные способы нанесения покрытий термическим испарением, ионным распылением, активированным реакционным испарением, ионным осаждением, электронно-лучевым плазменным напылением, конденсацией с ионной бомбардировкой, ионно-лучевым модифицированием, а также осаждением покрытий из газовой фазы в вакууме. В табл. 4.7 приведены характерные (ориентировочные) параметры различных процессов нанесения покрытий.

Покрытия при вакуумном напылении формируются из потока частиц, находящихся в атомарном, молекулярном или ионизированном состоянии. Этот поток частиц получают распылением материала посредством воздействия на него различными энергетическими источниками. Различают распыление наносимого материала путем термического испарения, взрывного испарения-распыления и ионного распыления твердого материала. Вакуумное напыление проводят в жестких герметичных камерах при давлении $133 \cdot 10^{-3} \dots 13,3$ Па. Благодаря этому обеспечиваются необходимая длина свободного пробега напыляемых частиц и защита материала от взаимодействия с атмосферными газами.

В общем случае движущей силой переноса частиц в направлении к поверхности напыления является разность парциальных давлений паровой фазы. Наиболее высокие давления пара, достигающие 133 Па и более, наблюдаются вблизи поверхности распыления (испарения). Это и обуславливает перемещение частиц в направлении напыляемого изделия, где парциальное давление паров минимально. Ионизированные частицы обладают большей энергией, что обеспечивает получение покрытий высокого качества.

Способы вакуумного конденсационного напыления классифицируют по различным признакам:

- по способам распыления материала и формирования потока распыленных частиц: термическим испарением материала из твердого или расплавленного состояния, взрывным (интенсифицированным) испарением-распылением; ионным распылением твердого материала и др.;

- по энергетическому состоянию напыляемых частиц: напыление нейтральными частицами (атомами, молекулами) с различным их энергетическим состоянием; напыление ионизированными частицами; напыление ионизированными ускоренными частицами. В реальных условиях в потоке присутствуют различные частицы;

- по способу взаимодействия напыляемых частиц с остаточными газами камеры: напыление в инертной разреженной среде или в высоком вакууме ($133 \cdot 10^{-3}$ Па); напыление в активной разреженной среде ($13,3 \cdot 10^{-4} \dots 133 \cdot 10^{-4}$ Па).

Таблица 4.7

Параметры различных вакуумных способов напыления

Характерные параметры процесса	Способы нанесения покрытий							
	термическое нанесение	ионное распыление	ионно-термическое нанесение	из плазмы ряда с горячим катодом	из плазмы с холодным катодом	ионное легирование		с плазменными ускорителями
						ионное насыщение	ионное внедрение	
Скорость нанесения покрытий, мкм/мин.	0,5-2,0	0,03-2,5	0,5-1,0	0,5-1,0	0,1-0,5	0,1-0,2	0,5-1,0	0,2-2,0
Толщина покрытий или глубина легированного слоя, мкм	2-50	1-10	2-20	2-20	2-20	10-20	0,3-2	2-20
Минимальная температура подложки, °С	250-500	250-400	250-500	250-500	150-400	-	50-600	250-400
Площадь обрабатываемой поверхности, см	500-1000	50-400 (до 10 ⁵)	50-400	50-400	50-400	-	10-400	50-400
Мощность установки, кВт	5-75	5-75	5-75	5-70	5-50	-	5-100	5-40
Напряжение, кВ	0,1	1-5	1	1	1	0,4-2	50-100	1
Процент ионизации	0,1	25	1-20	2-30	80		100	20-95
Энергия прибывающих на подложку частиц, эВ	0,3	10-50	20	20	20-50		5-10 ⁴	5-10 ⁵

Процесс вакуумного напыления покрытий включает три стадии:

- 1) переход конденсированной фазы в газо- или парообразную фазу;
- 2) формирование потока и перенос напыляемых частиц на поверхность напыления;
- 3) конденсация паров на поверхности напыления – формирование покрытия.

Скорость осаждения покрытий V_{Π} (мм/с) для точечного источника определяется по формуле

$$V_{\Pi} = \frac{v_p S \cos \alpha}{4\pi L^2}, \quad (4.4)$$

где v_p – скорость распыления (испарения), мм/с;

S – площадь распыления, мм²;

α – угол между направлением потока частиц и нормалью к поверхности напыления;

L – расстояние от очага распыления до напыляемой поверхности, мм.

Для плоского источника

$$V_{\Pi} = \frac{v_p S \cos \alpha \cos \theta}{4\pi L^2} \quad (4.5)$$

где θ – угол между направлением потока частиц и нормалью к поверхности распыления (испарения).

С помощью вакуумного напыления создают износостойкие покрытия на поверхностях трения, режущих кромках инструмента и др.

Перспективен способ вакуумного конденсационного напыления с ионизацией потока напыляемых частиц, стимулируемых плазмой. Часто его называют ионно-плазменным. Способ применяют для нанесения износостойких покрытий с особыми свойствами толщиной до 0,02 мм. Для этой цели выпускают установки ИЭТ-8И2, ННВ-6,6И1, ВУ-1Б. С помощью установки «Булат-3Т», например, наносят покрытия на детали топливной аппаратуры и режущий инструмент.

Восстанавливаемые детали должны иметь размеры, соответствующие размерам рабочей камеры; материал их должен характеризоваться невысоким давлением насыщающих паров при температуре процесса и допускать нагрев до 400 °С.

К недостаткам процесса следует отнести его невысокую производительность (скорость конденсации около 1 мкм/мин), повышенную сложность технологии и оборудования, низкие энергетические показатели распыления и напыления.

Расстояние от очага распыления до детали изменяется в пределах 20...500 мм и определяет равномерность толщины покрытия: чем больше это расстояние, тем равномернее толщина. Однако его увеличение выше оптимального снижает коэффициент использования материала. Давление в камере также влияет на равномерность напыленных покрытий. При вакуумных реакционных способах напыления давление в камере является определяющим при образовании покрытий композиционного типа.

Параметры потока напыляемых частиц определяют производительность процесса и свойства покрытий. К этим параметрам относятся: температура материала (300°С и выше); плотность потока [$10^{16} \dots 10^{24} \text{ (см}^2\text{-с)}^{-1}$]; энергия напыляемых частиц ($10^{-1} \dots 10^4$ эВ/атом); степень ионизации напыляемых частиц (в мас. %); скорость частиц в направлении поверхности напыления (2000 м/с и более); угол расхождения потока распыляемых частиц (рад.).

Было создано несколько типов установок высокоскоростного распыления низкого давления, применяемых для восстановления деталей. Наибольшее распространение получила установка типа ВУ-1Б. На рисунке 4.10 приведена схема установки с одним испарителем. Базовым элементом установки является камера 6 с рубашкой охлаждения. Вакуумный насос 10 обеспечивает в камере вакуум до $10^{-3} \dots 10^{-2}$ Па. Для вымораживания паров масла предусмотрена азотная ловушка 11. Дуговой разряд возбуждается между водоохлаждаемым анодом 5 и распыляемым материалом – катодом 4. Для первоначального возбуждения дуги служит вспомогательный электрод 2. Электродуговой ускоритель плазмы работает от силового специализированного источника постоянного тока 3. Для экстракции ионов из плазменного потока и их ускорения в направлении напыляемого изделия

использован высоковольтный источник питания *1*, а от него на напыляемое изделие *7* подается отрицательное смещение от десятков вольт до 2...3 кВт. В более совершенных установках предусмотрено несколько испарителей (до шести).

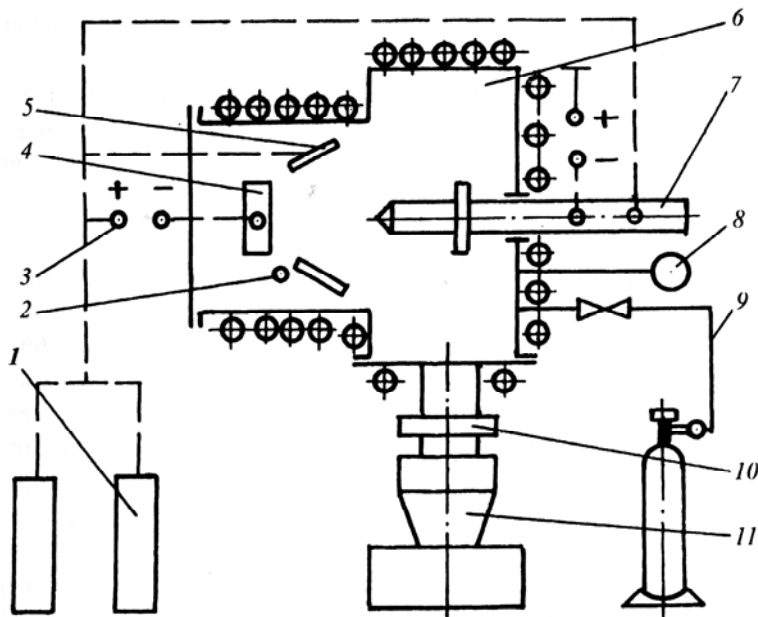


Рис. 4.9. Схема установки типа ВУ-1Б:

- 1* – высоковольтный источник питания; *2* – вспомогательный электрод;
3 – источник постоянного тока; *4* – катод; *5* – водоохлаждаемый анод;
6 – вакуумная камера; *7* – напыляемое изделие; *8* – масс-спектрометр;
9 – устройство выпуска газа; *10* – вакуумный насос; *11* – азотная ловушка

Электромагнитные катушки играют роль стабилизатора катодного пятна на заданной поверхности распыляемого материала, фокусировки и ускорения потока напыляемых частиц, отклонения потока заряженных частиц с целью сепарации потока.

Установка снабжена устройством для автоматического впуска газа *9*. Атмосфера камеры контролируется масс-спектрометром *8*. Благодаря этому имеется возможность создания плазменных потоков с регулируемой долей ионов различных элементов.

4.9. Газодинамическое напыление

Конкурентом и наиболее близким аналогом детонационного напыления является высокоскоростное газодинамическое напыление. В условиях высокоскоростного напыления материал сосредоточивается вблизи оси струи. Угол расхождения сверхзвуковых двухфазных струй меньше, чем дозвуковых, и составляет 5...7°. Это приводит к уменьшению диаметра пятна напыления и более экономному использованию материала. Коэффи-

циент использования материала достигает 0,85 против 0,75 при традиционном электродуговом напылении (рис. 4.10).

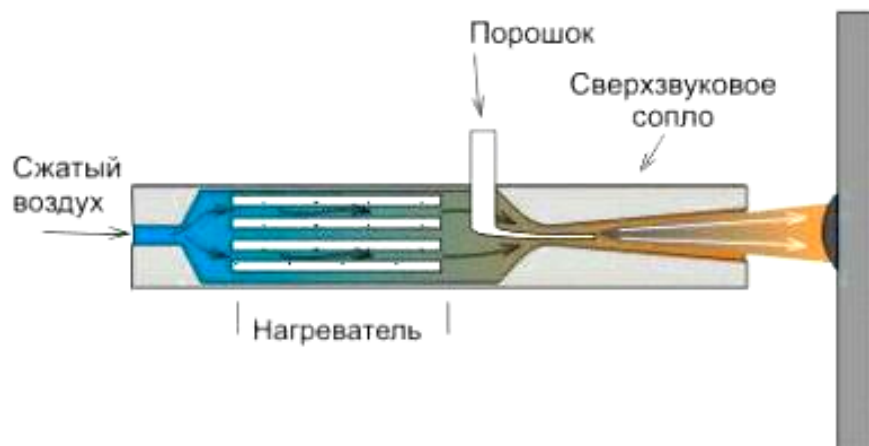


Рис. 4.10. Принципиальная схема газодинамического напыления

Газодинамический способ нанесения покрытия отличается тем, что покрытие формируется из частиц, ускоренных сверхзвуковым газовым потоком. Поток газа с частицами проходит через сверхзвуковое сопло, при этом нет необходимости подготавливать напыляемую поверхность, в том числе нагревать ее.

Технология нанесения металлов на поверхность деталей, реализуется оборудованием «ДИМЕТ» Обнинского центра порошкового напыления (ОЦПН).

Способ разработан на основе открытого в 80-х годах прошлого столетия эффекта закрепления твердых частиц, движущихся со сверхзвуковой скоростью, на поверхности при соударении с ней.

Технология нанесения покрытий включает в себя нагрев сжатого газа (воздуха), подачу его в сверхзвуковое сопло и формирование в этом сопле сверхзвукового воздушного потока, подачу в этот поток порошкового материала, ускорение этого материала в сопле сверхзвуковым потоком воздуха и направление его на поверхность обрабатываемого изделия (рис. 4.10, 4.11).

В качестве порошковых материалов используются порошки металлов, сплавов или их механические смеси с керамическими порошками. При этом путем изменения режимов работы оборудования можно либо проводить эрозионную обработку поверхности изделия, либо наносить металлические покрытия требуемых составов. Изменением режимов можно также менять пористость и толщину напыляемого покрытия.

В наиболее распространенных газотермических методах нанесения покрытий для формирования покрытий из потока частиц необходимо, чтобы падающие на подложку частицы имели высокую температуру, обычно выше температуры плавления материала. В газодинамической технологии напыления это условие не является обязательным, что и обуславливает ее

уникальность. В данном случае с твердой подложкой взаимодействуют частицы, находящиеся в нерасплавленном состоянии, но обладающие очень высокой скоростью. Ускорение частиц до нужных скоростей осуществляется сверхзвуковым воздушным потоком.

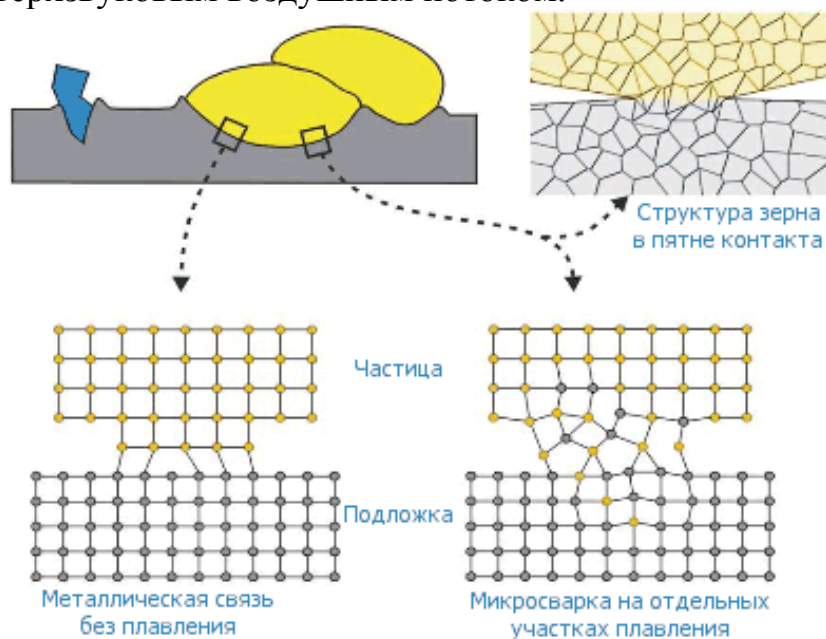


Рис. 4.11. Схема закрепления напыляемых частиц

Привлекательность технологии нанесения металла на поверхность деталей и изделий газодинамическим методом состоит в том, что оборудование и создаваемые с его помощью покрытия свободны от большинства недостатков, присущих другим способам нанесения металлических покрытий, и обладают рядом технологических, экономических и экологических преимуществ:

- покрытие наносится в воздушной атмосфере при нормальном давлении, при любых значениях температуры и влажности атмосферного воздуха;
- при нанесении покрытий оказывается незначительное тепловое воздействие на покрываемое изделие;
- технология нанесения покрытий экологически безопасна (отсутствуют высокие температуры, опасные газы и излучения, нет химически агрессивных отходов, требующих специальной нейтрализации);
- не всегда требуется подогрев покрываемого изделия;
- при отсутствии на подложках пластовой ржавчины или окалины на металлическом изделии не требуется тщательной подготовки поверхности (при воздействии высокоскоростного потока частиц происходит очистка поверхности от технических загрязнений, масел, красок и активация кристаллической решетки материала изделия);
- поток напыляемых частиц является узконаправленным и имеет небольшое поперечное сечение, это позволяет, в отличие от традиционных

газотермических методов напыления, наносить покрытия на локальные (с четкими границами) участки поверхности изделий;

- возможно нанесение многокомпонентных покрытий с переменным содержанием компонентов по толщине.

Свойства покрытий:

- высокая адгезия (30–100 МПа);
- высокая когезия (30–100 МПа);
- однородность покрытий;
- низкая пористость (1–3 %);
- плотное соединение покрытия с защищаемой основой без зазоров и полостей;
- шероховатость поверхности покрытий составляет $R_z=20-40$ и обеспечивает высокую прочность закрепления на них лакокрасочных материалов.

Типы покрытий:

- антикоррозионные покрытия;
- покрытия с низкой газопроницаемостью (герметизирующие);
- композитные покрытия из смеси металлов и керамики для восстановления формы и размеров деталей;
- электропроводящие покрытия;
- покрытия со специальными свойствами.

5. ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ И ХИМИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

5.1. Сведения о нанесении гальванических покрытий. Классификация способов нанесения

Соли, кислоты и щелочи при растворении в воде распадаются на отдельные частицы или группы частиц, несущие положительные и отрицательные заряды. Частицы называются ионами, а раствор – электролитом.

Устройства, в которых за счет внешней электрической энергии совершаются химические превращения веществ, называются электролизерами или электролитическими (гальваническими) ваннами.

Если в наполненную электролитом гальваническую ванну на некотором расстоянии друг от друга поместить два токопроводящих электрода и от внешнего источника тока подать на эти электроды определенную разность потенциалов, то в межэлектродном пространстве начнется перенос диссоциированных частиц. Электрод, присоединенный к положительному полюсу источника тока, называется анодом, а к отрицательному – катодом (рис. 5.1).

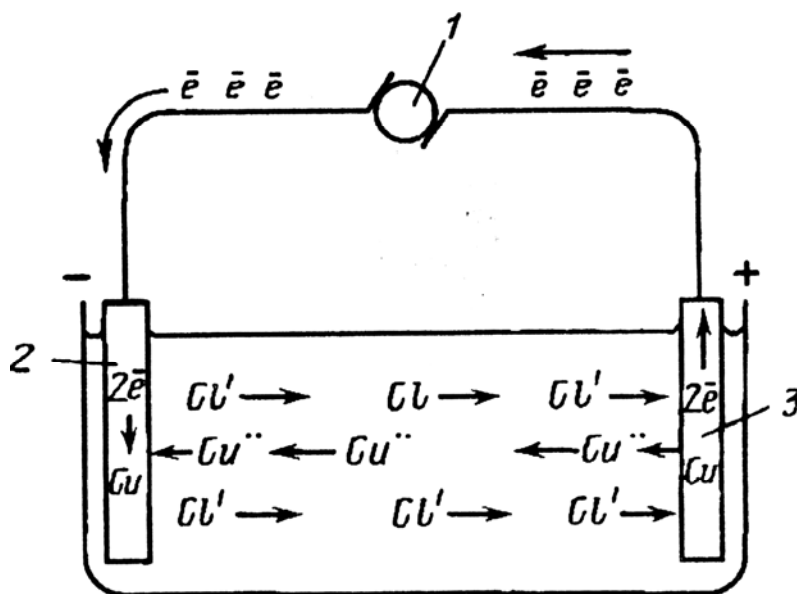


Рис. 5.1. Схема электролиза водного раствора хлористой меди с медными электродами:
1 – источник постоянного тока; 2 – катод; 3 – анод; 4 – электрон

В результате воздействия электрического поля разноименно заряженные ионы перемещаются – часть к катоду (катионы), часть к аноду (анионы). Катионами обычно являются ионы металлов и водорода, анионами – кислотные остатки. Приближаясь к катоду, ионы металла, например железа, при определенном потенциале присоединяют к себе электроны и превращаются в атомы железа, которые оседают на поверхности. Одновре-

менно на катоде происходит разряд ионов водорода, образовавшиеся атомы частично поглощаются металлическим покрытием, а частично рекомбинируются в молекулы и удаляются с поверхности катода.

Применяя в качестве катода предварительно очищенные и подготовленные к покрытию изделия или изношенные детали машин, на их поверхность можно, таким образом, наносить ровные, износостойкие слои железа, хрома или других металлов.

Количественная связь между прошедшим через границу электрод – электролит электричеством и количеством прореагировавшего (осевшего на электроде, растворившегося на аноде, выделившегося в газообразном виде) вещества была установлена М. Фарадеем в 1833–1834 гг. и выражается законами, носящими его имя.

Согласно первому закону Фарадея, количество вещества, прореагировавшего на катоде (или на аноде), пропорционально силе тока и времени его прохождения:

$$m = \varepsilon \cdot I \cdot t = \varepsilon \cdot q, \quad (5.1)$$

где m – масса прореагировавшего вещества, г;

I – сила тока, прошедшего через электролит, А;

t – время электролиза, ч;

q – количество прошедшего через раствор электричества, А·ч.

Если $q=1$, то получим $m = \varepsilon$, т.е. коэффициент пропорциональности (ε) представляет собой количество вещества, прореагировавшего в результате прохождения через электролит единицы количества электричества, и называется электрохимическим эквивалентом (табл. 5.1).

Т а б л и ц а 5 . 1

Электрохимические и физические характеристики некоторых металлов

Наименование металла	Химическое обозначение ионов	Атомная масса, г	Нормальный потенциал, В	Эквивалентная масса, г	Электрохимический эквивалент, г/(А·ч)	Плотность, г/см ³
Цинк	Zn ⁺⁺	65,37	-0,76	32,69	1,220	7,0
Хром	Cr ⁺⁺⁺	51,996	-0,71	17,37	0,647	6,5
Железо	Fe ⁺⁺	55,85	-0,44	27,94	1,042	7,8
Железо	Fe	55,85	-0,036	18,61	0,694	7,8
Кадмий	Cd ⁺⁺	112,41	-0,40	59,20	2,097	8,6
Кобальт	Co ⁺⁺	58,94	-0,27	29,47	0,733	8,8
Никель	Ni ⁺⁺	58,69	-0,23	29,35	1,095	8,8
Олово	Sn ⁺⁺	118,70	-0,14	59,35	2,214	7,3
Свинец	Pb ⁺⁺	207,21	-0,126	103,60	3,865	11,4
Водород	H ⁺	1,008	0,00	1,008	0,0376	
Медь	Cu ⁺⁺	63,57	+0,34	31,78	1,186	8,9
Медь	Cu ⁺	63,57	+0,652	63,57	2,372	8,9
Серебро	Ag ⁺	107,88	+0,799	107,88	4,027	10,5

Второй закон Фарадея отражает связь между количеством вещества, прореагировавшего при прохождении через раствор определенного количества электричества, и природой этого вещества.

Согласно второму закону Фарадея, массы различных веществ, прореагировавших на электроде (катоде или аноде) при прохождении через различные электролиты одного и того же количества электричества, пропорциональны химическим эквивалентам этих веществ.

Известно, что эквивалентная масса численно равна атомной массе, деленной на валентность. Эквивалентная масса, выраженная в граммах, называется грамм-эквивалентом (г-эkv.).

Если через растворы пропустить одно и то же количество электричества, то

по первому закону Фарадея

$$m_1 = \varepsilon_1 \cdot q, \dots m_2 = \varepsilon_2 \cdot q, \dots m_n = \varepsilon_n \cdot q, \quad (5.2)$$

по второму закону

$$m_1 : m_2 : \dots : m_n = \varepsilon_1 : \varepsilon_2 : \dots : \varepsilon_n = A_1 : A_2 : \dots : A_n, \quad (5.3)$$

где A_1, A_2, \dots, A_n – химические эквиваленты, а отношения

$$\frac{A_1}{\varepsilon_1} = \frac{A_2}{\varepsilon_2} = \dots = \frac{A_n}{\varepsilon_n} = \text{const} = F. \quad (5.4)$$

F имеет размерность количества электричества, приходящегося на 1 г-эквивалент продукта электролиза, $\frac{\text{Кл}}{\text{г} \cdot \text{эkv.}}$.

Из выражения (5.4) получаем $\varepsilon = \frac{A}{F}$. Один фарадей (F) соответствует заряду, равному $6,02 \cdot 10^{23}$ электронов. Если для восстановления одного иона требуется присоединить z электронов, $\varepsilon = \frac{A}{zF}$

Установлено, что для выделения 1 г-эkv. любого вещества надо затратить $F=96\,500 \text{ Кл}=26,8 \text{ А} \cdot \text{ч}$.

Если электролиз вести в течение t часов при силе тока I ампер, то теоретическое количество прореагировавшего на электроде вещества (m_T) определяется из уравнения:

$$m_T = \frac{A}{zF} \cdot I \cdot t = \varepsilon \cdot I \cdot t, \quad (5.5)$$

где A – число грамм-атомов выделившегося на электроде вещества, г;

z – валентность в данном соединении;

ε – электрохимический эквивалент, г/А·ч.

На катоде кроме осаждения металла протекают сопутствующие процессы: выделение водорода, восстановление металла до более низкой валентности, восстановление органических веществ, попавших в электролит. Поэтому действительная масса вещества, выделившегося на катоде, будет меньше массы вещества, рассчитанной по формуле (5.5). Отношение массы действительно выделившегося металла на электроде к теоретически возможному его количеству называется выходом по току α . По выходу по току судят, как организован электрохимический процесс.

Катодный (или анодный) выход веществ по постоянному току (α) определяют по формуле

$$\alpha = \frac{m_{\Phi}}{m_T} \cdot 100 \% \quad (5.6)$$

Масса фактически осевшего вещества на катоде

$$m_{\Phi} = m_K - m_H, \quad (5.7)$$

где m_H – масса детали до нанесения покрытия, г;

m_K – масса детали после нанесения покрытия металла, г.

Значения α (%) для некоторых процессов следующие:

Золочение	90
Кадмирование	85...95
Железнение	80...90
Хромирование износостойкое	15...65
Цинкование:	
• цианистое	75...95
• кислое	95...100
• цинкатное	85...10

Законы Фарадея не указывают, какое из веществ данного раствора подвергается изменению при электролизе, а лишь выражают зависимость между прошедшим количеством электричества и количеством г-экв. всех веществ, претерпевающих электрохимические превращения в результате переноса зарядов.

Законы Фарадея очень широко применяются на практике. При восстановлении изношенных деталей машин необходимо наносить определенную (наперед заданную) толщину гальванического осадка с учетом припуска на механическую обработку.

Толщину гальванического покрытия (h , мкм), необходимую для выполнения всех операций по восстановлению детали до требуемого размера (d), определяют из следующей зависимости:

$$h = \frac{d_p + \delta - d_H}{2}, \quad (5.7)$$

где d_p – номинальный (необходимый) диаметр восстанавливаемой детали, мм;

δ – припуск на обработку после гальванического наращивания слоя металла, мм;

d_n – диаметр детали перед нанесением гальванического покрытия, мм.

Время t нанесения гальванического покрытия необходимой толщины (h) находят по формуле

$$t = \frac{h\gamma 1000}{D_k \epsilon \alpha}, \quad (5.8)$$

где γ – удельная масса осаждаемого металла, г/см³;

D_k – катодная плотность тока, А/дм².

Суммарную площадь (S , дм²) подлежащих гальваническому наращиванию поверхностей деталей машин находят из соотношения

$$S = \sum_1^n f_i, \quad (5.9)$$

где f_i – площадь участка детали, на которую необходимо осадить металл, дм²;

n – количество одновременно покрываемых участков деталей.

По суммарной площади (S , дм²) восстанавливаемых поверхностей деталей, с учетом рекомендуемых для каждого способа рабочих плотностей тока, определяют силу тока в цепи электролизера

$$I = S \cdot D_k. \quad (5.10)$$

Основное время t_0 нанесения покрытий заданной толщины (h) с учетом разгонного периода (t_p) рассчитывают по формуле

$$t_0 = \frac{t_p}{2} + t. \quad (5.11)$$

Разработка технологических процессов промышленного получения покрытий металлов с нужными свойствами всегда базируется на результатах изучения электролитической кинетики.

Известно, что если металл привести в соприкосновение с электролитом, то мгновенно устанавливается потенциал незаряженной поверхности этого металла в данных условиях, а с течением времени происходит образование двойного электрического слоя, и потенциал металла принимает равновесное или стационарное значение. Рассмотренное явление сопровождается появлением на границе металл – раствор определенного напряжения (электродный потенциал), обусловленного обменом зарядов между

ионами раствора и этим металлом. Электродные потенциалы, в зависимости от концентрации ионов металла в растворе, могут быть различными.

С целью сравнения электродных (нормальных) потенциалов разных металлов их определяют для растворов, в которых содержится один грамм-ион соответствующих ионов. Нормальный потенциал водорода условно считают равным нулю, а относительно этого нуля нормальные потенциалы железа и хрома равны соответственно $-0,44$ и $-0,71$ В (табл. 5.1).

Для перехода иона из раствора в нейтральный атом металла ей необходимо сообщить определенный электрический заряд.

С целью смещения системы электрод – раствор от состояния равновесия необходимо эту систему включить в цепь постоянного тока. При этом в прикатодной области происходит перенасыщение ионов, расходуемых на построение выделяемого вещества (металла, пузырьков водорода). Одновременно возникает дополнительный скачок потенциала на границе металл – раствор, называемый электродной поляризацией.

Величина поляризации зависит от истинной плотности тока. Поляризацию (φ) определяют как разность между потенциалом электрода под током (φ_i) и равновесным потенциалом (φ_p), т.е.

$$\varphi = \varphi_i - \varphi_p . \quad (5.12)$$

Из уравнения (5.12) видно, что при неизменном электродном потенциале ($\varphi = \text{const}$) поляризация может увеличиваться или уменьшаться и принимать бесчисленное множество различных значений в зависимости от равновесного потенциала. Сдвиг потенциала при протекании тока, обусловленный медленностью стадии разряда-ионизации, называется электрохимической поляризацией, или перенапряжением разряда.

В зависимости от свойств системы электрод – электролит поляризационные явления могут определяться скоростью движения ионов (диффузионная поляризация) или чисто химической стадией реакции (химическая поляризация). Эти два вида поляризации объединяют под общим названием концентрационная поляризация.

Электродную поляризацию, связанную с затруднением перехода электрона к иону или от иона (электрохимическое перенапряжение), с замедленностью стадии построения формирующейся кристаллической решетки металла или газовых пузырьков (фазовая или кристаллизационная поляризация), обычно относят к активационной поляризации.

Большое значение при электроосаждении металлов имеет явление перенапряжения водорода, возникающее вследствие одновременного разряда ионов металла H^+ или H_3O^+ . Этот побочный процесс уменьшает выход металла по току и осложняет работу гальванических ванн. Степень кислотности или щелочности растворов характеризует показатель водородных ионов (рН). Эта величина представляет собой отрицательный логарифм количества грамм-ионов водорода, приходящегося на 1 литр раствора. Так, в

одном литре дистиллированной воды содержится 0,0000001 г-ионов водорода. Следовательно, показатель активности водородных ионов этого раствора $pH = -\lg 10^{-7} = 7$. С увеличением кислотности раствора pH уменьшается.

В процессе электролитического выделения металла из раствора значение pH, как правило, изменяется. Для поддержания постоянства этого показателя иногда в электролит вводят буферирующие вещества, которые способны вызывать образование новых ионов водорода или связывать вновь возникающие ионы. Это способствует получению осадков металла с одинаковыми по толщине свойствами.

Гальванические покрытия имеют следующие области применения при восстановлении деталей:

- наращивание и повышение износостойкости поверхностей (хром, железо, никель, медь);
- придание защитно-декоративных (хром, никель, медь, цинк, кадмий, олово, свинец) и антифрикционных свойств (железо, медь, цинк, олово);
- защиту от цементации (медь);
- повышение теплостойкости (хром);
- придание поверхностному слою специальных свойств – электро- и теплопроводности и др. (медь и др.);
- улучшение прирабатываемости трущихся поверхностей (железо, хром, медь, цинк, свинец, олово).

Основная область применения гальванических покрытий в ремонтном производстве – восстановление многочисленных деталей с небольшим износом, но с высокими требованиями к износостойкости, твердости и сплошности покрытия и прочности его соединения с основой. Учитывают, что 65 % деталей ремонтного фонда имеют износ на сторону 0,14 мм. Гальванические покрытия наносят на восстанавливаемые поверхности клапанов, поршневых пальцев, шатунов, отверстий под подшипники в корпусных деталях и др.

Процесс нанесения гальванических покрытий обеспечивает:

- сохранение структуры материала детали за счет отсутствия нагрева;
- высокую износостойкость и твердость покрытий;
- равномерную их толщину;
- возможность получения покрытий с заданными, изменяющимися определенным образом по их толщине физико-механическими свойствами;
- большое количество одновременно восстанавливаемых деталей и возможность автоматизации;
- использование недефицитных материалов.

Однако скорость нанесения покрытий низкая (гальванический процесс самый длительный по сравнению с другими процессами нанесения покрытий). Процесс многооперационный и сопровождается расходом воды и загрязнением сточных вод ионами тяжелых металлов. Способ требует со-

вершенствования в направлениях повышения производительности и уменьшения затрат на материалы. Наряду с этим одновременная обработка большого количества деталей в одной ванне значительно снижает штучную себестоимость нанесения покрытий, что выгодно отличает этот процесс от других способов восстановления деталей.

В ремонтном производстве нашли применение следующие гальванические процессы: железнение, хромирование, цинкование, кадмирование, никелирование и др. Наибольшее распространение получили первые три процесса. В свою очередь, первые два процесса обеспечивают получение износостойких покрытий, а цинкование – как износостойких, так и защитных покрытий. Цинк гарантирует надежную катодную защиту стальных изделий.

В зависимости от места электролиза процессы делятся на ваннные и вневаннные, а в зависимости от температуры электролита электролиз протекает в горячих (более 50 °С) или холодных (около 20 °С) электролитах.

5.2. Технологический процесс и оборудование для нанесения покрытий

Типовой процесс нанесения гальванических покрытий содержит три блока операций: подготовительные, осаждения металла и обработки заготовок после нанесения покрытий (рис. 5.2).

Подготовительные операции включают механическую и электрохимическую обработку восстанавливаемых поверхностей: их очистку, предварительную механическую обработку, монтаж заготовок на подвески и изоляцию поверхностей, не подлежащих восстановлению, обезжиривание и травление. Осаждение металла составляет основную часть процесса. Последующие операции состоят из промывки заготовок с покрытием в дистиллированной воде для сбора электролита, оставшегося на поверхностях заготовок; нейтрализации его остатков; промывки горячей и холодной водой; снятия деталей с подвесок и удаления изоляции; сушки и термообработки (при необходимости).

Предварительная механическая обработка (как правило, абразивная) необходима для устранения следов изнашивания на восстанавливаемых элементах и придания им правильной геометрической формы. Эта операция обеспечивает равномерную толщину будущих покрытий, заданную шероховатость основы и служит необходимым условием прочного соединения покрытия с поверхностью детали. Шероховатость поверхностей после механической обработки должна быть $Ra\ 0,63...1,25$ мкм.

Маслогрязевые отложения с восстанавливаемых поверхностей удаляют органическими растворителями (дихлорэтаном, ацетоном, керосином, уайт-спиритом и др.). Пожароопасная очистка органическими растворите-

лями может быть заменена электрохимическим или химическим обезжириванием.



Рис. 5.2. Типовой процесс нанесения гальванических покрытий

Установка заготовок на подвески должна обеспечить надежный электрический контакт в цепи заготовка – подвеска и условия равномерного осаждения покрытия и всплытия пузырьков выделяющегося газа.

Невосстанавливаемые поверхности изолируют нанесением цапонлака (целлулоида, растворенного в ацетоне), полихлорвинилового пластиката, резинового клея, составов из воска и канифоли (1:1), парафина, воска, канифоли и каменноугольного пека (7:1:1:1), грунта и эмали, намоткой полихлорвиниловой ленты, установкой резиновых трубок и др.

Затем восстанавливаемые поверхности окончательно обезжиривают венской известью (смесью оксидов кальция и магния) и (или) подвергают электрохимической обработке. Наиболее часто применяют обезжиривание в щелочных растворах (табл. 5.2). На катоде выделяется в 2 раза больше газа, чем на аноде, поэтому производительность обезжиривания на катоде выше, чем на аноде. При электролизе в таких растворах на поверхности за-

готовок, завешенных на катодную штангу, бурно выделяется водород, который срывает жировую пленку. Одновременно с этим происходят омыление и эмульгирование жиров. Для исключения наводороживания поверхности, приводящего к хрупкости материала детали, в конце обезжиривания меняют полярность на обратную и в течение четверти времени от длительности катодной обработки детали обрабатывают на аноде.

Т а б л и ц а 5.2

Составы растворов и режимы обезжиривания стальных
или чугуновых деталей

Компонент или параметр режима	Обезжиривание	
	химическое	электрохимическое
Едкий натр, г/л	10...30	20...40
Тринарийфосфат, г/л	15...35	
Кальцинированная сода, г/л	3...5	-
Синтанол ДС-10, г/л		3...5
Жидкое стекло, г/л	60...80	60...80
Температура раствора, °С	5...60	3...10
Продолжительность, мин.	-	
Плотность тока, А/дм ²	-	

Детали после обезжиривания тщательно промывают сначала в теплой (60 °С), а затем в холодной (17...20 °С) воде. Хорошее качество обработки характеризуется сплошной пленкой воды на очищенной поверхности.

Покрытие будет прочно сцеплено с восстанавливаемой поверхностью, если к началу его нанесения толщина оксидной пленки на этой поверхности не будет превышать 0,005 мкм. Межмолекулярные силы, обуславливающие сцепление, заметно проявляются, когда расстояние между взаимодействующими поверхностями соизмеримо с межатомными расстояниями. В этом случае соединение обеспечивается силами межатомного взаимодействия материалов покрытия и детали. Поэтому важнейшее значение для соединения покрытия с основой имеет удаление пленок оксидов на подготовительных операциях. Поверхность железа, например, покрыта слоем оксидов FeO, Fe₂O₃ и Fe₃O₄, а также гидрооксидами Fe(OH)₂ и Fe(OH)₃. Прочность соединения покрытия с основой может быть значительно улучшена, если также удален напряженный в результате механической обработки и поверхностный слой металла толщиной 15...30 мкм. Эта функция выполняется посредством травления.

Травление – процесс растворения поверхности металлов и их оксидов в кислых или щелочных растворах. Выделяющийся кислород при анодном травлении отрывает от восстанавливаемой поверхности оксиды и удаляет с этой поверхности травильный шлак.

Травление бывает химическое и электрохимическое (табл. 5.3). Химическое травление выполняют в растворах серной или соляной кислоты.

Таблица 5.3

Состав растворов и режимы травления

Компонент или параметр режима	Номер раствора при травлении				
	химическом		электрохимическом		
	1	2	3	4	5
Кислота, г/л: соляная	200...220	-	-	-	-
серная	-	150...250	330...400		2...3
Каталин, г/л	3...5	5...7	-		-
Железо, г/л: сернокислое	-	-	10...20		
хлористое			580...620		
Хромовый ангидрид, г/л				-	120...150
Температура раствора, °С	15...40	40...60	18...25	30...35	50...60
Анодная плотность тока, А/дм ²	-	-	50...70* 18...20**	40...60	20...40* 20...25**
Продолжительность, мин	3...60	3...60	2...3*; ..2	1,5. ..2	1...2* 0,2...0,5** .0,5**

*Сталь. **Чугун.

Электролитическое травление (анодную обработку) ведут сначала в ванне с 30%-м раствором серной кислоты, а затем в ванне для нанесения покрытий. Травильный шлам периодически удаляют из ванны.

Для химического травления черных металлов обычно применяют разбавленные растворы серной или соляной кислоты либо их смеси.

При травлении железа наблюдаются два процесса: растворение оксидов и железа, находящегося под слоем оксидов. Эти процессы протекают со скоростью, которая зависит от типа кислоты, ее концентрации и температуры. Вначале раствор проникает через поры и трещины в наружном слое окалины из Fe₂O₃ к слоям Fe₃O₄ и FeO, а затем к поверхности металла. Поскольку FeO растворяется с наибольшей скоростью, то трещины в слое Fe₃O₃ и Fe₃C₄ увеличиваются. С момента проникновения кислоты к поверхности металла начинается его растворение с выделением водорода.

Травление в растворах серной кислоты целесообразно вести при температуре 20...22 °С, а в соляной – 15...20 °С. Более низкая температура раствора соляной кислоты объясняется летучестью хлороводорода.

Преимущества сернокислых травильных растворов заключаются в их невысокой стоимости, нелетучести даже при температуре до 100 °С, возможности извлечения сульфатов железа, растворимость которых резко падает с уменьшением температуры. Растворы соляной кислоты обеспечивают низкую температуру обработки и возможность получения чистой и менее шероховатой поверхности.

Для уменьшения объема выделяющегося водорода, предохранения поверхности заготовок от перетравливания, а также для экономии кислот применяют ингибиторы травления.

Для травления отдельных участков или деталей крупных размеров, которые не могут быть помещены в ванны, используют специальные травильные пасты, которые состоят из травильных растворов, ингибитора и наполнителя (инфузорной земли, легких суглинков, асбеста).

Примерный состав травильной пасты

H_2SO_4 (плотность 1,84 г/см ³), см	29
H_3PO_4 (плотность 1,70 г/см ³), см ³	46
HCl (плотность 1,19 г/см ³), см ³	356
Уротропин, г	6
Сульфитцеллюлозный щелок (плотность 1,22 г/см ³), см ³	50
Измельченный асбест, г	400
Вода, см ³	90

Травильную пасту наносят на деталь (вручную или пастопультом) и выдерживают на ней в течение 1...6 ч, после чего смывают.

Скорость травления во всех случаях можно повысить встряхиванием или катанием деталей и особенно применением струйного травления или ультразвука. Струйное травление превосходит по скорости травление в стационарных ваннах в 2,5...5,0 раз в серной кислоте и в 5...10 раз – в соляной. Травление в ультразвуковом поле позволяет ускорить процесс, улучшить качество поверхности, снизить расход химикатов.

Одновременные обезжиривание и травление целесообразно применять при обработке деталей, поверхность которых загрязнена незначительно.

Операции предварительной подготовки являются общими в любом гальваническом процессе, поэтому их можно организовать в одной части помещения.

Непосредственно нанесение покрытия составляет основу гальванического процесса, оно будет рассмотрено ниже.

Заключительные операции технологического процесса имеют такие особенности. При извлечении подвесок с заготовками площадью 1 м² из раствора уносится 50...250 мл содержимого ванны. Поэтому после нанесения покрытия заготовки промывают в ванне – сборнике электролита с дистиллированной водой в целях его экономии и обеспечения чистоты сточных вод. Затем следуют нейтрализация в щелочном растворе оставшегося на поверхности заготовок раствора и промывка горячей и проточной холодной водой. Горячая вода один раз в 1...2 ч меняется. С деталей снимают изоляцию и сушат их в опилках, подогретых до 120...130 °С, или в сушильном шкафу. Опилки не должны содержать дубильных веществ. Для

уменьшения водородной хрупкости детали выдерживают в течение 1...2 ч при температуре 150...200 °С в масляной ванне или в шкафу.

Наибольший объем гальванических работ выполняют в стационарных гальванических ваннах, размеры которых нормализованы (табл. 5.4). Стационарные ванны содержат запас электролита, катодные и анодные штанги, электроды, систему нагрева, фильтрации и перемешивания электролита, приборы регулирования температуры электролита и массовой доли основных составляющих. Применяют также барабанные и колокольные ванны для мелких деталей, конвейерные автоматические комплексы в условиях крупносерийного и массового производств.

Т а б л и ц а 5 . 4

Типы и размеры гальванических ванн

Тип	Внутренние размеры, мм			Рабочий объем, л	
	Длина	Ширина	Высота		
01	600	550	800	250	
02	800	700		400	
03	1200			600	
04	1500			750	
05	800		1000	550	
06	1200			800	
07	1500			1000	1000
08				700	1300
09		1000		1400	
10	2200	1000	2000		
11	3000	700			
12		1000			
13	800	450	800	270	
14			1000	350	

Железнение и хромирование ведут в стационарных ваннах (рис. 5.3), а цинкование, как правило, в барабанных или колокольных ваннах (рис. 5.4, 5.5). Стальные части ванны для исключения соприкосновения с кислотными электролитами футеруют свинцом, резиной, полимерными и керамическими материалами.

Нагрев или охлаждение раствора выполняют змеевики с теплоносителем. Если змеевики соприкасаются с горячими сернокислыми электролитами, то их изготавливают из титана, свинца, освинцованной или нержавеющей стали. При внутреннем способе нагрева наблюдается неравномерность температуры электролита. Для нагрева хромовых электролитов, чувствительных к изменению температуры, применяют внешний их нагрев посредством пропускания пара через пароводяную рубашку между двумя ваннами, вставленными одна в другую. Ванны имеют бортовые вентиляционные отсосы с одной или двух сторон. Ванны не заземляют, а устанавливают на изоляторах ОФ-6-375 или ОФ-10-750. Паровую и водяную арматуру, в свою очередь, изолируют от ванн.

Электрический ток к электродам подводят через продольные медные или латунные штанги диаметром 15...40 мм, установленные на бортах ванны в изоляторах. Одна пара штанг соединена с положительным полюсом источника, а другая – с отрицательным. На каждую пару штанг размещают по несколько поперечных штанг, свободное перемещение которых позволяет устанавливать нужное катодно-анодное расстояние. Electrodes and parts hang from anode and cathode bars respectively.

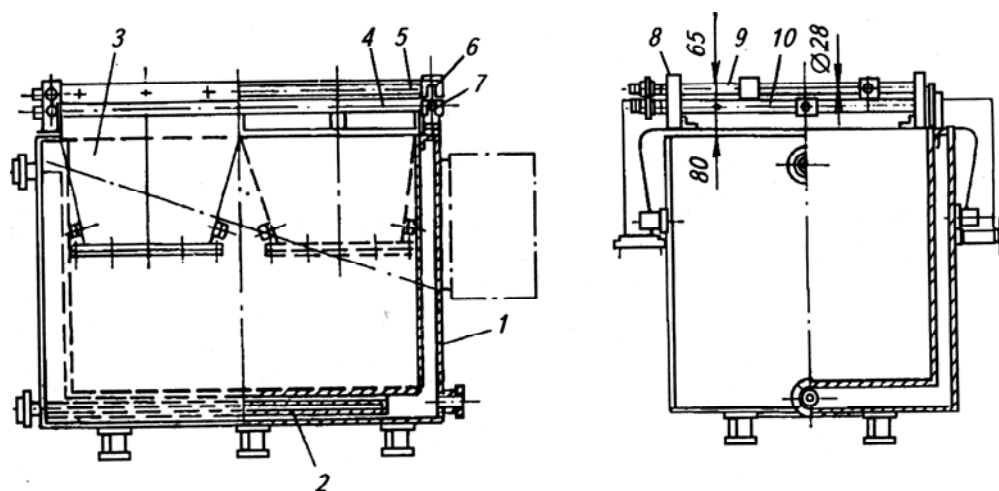


Рис. 5.3. Схема ванны для хромирования:
 1 – корпус; 2 – барботер для нагрева; 3 – бортовой отсос; 4 и 5 – катодная и анодная продольные штанги; 6 и 7 – анодная и катодная поперечные штанги; 8 – изолятор под штанги; 9 и 10 – анодная и катодная токоподводящие штанги

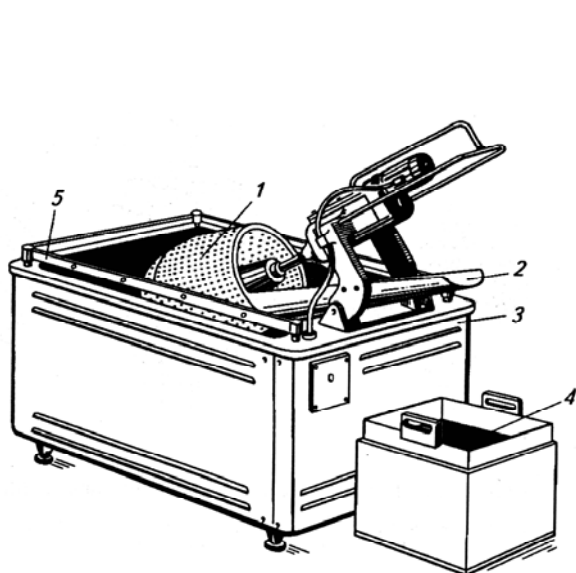


Рис. 5.4. Колокольная ванна:
 1 – колокол; 2 – желоб; 3 – емкость;
 4 – сетка; 5 – анодная штанга

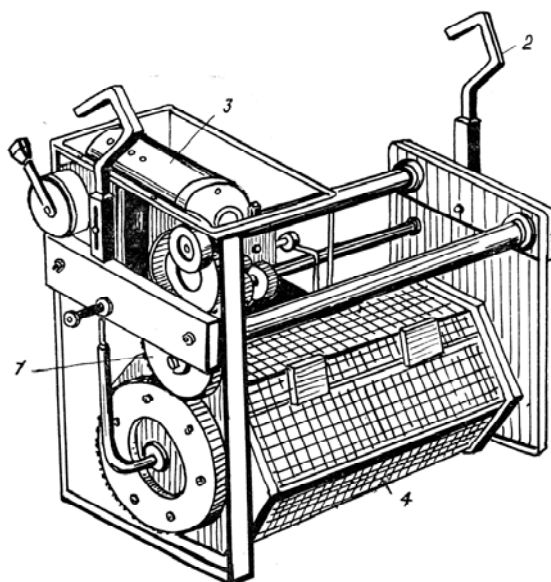


Рис. 5.5. Голтовчатый барабан:
 1 – приводной механизм;
 2 – подвесной токопроводящий крючок; 3 – электродвигатель;
 4 – барабан

Чтобы повысить производительность процесса (увеличить допустимую плотность тока) и улучшить свойства покрытий, ванны снабжают устройствами для перемешивания и фильтрации электролита, встряхивания или качания катодных штанг.

Передвижные фильтрационные установки (УФ-0,5) содержат насос и фильтр из ткани (сукна, полотна, стеклоткани), который задерживает механические примеси. Насос изготовлен из химически стойких материалов. Например, насос ЦКН-7 с подачей $7 \text{ м}^3/\text{ч}$ выполнен из керамики.

Постоянный или переменный ток необходимого вида напряжением 6...12 В вырабатывают источники тока.

Выпрямители различной мощности преобразуют (выпрямляют) переменный ток промышленной частоты в постоянный. Выпрямитель включает понижающий трансформатор, полупроводниковые элементы, пускорегулирующую и измерительную аппаратуру.

В ремонтном производстве применяют германиевые, селеновые и кремниевые выпрямители, однако наибольшее применение нашли последние, которые плавно изменяют ток в пределах 10...100 % с погрешностью $\pm 10 \%$.

Освоен выпуск более совершенных тиристорных выпрямителей сер. ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР и ТВИ, обладающих меньшими пульсацией выпрямленного тока и габаритными размерами, большими КПД и точностью стабилизации тока и напряжения. Буквы в названии серий обозначают: Е- охлаждение естественное воздушное; В – охлаждение водяное; Р – реверсивный; И – импульсный. Характеристики некоторых выпрямителей приведены в табл. 5.5

Т а б л и ц а 5 . 5

Основные характеристики выпрямителей

Выпрямители	Номинальные параметры		КПД, %	Габариты в плане, мм	Масса, кг
	ток, А	напряжение, В			
Кремниевые					
ВАК-100-12У4	100	12/6	78	580×570	190
ВАКР-100-12У4		24/12			
ВАКР-320-18У4	320	18/9	79	870×530	230
ВАК-630-24У4	630	24/12	88	1085×600	550
ВАК-1600-12У4	1600	12/6	82	870×530	260
ВАК-3200-12У4	3200		83	1290×820	1100
Тиристорные					
ТЕ1-100/12Т-0	100	12	78	600×400	135
ТЕ1-400/12Т-0	400		82	1000×400	315
ТК1-800/12Т-0	800		83	1000×600	380
ТВ1-1600/12Т-0	1600		510		
ТЕР1-400/12Т-0	400		82	1000×400	345
ТВР1-1600/24Т-0	1600		83	1000×600	525
ТВИ1-1600/24Т-0		24	87		670

Перемещение подвесок с деталями между позициями загрузки, ванными и позициями разгрузки выполняют вручную или с помощью автооператоров.

5.3. Основы электрокристаллизации, кинетика осаждения покрытий

Электролит у поверхности катода насыщен положительными ионами металла, а поверхность катода несет поверхностный электрический отрицательный заряд из электронов. Противоположные по знаку заряды образуют вследствие электростатического притяжения на границе металл – раствор двойной электрический слой с напряженностью до 10^7 В/см. Восстанавливающийся ион металла преодолевает этот слой и приобретает большую скорость на входе в строящуюся на катоде кристаллическую решетку, что объясняет ее неравновесное строение с измененными параметрами. В образовании кристаллической решетки участвуют также различные включения, как металлические, так и неметаллические в виде гидроксидов, воды, водорода и поверхностно-активных веществ.

Сложные катодные и анодные процессы электролиза протекают в несколько стадий:

- перенос ионов путем диффузии, конвекции и миграции из глубины раствора к наружной поверхности двойного электрического слоя;
- переход ионов на границе фаз со стороны электролита к металлу;
- диффузия атомов по поверхности электрода к местам роста и образования кристаллической решетки, внедрение атомов в эту решетку.

Адсорбция ионов на катоде с последующим вступлением в кристаллическую решетку может быть причиной кристаллизационной поляризации, которая обратно пропорциональна току обмена.

Взаимосвязь между кристаллизационной поляризацией, током обмена и величиной зерна хорошо прослеживается при осаждении металлов из растворов простых солей, так как в этом случае другие виды поляризации незначительны.

Все металлы в зависимости от величины кристаллизационной поляризации могут быть разбиты на три группы:

- 1) серебро, кадмий, олово и др.;
- 2) висмут, медь и цинк;
- 3) кобальт, железо, никель.

Металлы первой группы, имеющие сравнительно большой ток обмена ($10^{-2} \dots 10^{-1}$ А/см²), осаждаются с очень малой поляризацией – порядка нескольких милливольт. При плотности тока, применяемой в гальванотехнике, образуются крупнокристаллические покрытия с зернами размером в несколько микрометров.

Висмут, медь и цинк обладают другими характеристиками. Величина зерна у них $10^{-3} \dots 10^{-3}$ мкм. Ток обмена намного меньше: $10^{-5} \dots 10^{-1}$ А/см², а поляризация равна 10^{-2} В.

Кобальт, железо, никель осаждаются в виде мелких кристаллов величиной $10^{-4} \dots 10^{-3}$ мкм. Токи обмена у них очень малы: $10^{-8} \dots 10^{-9}$ А/см². Поляризация достигает 0,1 В.

Перемешивание электролита, повышение температуры, концентрации разрядоспособных ионов осаждаемого вещества и другие факторы, облегчающие подачу ионов к катоду, снижают поляризацию.

Электролитические осадки по свойствам и строению отличаются от металла, полученного в обычном металлургическом процессе. Изменение свойств металла обусловлено особенностью катодного процесса его получения.

Структура покрытия зависит от катодной поляризации. Чем выше эта поляризация, тем мельче зерно. Поэтому все факторы, увеличивающие поляризацию, благоприятно сказываются на структуре покрытия.

Образование и рост кристаллов подчиняются общим закономерностям образования твердой фазы расплава или раствора. Электрокристаллизация проходит две фазы: возникновение центров кристаллизации и рост этих центров. Каждая из этих фаз характеризуется определенной скоростью, зависящей от технологических факторов процесса. В том случае, когда скорость образования новых центров кристаллизации превышает скорость роста уже появившихся кристаллов, образуется большее число мелких кристаллов (осадок приобретает мелкокристаллическую структуру). При обратном соотношении скоростей возникают более крупные кристаллы. Структура осажденных металлов – один из признаков, определяющих качество покрытий. Покрытия, имеющие мелкокристаллическую структуру, наиболее работоспособны.

К примеру, формирование железных покрытий сопровождается ростом пакетов атомных плоскостей способом повторяющегося шага (рис. 5.6), образованием блоков, субзерен, различных кристаллов и аperiodическим отравлением их поверхности. На аperiodическое отравление кристаллов железа и других металлов оказывают влияние условия, при которых протекает процесс формирования новой фазы, а также скорость превращения подводимой энергии в избыточную энергию поверхностного натяжения и свободную энергию атомов, образованную в результате возникновения дефектов структуры.

Все факторы, приводящие к уменьшению скорости накопления дефектов в структуре (повышение температуры и концентрации раствора, уменьшение плотности катодного тока), должны вызвать удлинение (укрупнение) кристаллов железа и образование волокнистой (игольчатой) или волокнисто-слоистой структуры покрытий.

Чем больше катодная поляризация, тем чаще возникают новые центры кристаллизации, а покрытие приобретает мелкокристаллическую структуру. Катодный ток непрерывно перераспределяется по элементарным площадкам катода вслед за появлением новых кристаллов. Вокруг растущего кристалла раствор обедняется ионами металла, вследствие чего линии тока перераспределяются и металл начинает осаждаться на тех участках катода, где массовая доля ионов выше.

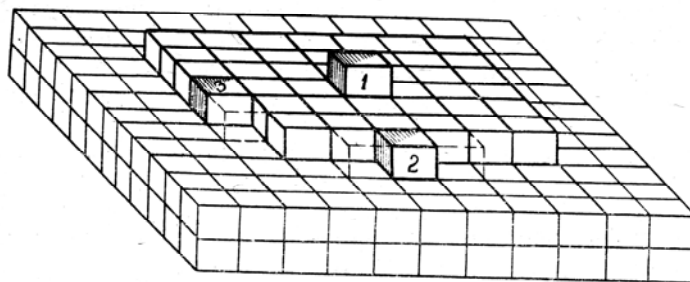


Рис. 5.6. Схема роста объемного кристалла железа:
 1 – положение иона с минимальным выигрышем энергии;
 2 – положение иона с большим выигрышем энергии;
 3 – положение иона с максимальным выигрышем энергии

К повышению катодной поляризации приводят:

- уменьшение массовой доли ионов осаждаемого металла;
- добавление в электролит кислот и солей, переносящих заряды, но в осаждении не участвующих;
- добавка в электролит органических веществ (гуммиарабика, декстрина, желатина, фенола, глицерина и др.), образующих коллоидные или молекулярные растворы, которые блокируют поверхность растущих кристаллов;
- рост плотности тока;
- уменьшение площади электродов и температуры электролита. Перемешивание электролита снижает катодную поляризацию, в этом случае возможно повышение плотности тока при понижении температуры раствора.

Плотность дислокаций в гальваническом покрытии $10^{11} \dots 10^{12} \text{ см}^{-2}$.

Одно из требований, предъявляемых к гальваническим покрытиям, – их равномерная толщина на всей поверхности изделия. Однако их получение связано с определенными трудностями. Даже на плоских катодах, расположенных на одинаковом расстоянии от анодов, покрытие распределяется неравномерно: на углах и краях толщина больше расчетной, на средней части – меньше. Особенно явно это наблюдается на профилированных изделиях с большими выступами и углублениями.

Равномерность распределения толщины покрытия зависит от природы электролита. Она различна для изделий одной и той же формы, но покры-

ваемых в разных электролитах. Свойство электролита получать равномерные по толщине покрытия называют его рассеивающей способностью.

На толщину покрытий большое влияние оказывает взаимное расположение катода и анода. Для улучшения равномерности используют следующие приемы: устанавливают дополнительные и фигурные аноды (рис. 5.7 *a* и *д*), повторяющие форму покрываемых изделий так, чтобы расстояния между всеми участками катода и анода были примерно равными; используют дополнительные катоды (рис. 5.7 *б* и *г*), забирающие на себя часть тока; применяют неметаллические экраны (рисунок 3.35 *в*), которые выполняют те же функции, что и дополнительные катоды.

Использование устройств снижает затраты металла на дендритообразование в 3...5 раз, а длительность электролиза и расход электроэнергии уменьшаются при этом в 1,5...2,0 раза.

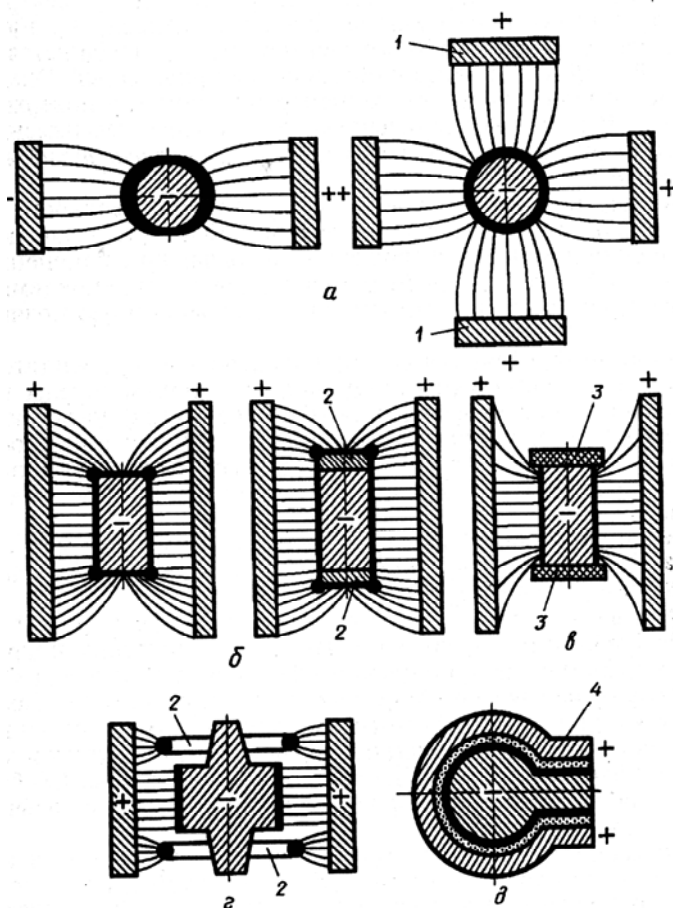


Рис. 5.7. Возможные варианты улучшения равномерности гальванических покрытий с установкой:
a – дополнительных катодов; *б* и *г* – дополнительных катодов;
в – неметаллических экранов; *д* – фигурных анодов;
1 и *2* – дополнительные аноды и катоды; *3* – экраны;
4 – фигурный анод

5.4. Железнение

Железнение обладает хорошими технико-экономическими показателями: исходные материалы и аноды дешевые и недефицитные; высокий выход металла по току (85...95 %); высокая производительность – скорость осаждения железа составляет 0,2...0,5 мм/ч; толщина твердого покрытия достигает 0,8...1,2 мм; возможность в широких пределах регулировать свойства покрытий (микротвердость – 1,6...7,8 ГПа) в зависимости от их назначения обуславливает универсальность процесса; достаточно высокая износостойкость твердых покрытий, не уступающая износостойкости закаленной стали.

Железнение используют при восстановлении изношенных деталей (наращивание до нормального или ремонтного размера); исправлении брака механической обработки; упрочнении рабочих поверхностей деталей из малоуглеродистой и среднеуглеродистой сталей, не прошедших при изготовлении термической обработки.

Твердое гальваническое железо по химическому составу напоминает малоуглеродистую, а по некоторым свойствам (твердость, прочность, износостойкость, коррозионная стойкость) – среднеуглеродистую сталь. Металлы группы железа в соединениях могут быть двух- и трехвалентными. Электроосаждение осуществляется из растворов двухвалентных соединений. Находящиеся в электролите двухвалентные ионы металла легко окисляются до трехвалентных кислородом воздуха, проникающим в электролит. Наличие в электролите таких ионов снижает выход металла по току и ухудшает свойства покрытий.

По составу электролиты для железнения делят на три группы, различающиеся видом аниона соли железа: хлористые, сернокислые и смешанные (сульфатно-хлористые).

Сернокислые электролиты по сравнению с хлористыми менее химически агрессивны и устойчивы к окислению. Однако они уступают хлористым электролитам по производительности, качеству получаемых покрытий и другим показателям. Поэтому наибольшее применение получили простые (без добавок) хлористые электролиты.

По температурному режиму электролиты делятся на горячие и холодные. Первые используют при температуре 60...90 °С, позволяющей проводить железнение при большой плотности тока и высокой производительности. Однако горячие электролиты менее удобны в эксплуатации: требуется большой расход энергии на нагрев и поддержание высокой температуры, частая их корректировка, мощная вентиляция и др. Холодные электролиты (электролиз ведется без нагрева) лишены указанных недостатков, но допускают использование меньших плотностей тока и поэтому менее производительны.

В табл. 5.6 приведены наиболее распространенные электролиты. Электролит № 1 стабилен по составу, позволяет получать плотные и гладкие покрытия твердостью до 6,5 ГПа и толщиной до 1,0...1,5 мм.

Наличие в электролите № 2 аскорбиновой кислоты предотвращает его окисление и образование гидроксида железа, в результате чего возможно получение высококачественных покрытий при низкой температуре и достаточно высокой плотности тока. Однако дороговизна аскорбиновой кислоты препятствует широкому применению этого электролита. Холодный сульфатно-хлористый электролит № 3 обладает достоинствами хлористых и серноокислых электролитов: менее агрессивен и более устойчив к окислению, чем хлористые, и в то же время позволяет получать покрытия хорошего качества с высокой производительностью.

Т а б л и ц а 5.6

Составы электролитов и режимы железнения

Компонент и режим	Электролит		
	1	2	3
Хлористое железо, г/л	200...350	100...600	150...200
Серноокисное железо, г/л	-	-	200
Аскорбиновая кислота, г/л	-	0,5...2,0	-
Кислотность, рН	-	0,5...1,3	0,6...1,1
Температура электролита, °С	70...80	20...50	30...50
Плотность тока, А/дм ²	20...50	10...30	20...25
Выход по току, %	85...95	85...92	85...92

Для получения высокой прочности сцепления железного покрытия с деталью важно, чтобы пассивная пленка, образовавшаяся при травлении, была разрушена и первые атомы железа осаждались на активную чистую поверхность детали. Активирование поверхности происходит при выполнении переходов «выдержка без тока» и «выход на заданный режим» (разгон). Для этого после анодного травления и промывки детали навешивают на катодную штангу ванны железнения, где они находятся без тока в течение 10...60 с. Во время выдержки температура детали сравнивается с температурой электролита и поверхность частично активируется ионами хлора и водорода, находящимися в электролите. После выдержки деталей без тока включают ток плотностью 2...5 А/дм² и проводят электролиз 0,5...1,0 мин. Затем в течение 5...10 мин катодную плотность тока постепенно увеличивают до заданного значения. Малая плотность тока в начале электролиза обеспечивает количественное преобладание выделения водорода над осаждением железа. Катодный ток и интенсивно выделяющийся водород, являясь восстановителями, заканчивают начатое при выдержке без тока активирование покрываемой поверхности. Низкая плотность тока в начале электролиза и постепенное ее повышение приводят к осаждению мягкого подслоя железа с небольшими внутренними напряжениями. Все эти факторы способствуют получению высокой прочности сцепления покрытий с деталями.

При выборе режима железнения следует иметь в виду общие для большинства гальванических процессов положения: чем выше катодная

плотность тока, тем больше скорость осаждения металла и производительность процесса; чем ниже температура и концентрация электролита и выше плотность тока (жестче режим), тем больше твердость железных покрытий и меньше их максимально достижимая толщина; чем выше температура и концентрация электролита, тем большую плотность тока можно допустить без ущерба для качества покрытий.

При железнении необходимо выдерживать заданную кислотность электролита, так как ее снижение приводит к резкому ухудшению сцепляемости покрытий вплоть до отслоения.

При железнении применяют растворимые аноды из малоуглеродистой стали. Соотношение между анодной и катодной поверхностями должно быть в пределах 1...2, т.е. $S_A: S_K = 1...2$. При нанесении покрытий на внутренние поверхности это соотношение выдержать практически невозможно. Оптимальное значение диаметра анода при железнении внутренних поверхностей составляет $1/3...2/3$ диаметра отверстия. Чтобы уменьшить загрязнение электролита анодным шламом, следует помещать аноды в чехлы (мешки) из кислотостойкой ткани (стеклоткань, шерсть и др.). Расстояния между деталями и анодами должны быть одинаковыми и равными 60...150 мм. Длина анодов не более длины покрываемой поверхности. Расстояние между деталями 70...150 мм.

5.5. Хромирование

Хромирование позволяет получать мелкозернистые покрытия микротвердостью 4,0...12,0 ГПа, обладающие низким коэффициентом трения и высокой сцепляемостью с основой. Хром химически стоек против воздействия многих кислот и щелочей, жароустойчив. Высокие твердость, жаростойкость, химическая стойкость и низкий коэффициент трения хрома обеспечивают деталям высокую износостойкость даже в тяжелых условиях эксплуатации, превышающую в 2...5 раз износостойкость закаленной стали. Наибольшей износостойкостью хромовое покрытие обладает при твердости 7,0...9,2 ГПа. В то же время хромирование – энергоемкий, дорогой, малопроизводительный процесс, применять который нужно в строго необходимых случаях.

Хромирование используют для следующих целей:

- защитно-декоративное хромирование деталей автомобилей, велосипедов, мотоциклов, вагонов и т.д.;
- повышение износостойкости и срока службы пресс-форм, штампов, измерительных и режущих инструментов, трущихся поверхностей деталей машин (поршневые кольца, штоки гидроцилиндров) и др.;
- восстановление малоизношенных ответственных деталей;

- повышение отражательной способности при изготовлении зеркал, отражателей, рефлекторов.

Хромирование отличается от других гальванических процессов. Его особенности следующие:

1. При хромировании главным компонентом электролита служит хромовый ангидрид (CrO_3), образующий при растворении в воде хромовую кислоту ($\text{CrO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CrO}_4$). При других процессах главный компонент – соль осаждаемого металла. Хром осаждается лишь при наличии в электролите определенного количества посторонних анионов, чаще всего сульфатов. Хром в электролите находится в шестивалентном состоянии, и на катоде разряжается многовалентный комплексный хромовый анион. Механизм осаждения хрома на катоде весьма сложен и еще недостаточно изучен.

2. При хромировании большая часть тока расходуется на побочные процессы, в том числе на неполное восстановление хромат-ионов и обильное выделение водорода, в результате чего выход хрома по току мал (15...65%). С увеличением концентрации CrO_3 выход хрома по току увеличивается, а повышение температуры электролита приводит к уменьшению, тогда как при осаждении других металлов эти закономерности не изменяются.

3. Хромовый анод растворяется при электролизе с анодным выходом по току, в 7...8 раз превышающим выход по току на катоде. В результате концентрация вредных для процесса трехвалентных ионов хрома в электролите непрерывно возрастает. Поэтому при хромировании применяют нерастворимые аноды, изготовленные из свинца или из сплава свинца с 6% сурьмы. Электролит постоянно обедняется, и его необходимо периодически корректировать, добавляя в него хромовый ангидрид.

При хромировании наибольшее применение получили простые сульфатные электролиты № 1, 2 и 3, состоящие из хромового ангидрида, серной кислоты и воды (табл. 5.7).

Т а б л и ц а 5 . 7

Составы электролитов и режимы хромирования

Компонент и режим	Номер электролита					
	1	2	3	4	5	6
Хромовый ангидрид, г/л	120...150	200...250	300...350	225...300	380...420	580...620
Серная кислота, г/л	1,2...1,5	2,0...2,5	3,0...3,5	-	-	-
Соляная кислота, мл/л	-	-	-	-	-	50...60
Серноокислый стронций, г/л	-	-	-	5,5...6,5	-	
Кремнефтористый калий, г/л	-	-	-	18...20	-	
Углекислый кальций, г/л	-	-	-	-	40...60	
Иодид калия, г/л	-	-	-	-	-	10
Серноокислый кобальт, г/л	-	-	-	-	18...20	
Температура электролита, °С	50...65	45...60	40...50	50...65	18...25	20...30
Плотность тока, А/дм ³	30...100	20...60	15...30	40...100	100...300	100...300
Выход по току, %	15...18	15...17	10...12	18...20	35...40	55...65

На хромирование большое влияние оказывает соотношение между концентрациями хромового ангидрида и серной кислоты ($\text{CrO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$). Для осаждения покрытий хорошего качества и с наибольшим выходом по току необходимо, чтобы это отношение было равным 100 (допускается изменение от 90 до 120). С этой же целью в электролите должно быть 1...2% (от количества Cr_2O_3) ионов трехвалентного хрома, который получают проработкой электролита током при температуре 45...50°C, $D_k=4...6$ А/дм² и соотношении $S_k: S_A=4...6$. При проработке на каждый литр электролита необходимо пропустить 3...4 А-ч электричества.

Малоконцентрированный электролит № 1 отличается лучшей рассеивающей способностью и более высоким выходом по току. Покрытия, полученные в нем, обладают наибольшей твердостью и износостойкостью. Однако он нуждается в частом добавлении CrO_3 . Его применяют при износостойком хромировании и восстановлении изношенных деталей.

Концентрированный электролит № 3 отличается низким выходом по току и плохой рассеивающей способностью. Вместе с тем он обладает большей стабильностью по концентрации CrO_3 и соотношению $\text{CrO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$, не требует высокого напряжения на ванне. В нем осаждаются плотные и менее напряженные покрытия. Все это обуславливает применение этого электролита при защитно-декоративном хромировании деталей сложной конфигурации.

Электролит № 2 позволяет получать как твердые износостойкие покрытия, так и покрытия с хорошими защитно-декоративными свойствами. Его обычно называют универсальным или стандартным.

В электролите № 4 соотношение хромового ангидрида и сульфат-ионов (SO_4^{2-}) поддерживается на заданном уровне автоматически. Поэтому такой электролит называется саморегулирующимся. Для поддержания концентрации сульфат-ионов в электролит вводят сернокислый стронций (SrSO_4) и кремнефтористый калий (K_2SiF_6), которые обладают ограниченной растворимостью в электролите для хромирования. Введенные в электролит в количествах, превышающих их растворимость, эти соли будут находиться в небольшом избытке на дне ванны в виде твердой фазы. Содержание ионов SO_4^{2-} в растворе при изменении концентрации CrO_3 будет постоянным за счет частичного растворения этого избытка.

К достоинствам такого электролита по сравнению с сульфатными относятся: стабильность состава, что уменьшает частоту его корректировки; колебания температуры электролита и плотности тока меньше отражаются на внешнем виде покрытий и выходе по току; хорошая рассеивающая способность и более высокие свойства покрытий; большой выход по току (18...22 %) позволяет в 1,3...1,5 раза увеличить производительность хромирования.

Однако саморегулирующийся электролит более сложен по составу, чувствителен к хлоридам и обладает большой агрессивностью.

Саморегулирующийся холодный электролит № 5 имеет высокие выход по току (35...40 %) и скорость осаждения хрома (0,18 ...0,50 мм/ч), примерно в 10 раз превышающую скорость осаждения из обычных электролитов, при хорошем качестве покрытий. Однако для поддержания температуры 18...25 °С при плотности тока до 300 А/дм² требуется мощный холодильный агрегат.

Электролит № 6 – один из электролитов семейства «хромиспел», обладает высоким выходом металла по току, высокой производительностью (скорость осаждения хрома достигает 0,6 мм/ч.), а покрытия обладают высокими физикомеханическими свойствами.

При хромировании обезжиренные детали завешивают в ванну, выдерживают 0,5...1,5 минуты и подвергают анодному травлению по режиму, описанному выше. Затем переключают полярность и устанавливают заданный режим хромирования. В случае покрытия рельефных и чугунных деталей для улучшения равномерности покрытий рекомендуется в начале электролиза давать «толчок» тока (ток в 1,5...2 раза превышает расчетное значение), а спустя 1...2 мин ток постепенно снижают до заданного значения. Благодаря этому удается осадить хром на углубленных участках детали.

При хромировании в универсальном электролите в зависимости от назначения покрытий рекомендуются следующие температура электролита и плотность тока: для защитно-декоративного блестящего хромирования 50 °С и 15...25 А/дм², для повышения износостойкости и восстановления малоизношенных деталей – 55 °С и 50...60 А/дм²; при хромировании изношенных деталей с большой толщиной покрытия – 67 °С и 100 А/дм².

Площадь поверхности свинцовых анодов должна в два раза превышать площадь хромируемой поверхности. Расположение анодов и деталей в ванне такое же, как при железнении.

Обычные хромовые покрытия плохо смачиваются маслами и прирабатываются. Чтобы повысить износостойкость деталей, работающих при недостаточной смазке, следует применять пористое хромирование. Пористый хром представляет собой покрытие, на поверхности которого специально создается большое количество пор или сетка трещин, достаточно широких для проникновения в них масла. Его можно получить механическим, химическим и электрохимическим способами.

Наиболее широко применяют электрохимический способ. Он заключается в том, что хром осаждается при режиме, обуславливающим появление в покрытии сетки микротрещин. Для их расширения и углубления покрытие подвергают анодной обработке в электролите того же состава, что и при хромировании (поверхность трещин активнее и растворяется гораздо быстрее других участков хрома). В зависимости от режима хромирования и анодного травления можно выполнить пористость двух типов: канальчатую и точечную.

Для получения пористых покрытий деталь хромируют в универсальном электролите при плотности тока $40\text{...}50 \text{ А/дм}^2$, а затем переключают полярность ванны и проводят анодное травление при той же плотности тока. Канальчатую пористость получают при температуре электролита $58\text{...}62^\circ\text{С}$ и продолжительности травления $6\text{...}9$ мин., а точеную – при $50\text{...}52^\circ\text{С}$ и $10\text{...}12$ мин. На анодное травление оставляют припуск $0,01\text{...}0,02$ мм на диаметр.

Пористое хромирование поршневых колец увеличивает их износостойкость в $2\text{...}3$ раза, а износостойкость гильзы – в $1,5$ раза, так как обладает эффектом самосмазывания.

5.6. Никелирование

Никелирование чаще всего применяют в качестве защитно-декоративного покрытия. Для повышения защитных свойств обычно никель осаждают на подслое меди или наносят трехслойное покрытие. Иногда никелирование применяют для повышения износостойкости и восстановления деталей машин. Для никелирования наибольшее применение получили сернокислые электролиты, основным компонентом которых является сернокислый никель, а также хлористые, сульфатно-хлористые, фторборатные и сульфаматные электролиты. В состав электролитов вводят буферную добавку – борную кислоту, стабилизирующую кислотность. Часто вводят также специальные добавки (блескообразователи), обеспечивающие получение блестящих покрытий.

5.7. Цинкование

Цинкование чаще всего применяют для защиты изделий из черных металлов от коррозии. Цинковые покрытия применяют для защиты от коррозии крепежных деталей и восстановления посадочных поверхностей мало-нагруженных деталей.

Для цинкования используют электролиты (табл. 5.8) различных типов: кислые (№ 1), щелочные (№ 2 и 3), цинкатные (№ 2), аммиакатные (№ 3). Для увеличения производительности процесса многие электролиты перемешивают.

Кислые электролиты обладают плохой рассеивающей способностью, а покрытия, полученные в них, – меньшей коррозионной стойкостью, чем полученные в щелочных электролитах. В то же время кислые электролиты более стабильны, допуская применение более высокой плотности тока при выходе цинка по току близком к 100% . Поэтому они находят широкое применение для покрытия простых малорельефных изделий. В последние

годы все больше применяют цинкатные (№ 2) аммиакатные (№ 3). Они просты по составу и дешевы, обладают высокой электропроводностью и хорошей рассеивающей способностью. Основным недостатком аммиакатных электролитов – наличие в сточных водах солей аммония, которые затрудняют нейтрализацию вод и в то же время недопустимы в ней по требованиям санитарии (допускается не более 2,5 мг/л).

Т а б л и ц а 5 . 8

Составы электролитов и режимы цинкования

Компоненты и режим	Номер электролита		
	1	2	3
Сернокислый цинк, г/л	200...300	-	-
Оксид цинка, г/л	-	12...15	10..20
Едкий натр, г/л	-	100...20	-
Сернокислый натрий, г/л	50...100	-	-
Сернокислый алюминий, г/л	30...50	-	-
Хлористый аммоний, г/л	-	-	200...300
Декстрин, г/л	8...10	-	-
Борная кислота, г/л	-	-	25...30
Мездровый клей, г/л	-	-	1...2
Полиэтиленполиамин, г/л	-	2...4	-
Тиомочевина, г/л	-	0,5	-
Кислотность, рН	3,5...4,5	-	5,9...6,5
Температура электролита, °С	15...25	18...25	15...30
Плотность тока, А/дм ²	1...2	1...2	0,5...1,5

При цинковании применяют цинковые аноды марок Ц0, Ц1 и Ц2, которые во избежание загрязнения электролита необходимо помещать в чехлы из кислотостойкой ткани. Перед цинкованием детали подвергают обезжириванию, промывке и химическому травлению в растворе серной кислоты.

5.8. Композиционные электрохимические покрытия

Активно внедряется в восстановительное производство нанесение гальванических композиционных хромовых, никелевых и железных покрытий. Возможно получение композиционных слоев из многих известных электролитов в присутствии мелкодисперсных порошков полимеров, карбидов, оксидов, боридов и др. При максимальной концентрации порошков в электролитах можно получить до 30...40 % гетерогенности покрытий, что положительно сказывается на их физико-механических и эксплуатационных свойствах. Технология электроосаждения позволяет получать композиционные покрытия толщиной более 1000 мкм с возможным регулированием их структуры и свойств.

При нанесении композиционных электрохимических покрытий на основе хрома используют ультрадисперсные алмазные добавки размером 4 нм, массовая доля которых в покрытии достигает 2%. Добавки обеспечивают большой эффект упрочнения. На режимах блестящего хромирования частицы модификатора внедряются в покрытие в виде скоплений размером 100...200 нм. Возможно, что это связано с агрегатированием частиц под действием ионных сил электролита.

Износостойкие композиционные покрытия на основе железа наносят из электролита состава, г/см³:

1) $\text{FeCl}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 550...600; $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 80...90; $\text{Na}_2\text{H}_4\text{C}_4\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 1...1.5; электрокорунд белый М14 – 90...100 или карбид кремния зеленый; плотность тока 35...40 А/дм²; рН=0,7...1,0; железоникелевая матрица с содержанием дисперсной фазы электрокорунда до 40 %;

2) $\text{FeCl}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 550...600; $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 90...100; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ – 80; электрокорунд белый М14 – 90...100 или карбид кремния зеленый; плотность тока 35...40 А/дм²; рН=0,7...1,0; железокобальтовая матрица с содержанием дисперсной фазы электрокорунда до 40 %;

3) железоникелевая, железокобальтовая матрица с содержанием ультрадисперсной фазы синтетических алмазов и другие композиции оксидов, боридов, карбидов и т.д.

На рабочие поверхности деталей, работающих в жестких условиях коррозионно-механического изнашивания, целесообразно наносить тонкие полимерные пленки. Это способствует снижению изнашивания на 45...48 % такого материала по сравнению с базовым покрытием при трении в условиях граничной смазки, износ контртела при этом уменьшается в 1,5...3,0 раза.

5.9. Способы нанесения покрытий

Ванные способы. Детали помещают в электролит, находящийся в какой-либо емкости (в стационарных ваннах, колокольных и барабанных ваннах).

Стационарная ванна (см. рис. 5.3) представляет собой емкость прямоугольной формы. В нее входят: нагревательное устройство (при необходимости); бортовые отсосы для удаления вредных испарений; катодные и анодные штанги, подсоединенные к источнику тока, для завешивания деталей и анодов. Внутреннюю поверхность ванны футеруют кислотостойкими материалами.

Мелкие детали (например, метизы при цинковании) покрывают во вращающихся колоколах (см. рис. 5.4) и барабанах (см. рис. 5.5) из токо-непроводящего кислотостойкого материала.

Колокол имеет форму усеченного конуса. Он приводится во вращение с частотой 8...15 мин⁻¹. Ток к деталям (катоде), насыпанным в корпус, подводится с помощью металлических щеток или опусканием в него стержня или провода с грузом, контактирующим с деталями. Анод представляет собой пластину, опускаемую в корпус на переносном штативе.

Детали загружают в колокол с электролитом, в который помещают анод, включают механизм его вращения и источник тока. При вращении детали пересыпаются, контактируют с катодом и между собой. Некоторые из них временно могут оказаться не под током. По окончании электролиза колокол наклоняют над баком с сеткой. Детали попадают в сетку, а электролит стекает в бак, откуда он снова заливается в колокол.

К недостаткам колокольных ванн относят быстрый нагрев электролита, низкую производительность и значительные потери электролита.

Колокола погружного типа и барабанные ванны лишены отмеченных недостатков. Колокол 1 (см. рис. 5.4) или барабан вращается в емкости 3 с электролитом, который поступает к деталям через отверстия в стенках. Анодные пластины подвешивают на штанги 5 по обеим сторонам колокола. Детали выгружают поднятием последнего из емкости. Электролит выливается в емкость, а детали по желобу 2 высыплются на установленную рядом сетку 4.

Вневаннные способы. При восстановлении корпусных и других крупных деталей площадь наращиваемых поверхностей мала по сравнению со всей площадью. Поэтому их наращивают вневанными способами: проточным, струйным, электроконтактным и др.

Принцип такого нанесения заключается в том, что у поверхности, подлежащей покрытию, с помощью несложных устройств создают местную электролитическую ячейку (ванночку), в которую подают электролит, а деталь и анод подключают к источнику тока.

При проточном способе электролит прокачивают насосом с определенной скоростью через пространство между покрываемой поверхностью и анодом (например, через отверстие в корпусе коробки передач). Наибольшая скорость осаждения металлов достигается при скорости протекания электролита более 1 м/с, создающей турбулентный режим течения. Плотность тока может быть увеличена в 5...10 раз (при железнении – до 200...300 А /дм² и более).

При струйном способе электролит подают струями в межэлектродное пространство через отверстия ячейки. Для получения равномерного покрытия отверстия в ячейке, через которые поступает электролит, выполняют под углом 30...40° к радиальному направлению (рис. 5.8). При проточном и струйном способах за счет уменьшения обеднения прикатодного слоя электролита создаются условия, позволяющие в 2...3 раза повысить производительность процесса. Эти способы обеспечивают более высокое качество покрытий и лучшую равномерность. Первыми восстанавливают

посадочные поверхности корпусных деталей (блоков цилиндров, корпусов коробок передач и др.), а вторыми – крупные валы, например коленчатые.

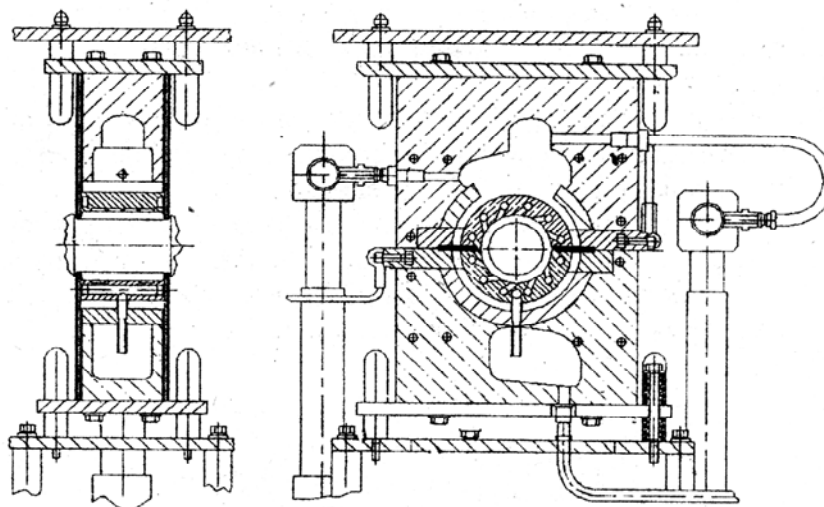


Рис. 5.8. Схема электролитической ячейки для струйного осаждения металлов

В ремонтном производстве применяют также местное осаждение при неподвижном электролите. Отверстие герметизируют снизу, заливают в него электролит 2 (рис. 5.9), устанавливают анод 3 и подключают к источнику тока. Само отверстие служит ванночкой. Способ часто применяют для восстановления посадок под подшипники в корпусных деталях. Электролиз происходит в очень маленьком объеме электролита без регулирования температуры. В результате он обедняется, перегревается и усиленно испаряется. Местным железнением трудно получить высококачественные покрытия толщиной более 0,3 мм. Для увеличения объема электролита и улучшения условий электролиза устанавливают стакан 6 и кольцо 4.

Сущность электроконтактного способа (электронатирания) заключается в том, что электроосаждение металла происходит при прохождении постоянного тока через маленькую ванночку. Последняя образуется в зоне контакта покрываемой детали 7 (рис. 5.10) с анодом 3, обернутым адсорбирующим, пропитанным электролитом материалом. Деталь и анод перемещаются одна относительно другого (деталь вращается при неподвижном аноде, или наоборот), т.е. возникает трение анода по детали.

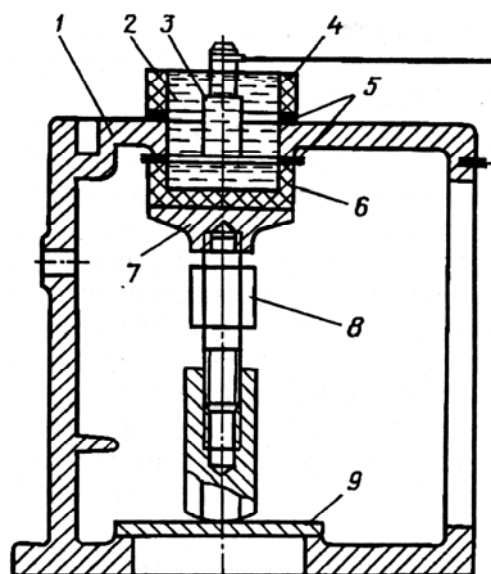


Рис. 5.9. Схема местного железнения:

- 1 – деталь; 2 – электролит;
- 3 – анод; 4 – кольцо;
- 5 – резиновые прокладки;
- 6 – стакан; 7 – подставка;
- 8 – раздвижная распорка;
- 9 – опорная плита

Чаще используют нерастворимые аноды, представляющие собой угольный стержень, плотно обернутый адсорбирующим материалом (обычной или стеклянной ватой, губкой в суконном чехле, фетром, войлоком, капроном). Обертку называют анодным тампоном. Он непрерывно смачивается электролитом, который поступает к нему через шланг от сосуда, расположенного над установкой. Электролит стекает затем в емкость, находящуюся под деталью.

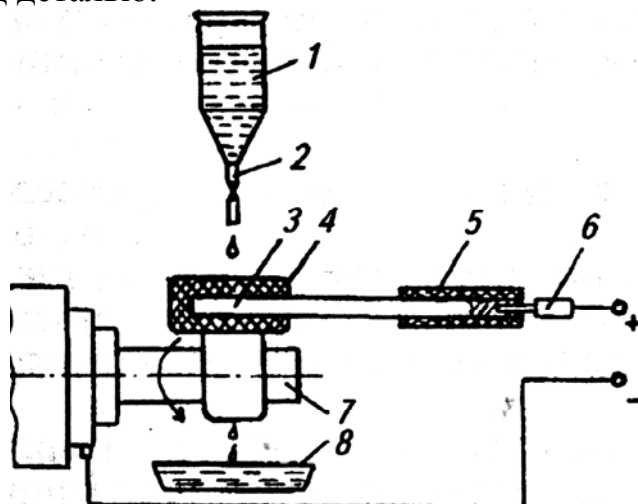


Рис. 5.10. Схема электроконтактного осаждения металла:
1 – сосуд с электролитом; 2 – кран; 3 – графитовый анод; 4 – тампон;
5 – рукоятка; 6 – штекер; 7 – деталь; 8 – ванна

К недостаткам этой установки относят перегрев и испарение электролита в тампоне, возникновение загазованности и быстрое изнашивание тампона, что снижает производительность процесса и качество покрытий. Для их устранения заменяют скольжение анодного тампона по детали его качением (рис. 5.11).

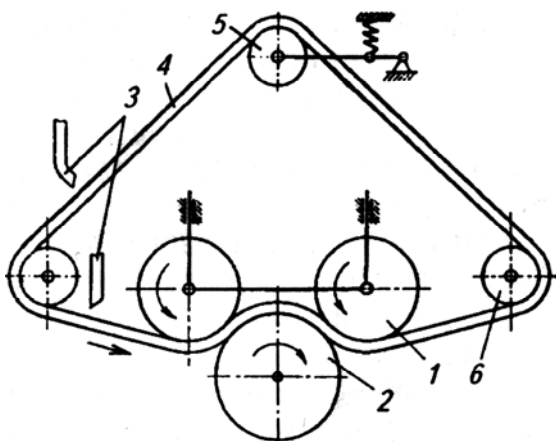


Рис. 5.11. Схема анодного устройства с ленточным тампоном:
1 – анод; 2 – катод (деталь);
3 – трубки подачи электролита;
4 – ленточный тампон;
5 и 6 – натяжной и направляющий ролики

качением (рис. 5.11). За счет большей площади контакта анодного устройства с деталью увеличиваются допустимая плотность тока и производительность процесса. Благодаря такому устройству значительно улучшается равномерность распределения тока по окружности катода, чем при использовании обычного тампона трения скольжения. Поэтому предложено режим электролиза характеризовать средней плотностью тока, равной отношению силы проходящего тока ко всей площади покрываемой поверхности, а не к площади контакта.

Разработан также устойчивый к окислению состав электролита из

сульфата (250...300 г/л) и хлорида (130...150 г/л) железа. Режим процесса: рН 0,9...1,2; средняя катодная плотность тока 20...60 А/дм²; скорость вращения катода 20...40 м/мин; расход электролита 0,3...0,6 л/мин; угол обхвата детали тампоном 90...120°. Скорость осаждения составляет 3,3...12,3 мкм/мин, их микротвердость 5,5...7,0 ГПа. Покрытия осаждаются гладкими и равномерными, если их толщина достигает 0,1 мм.

При электроконтактном способе за счет постоянного обновления электролита и перемещения анода значительно повышаются производительность процесса и свойства покрытий, уменьшаются их шероховатость и дендритообразование, улучшается равномерность, что позволяет во многих случаях исключить последующую обработку; нет необходимости изолировать непокрываемые поверхности. Однако в отличие от ваннных способов, когда одновременно покрывают десятки деталей, электроконтактный способ требует индивидуального подхода. Поэтому его целесообразно применять для восстановления и упрочнения посадочных поверхностей крупных валов, осей и корпусных деталей с помощью цинковых, железоцинковых, железных, медных и хромовых покрытий.

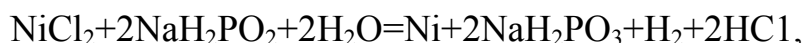
5.10. Нанесение покрытий химическим способом

Химическим способом наносят металлические покрытия на изношенные поверхности при их восстановлении и для коррозионной защиты, а неметаллические покрытия – для защиты поверхностей от коррозии и придания им диэлектрических и декоративных свойств. При нанесении покрытий используется химическая энергия исходных компонентов.

5.10.1. Нанесение металлических покрытий

Металлические покрытия (меди, кадмия, никеля, олова и др.) можно получить путем осаждения на восстанавливаемые поверхности ионов металлов из водного раствора их хлоридов.

Основой, например, химического никелирования является реакция восстановления никеля из водных растворов его солей гипофосфитом натрия в результате окислительно-восстановительной реакции:



здесь степень окисления фосфора возрастает с +1 до +3, ионы никеля Ni⁺² восстанавливаются до металлического никеля, а ионы водорода H⁺ восстанавливаются из воды до газообразного водорода.

Процесс химического никелирования ведут при температуре раствора 45...99 °С. При нижнем пределе температуры производительность осаждения покрытий весьма низкая (1...2 мкм/ч).

Покрытие приобретает полублестящий металлический вид, аморфную структуру и является сплавом никеля с фосфором. Для повышения защитных свойств никелевых покрытий применяют термоокисидирование деталей в воздушной среде при температуре 900°C в течение 1 ч. В результате процесса на поверхности никеля образуется слой NiO сине-зеленого цвета толщиной 5...7 мкм.

Для нанесения покрытий из никеля применяют как кислые (pH=4...6), так и щелочные растворы (pH=8...10). Составы некоторых растворов, применяемых для нанесения никель-фосфорных покрытий, приведены в табл. 5.9.

Т а б л и ц а 5.9

Растворы для химического никелирования

Состав раствора	Массовая доля, кг/м ³	Значение pH	Содержание фосфора, мас. %
Хлористый никель Гипофосфит натрия Уксусно-кислый натрий	21 24 10	5,1...5,2	8,70
Хлористый никель Гипофосфит натрия Муравьино-кислый натрий	30 10 10	5,2	9,15
Серно-кислый никель Гипофосфит натрия Уксусно-кислый натрий	30 10 10	5,4	6,87
Хлористый никель Гипофосфит натрия Янтарно-кислый натрий Хлористый аммоний	25 30 15 30	5,5	4,00
Хлористый никель Гипофосфит натрия Хлористый аммоний Лимонно-кислый натрий	30 5 25 50	8,0	3,40
Хлористый никель Гипофосфит натрия Хлористый аммоний Лимонно-кислый натрий	30 20 25 150	8,0	11,90
Хлористый никель Гипофосфит натрия Хлористый аммоний Уксусно-кислый натрий	25 24 30 45	7,5...10,0	13,60
Хлористый никель Гипофосфит натрия Хлористый аммоний Уксусно-кислый натрий	40...50 7...20 40...50 50...60	8,0...10,0	3,50...5,00

Необходимое значение pH щелочных растворов достигается добавлением 25%-го гидроксида аммония.

Для химического лужения поршней из высококремниевое алюминий-вого сплава при нанесении прирабочного покрытия применяют водный раствор следующего состава: 45 г/л двухлористого олова SnCl_2 ; 30 г/л каустической соды NaOH и 20 мл/л пероксида водорода H_2O_2 .

Температура раствора в стационарных ваннах – 50...60 °С, а время нанесения покрытия толщиной 5 мкм – 3...5 мин.

5.10.2. Нанесение неметаллических покрытий

Оксидная пленка на поверхности стали или чугуна может быть получена одним из следующих способов: обработкой заготовок изделий в кислотных или щелочных растворах, электрохимической обработкой на аноде в хромовой кислоте или щелочи, термической обработкой при температуре 400...800°С.

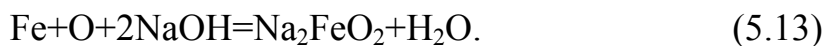
Кислотные растворы для химического оксидирования не обеспечивают стабильную скорость роста толщины покрытий. Этого недостатка лишены щелочные растворы, хотя скорость осаждения покрытий из них ниже, чем из кислотных.

Цвет оксидной пленки зависит от технологии ее получения и толщины, марки металла и вида механической обработки. Толщина пленки достигает 0,5...0,8 мкм при щелочном оксидировании и до 10 мкм при высокотемпературных процессах.

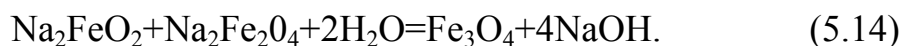
Наибольшее применение нашло химическое оксидирование путем погружения заготовок в горячий раствор щелочи с добавкой окислителей и выдержки в нем. Универсальный щелочной раствор для оксидирования стали и чугуна содержит (г/л): 500...550 NaOH , 50...100 NaNO_3 , 200...250 NaNO_2 .

Раствор готовят следующим образом. Едкий натр загружают в емкость с отверстиями в стенках диаметром 3 мм, которую навешивают в ванну с водой. Дожидаются полного растворения едкого натра. Затем в раствор вводят NaNO_3 и NaNO_2 . Раствор перемешивают до полного растворения компонентов. Состав оксидирующего раствора контролируют с помощью химического анализа.

В концентрированном растворе едкого натра при высокой температуре в присутствии окислителей железо растворяется с образованием соли NaFeO_2 :



При большом содержании окислителя Fe^{2+} окисляется до Fe^{3+} и Na_2FeO_2 переходит в $\text{Na}_2\text{Fe}_2\text{O}_4$. Эти две соли взаимодействуют с образованием оксида железа Fe_3O_4 :



Полученный оксид покрывает поверхность металла, кристаллизуется на ней и образует сплошную пленку. Полученная при этом черная пленка толщиной до 1,5 мкм является защитно-декоративным покрытием для работы в легких коррозионных условиях. Процесс получил название – воронение.

Режим оксидирования зависит от марок сталей (табл. 5.10).

Т а б л и ц а 5 . 1 0

Режимы оксидирования сталей

Марка стали	Температура, °С	Время, мин
Среднеуглеродистая сталь	135...145	30...50
Низкоуглеродистая сталь	145...155	40...60
Низко- и среднелегированные стали	145...155	60...90

Оксидирование проводят при температуре кипения раствора, поэтому по мере испарения воды температура в ванне повышается. Для высокоуглеродистых сталей начальная температура оксидирования 135.. 137 °С, а для легированных сталей – 140...145 °С.

Оксидные покрытия образуются только после накопления в растворе начального количества солей железа. Поэтому после приготовления раствора в ванну завешивают стальные полосы и выдерживают их в течение нескольких часов. Об изменении состава этого раствора во время работы ванны судят по температуре кипения раствора, которую непрерывно контролируют. Повышение ее свидетельствует о необходимости добавления воды, а понижение – об обязательном добавлении окислителей.

Вся обрабатываемая поверхность должна омываться оксидирующим раствором, при этом не должно быть полостей у поверхности, заполненных воздухом. В процессе оксидирования в стационарных ваннах детали через каждые полчаса ополаскивают холодной водой.

Постепенно в ванне накапливается осадок гидроксида железа, который периодически удаляют с помощью скребков.

После оксидирования и тщательной промывки деталей от щелочи их рекомендуют промыть в нагретом до 90 °С растворе жидкого или ядрового хозяйственного мыла в течение 2 мин.

Защитную способность пленок повышают пропитыванием минеральным маслом или лаками.

Оксидные покрытия, полученные электрохимической обработкой, имеют лучшие свойства, чем химические покрытия. Пленки в этом случае толще и плотнее. В начале процесса ведут обезжиривание и анодную обработку в 5%-м растворе $K_2Cr_2O_7$ при температуре 45...55 °С, плотности тока 3...5 А/дм² в течение 10...15 мин. Оксидирование выполняют в щелочном или кислом растворах (табл. 5.11).

Т а б л и ц а 5 . 1 1

Растворы и режимы при электрохимическом оксидировании

Щелочной раствор		Кислый раствор	
NaOH, г/л	350...600	CrO ₃ , г/л	150...250
i_a , А/дм ²	3...5	HBF ₄ , г/л	1...2
t , °С	65...80	i_a , А/дм ²	5...10
τ , мин	10...30	t , °С	40...50
		τ , мин	10...15

i_a – плотность анодного тока; t – температура электролита; τ – время обработки.

Электрохимическое оксидирование требует сложного оборудования, а трудоемкость нанесения покрытия большая по сравнению с химическим оксидированием.

Оксидно-фосфатные пленки имеют антикоррозионные и адгезионные свойства, значительно превосходящие свойства обычных оксидных покрытий.

Поверхности перед нанесением покрытия обезжиривают, промывают, протравливают или обрабатывают дробью. Непосредственно перед нанесением покрытия поверхности промывают в разбавленном растворе фосфорной кислоты (8...10 г/л) при комнатной температуре.

Состав растворов для нанесения оксидно-фосфатных покрытий приведен в табл. 5.12.

Т а б л и ц а 5 . 1 2

Состав растворов и режимы нанесения оксидно-фосфатных покрытий

Компоненты раствора и режимы	Номер раствора			
	1	2	3	4
Ca(NO ₃) ₂ , г/л	10...20	-	15...30	-
Ba(NO ₃) ₂ , г/л	-	80...100	-	80...100
MnO ₂ , г/л	-	11,8...12,2	0,5...1,5	10...15
H ₃ NO ₄ , г/л	1...3	0,5...2,5	0,5...1,0	4...5
t , °С	94...98	94...98	98...100	98...100

Подготовку ванны начинают с растворения окислителя в воде. Нитрат кальция растворяют в холодной воде, а нитрат бария – в горячей при интенсивном перемешивании. Затем оксид марганца для предотвращения взмучивания насыпают в мешочки из хлопчатобумажной ткани, которые укладывают на дно ванны. Качество раствора определяет содержание в нем свободной кислоты и нитрата (кальция или бария).

Углеродистые и легированные стали можно обрабатывать во всех растворах, чугун – в растворе № 2, а закаленные стали – в растворе № 4. Продолжительность обработки – 40...60 мин. Уменьшение содержания фосфорной кислоты и снижение температуры раствора приводят к получению крупнокристаллических покрытий с пониженными защитными свойствами.

После оксидирования детали промывают последовательно холодной и горячей водой, а затем помещают на 2...3 мин в кипящий мыльный раствор. В заключение детали высушивают и промасливают.

Фосфатирование – процесс осаждения на поверхности металла нерастворимых в воде фосфорно-кислых соединений в результате взаимодействия металла с ортофосфорной кислотой. Процесс заключается в обработке поверхности металла подкисленными растворами однозамещенных фосфатов, в результате которой на поверхности заготовки образуется пленка фосфатов.

Фосфатные покрытия представляют собой мелкокристаллическую пленку, состоящую из фосфатов марганца и железа или цинка и железа. Фосфатная пленка толщиной 7...50 мкм имеет черный цвет и пористую структуру из-за растворения основного металла. Пленка прочно соединена с основой. На пленке хорошо закрепляются лакокрасочные материалы, она обладает большой электропробивной прочностью (до 1000 В). По твердости фосфатная пленка превосходит медь и латунь, но уступает стали.

Фосфатная пленка состоит из двух слоев. Первый слой, непосредственно примыкающий к металлу, прочно с ним связан и содержит монофосфаты железа. Вторым, наружным слоем состоит из монофосфатов марганца с незначительной примесью вторичных фосфатов железа, он хрупкий и имеет кристаллическое строение.

Для получения фосфатных покрытий применяют однозамещенные фосфаты двухвалентных металлов: марганца, железа, цинка и кадмия. Препарат Мажеф (по начальным буквам составляющих – марганца, железа и фосфорной кислоты) представляет собой смесь однозамещенных солей ортофосфорной кислоты: $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, MnHPO_4 – и имеет следующий химический состав (%): Fe (2,4...2,5); Mn (14); фосфатов в пересчете на P_2O_5 (46...52); SO_4 (1); CaO и Cl – следы; вода (1...2).

Холодное фосфатирование не получило широкого распространения по причине того, что растворы легко гидролизуются, свободная кислотность их растет, а полученные покрытия имеют пониженную защитную способность.

Наиболее эффективно фосфатирование протекает в растворе, содержащем 30...33 г/л препарата Мажеф при температуре 96...98 °С. Толщина пленки при этом достигает 7...50 мкм.

Обработка в препарате Мажеф имеет существенные недостатки: длительный процесс, высокую температуру и узкий ее рабочий интервал. Кроме того, обильно выделяется водород, что приводит к охрупчиванию стали. Разработан процесс ускоренного фосфатирования, устраняющий отмеченные недостатки. Состав и режим работы ванн в этом случае приведены в табл. 5.13.

Фосфатируют углеродистые и низколегированные стали, чугун, кадмий, медь и ее сплавы и алюминий. Высоколегированные стали плохо поддаются фосфатированию.

Т а б л и ц а 5 . 1 3

Состав и режим работы ванн при фосфатировании

Компоненты раствора и режимы	Номер раствора	
	1	2
Препарат Мажеф	30...40	30...40
Zn(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	50...65	50...70
NaF	2...3	-
NaNO ₃	-	4...5
H ₃ PO ₄	-	0,1...1,0
t, °C	45...65	92...96
τ, мин	8...15	8...10

5.11. Микродуговое оксидирование

В настоящее время в ремонтном производстве все большее распространение получает способ микродугового оксидирования (МДО). Способ МДО располагает большими возможностями и позволяет формировать покрытия различного состава и структуры, прочносцепленные с основой и характеризующиеся высокой стойкостью к нагреву, коррозии, изнашиванию.

К преимуществам МДО относятся: доступность и дешевизна реактивов; получение многофункциональных покрытий – от декоративных до плотных износостойких; нанесение как на внешние, так и на внутренние поверхности деталей любой формы. Способом МДО можно восстанавливать и упрочнять детали, изготовленные из алюминиевых сплавов, титана, магния и др., например корпуса насосов, торцовые уплотнения, колеса гидромашин.

Явление возникновения при электролизе множества микродуговых разрядов между анодом и катодом впервые было обнаружено в 1969 году и явилось основой, на которой в Институте неорганической химии Сибирского отделения Академии наук России (ИНХ СО АН СССР) начал разрабатываться способ нанесения покрытий, получивший название МДО.

Сущность МДО заключается в том, что на алюминиевую деталь, расположенную в электролитической ванне, через специальный источник питания подается ток, приводящий к образованию на поверхности детали микродуговых разрядов, под воздействием которых поверхностный слой детали перерабатывается в кристаллический оксид алюминия. На поверхности детали образуется прочный слой керамики толщиной до 300 мкм.

МДО, берущее свое начало от анодного оксидирования (анодирования), впервые было воспроизведено на группе вентильных металлов, обладающих ярко выраженной односторонней проводимостью, но отличается

от обычного анодирования как режимами формирования, так и по свойствам получаемых покрытий.

Электролит как одна из важнейших составляющих МДО, в частности его природа, состав, является существенным фактором, определяющим характеристики формируемых покрытий.

Используемые в технологии МДО электролиты делятся на четыре группы:

1. Электролиты, не содержащие элементов, способных образовывать нерастворимые оксиды. На деталях в таких электролитах образуются покрытия только за счет окисления материала детали (водные растворы кислот или щелочей (30 % – H_2SO_4), (5 % – $NaOH$)).

2. Электролиты, содержащие катионы и анионы, способные образовывать нерастворимые оксиды, которые входят в состав покрытий (водные растворы кислот или щелочей (30 % – H_2SO_4), (5 % – $NaOH$) с жидким стеклом, гексаметафосфатом натрия, алюминатом натрия и др.).

3. Электролиты, содержащие простые и комплексные анионы на основе металлов и неметаллов.

4. Электролиты, содержащие мелкодисперсные порошки, электролиты-суспензии.

Покрытия формируются как на литейных алюминиевых сплавах, так и на деформируемых. Фазовый состав покрытий многообразен, покрытия

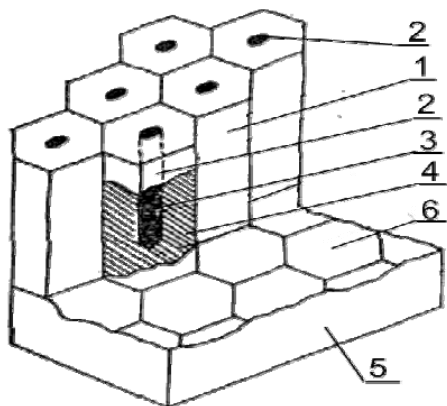


Рис. 5.12. Структура МДО-покрытий:

- 1 – оксидная ячейка; 2 – пора;
- 3 – стенка оксидной ячейки;
- 4 – беспористый оксидный слой;
- 5 – алюминий; 6 – отпечатки оснований оксидных ячеек на поверхности алюминия

состоят в основном из кристаллического α и $\gamma-Al_2O_3$, включениями компонентов электролита, интерметаллидов ($CuMgAl_2$, $CuMgAl_6$, Al_3CuMg_3SiFe и др.). Покрытие имеет гексагональную плотноупакованную матрицу с различными включениями и дислокациями (рис. 5.12). В покрытиях образуются сжимающие внутренние напряжения, что приводит к повышению усталостной и коррозионной прочности.

Установки для микродугового оксидирования бывают конденсаторные и импульсные – тиристорные.

Для упрочнения деталей из алюминиевых сплавов рекомендуется использовать электролит состава « $KOH-H_3BO_3$ » с добавкой крахмала. Рациональные режимы микродуговой обработки следующие:

плотность тока – 15–20 А/дм²; продолжительность оксидирования – 100–120 мин; электролит KOH – 4...6 г/л; H_3BO_3 – 20–25 г/л; крахмал – 6–12 г/л. При этих факторах МДО толщина упрочненного слоя составит 120–150 мкм, микротвердость – 16,2–19,6 ГПа.

6. ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ

6.1. Полимерные материалы и их свойства

Полимерные материалы представляют собой композиции, изготовленные из двух и более компонентов на основе высокомолекулярных органических веществ и способные под влиянием повышенных температур и давления принимать определенную форму, которая сохраняется в условиях эксплуатации изделия. Их главная составная часть – полимер, соединяющий все компоненты. Кроме него в состав входят наполнители, пластификаторы, отвердители, катализаторы (ускорители), красители и другие добавки.

По техническим свойствам полимерные материалы делятся на два основных вида: термореактивные (реактопласты) и термопластичные (термопластичные).

Реактопласты при комнатной температуре жидкие или твердые, а при первом нагревании до определенной температуры переходят в вязкотекучее состояние и под давлением могут формоваться в изделия требуемой формы. Этот процесс *необратим*, изделия из реактопластов расплавить вторично невозможно. К реактопластам, получившим наибольшее применение в автомобилестроении и авторемонтном производстве, относятся фенопласты, амидопласты, полиэфирные и эпоксидные смолы.

Термопласты при комнатной температуре находятся в твердом состоянии, при нагреве переходят в вязкотекучее состояние, при охлаждении возвращаются в твердое состояние. Процесс *обратимый*: термопластичский полимер можно использовать многократно. К термопластам относят полиэтилен, полипропилен, полистирол, винипласт, фторопласт, поликрилат, полиамид, поликарбонат, полиформальдегид и ряд других полимеров.

Физико-механические свойства полимеров различны и зависят от многих факторов: структуры, состояния аморфной и кристаллической составляющих, наполнителей и других факторов.

Полимерные материалы используются при ремонте в чистом виде и в виде композиций, в состав которых входят наполнители. Наполнители определяют важнейшие качества композиций (пластмасс): прочность, твердость и др. В зависимости от вида и состава наполнителей пластмассы бывают с листовым, волокнистым, порошковым и газовоздушным наполнителями.

К пластмассам с листовым наполнителем (слоистые пластмассы) относятся стеклотекстолит (наполнитель – стеклоткань), асботекстолит (асбе-

стовая ткань), текстолит (хлопчатобумажная ткань), гетинакс (плотная бумага), древеснослоистый пластик и др.

Слоистые пластмассы изготавливаются прессованием ткани или бумаги (несколько слоев), пропитанной полимером (смолой), с последующей термообработкой (сушкой).

Пластмассы с волокнистыми наполнителями получают аналогично слоистым пластмассам. Наибольшее применение нашли стекловолокнит (наполнитель – стеклянные нити или волокно), асбоволокнит (асбестовое волокно), волокнит (хлопчатобумажное волокно) и др.

В пластмассах с порошковым наполнителем в качестве наполнителя используются древесная мука, слюда, каолин, тальк, графит (молотые), металлический порошок и другие материалы.

Полимерные материалы в авторемонтном производстве используются для изготовления небольших деталей: шестерен, крепежных деталей, элементов декоративного назначения, арматуры, фрикционного, антифрикционного и светотехнического назначения, герметизирующих и некоторых других, а также для устранения дефектов деталей и изготовления технологической оснастки.

6.2. Восстановление деталей полимерными материалами

6.2.1. Устранение трещин и пробоев в стенках детали

Нанесение полимерных композиций отличается простотой, небольшой трудоемкостью и не требует сложного оборудования. Эти композиции образуют с поверхностью восстанавливаемой детали прочное соединение.

Наибольшее распространение при заделке трещин и пробоин получили эпоксидные композиции на основе эпоксидных смол. Под эпоксидными смолами понимаются полимеры, содержащие в своих молекулах эпоксидные группы $\text{CH}_2\text{-O-CH}$, которые обладают высокой реакционной способностью. Сырьем для производства смол служат газы (дифенилонпропан и эпихлоргидрин) – продукты нефтепереработки. Эпоксидные смолы представляют собой вязкие жидкости, требования к ним регламентированы ГОСТ 10587–76 (табл. 6.1).

Т а б л и ц а 6 . 1

Основные виды эпоксидных смол

Марка	Средняя молекулярная масса, г/моль	Содержание эпоксидных групп, мас. %
ЭД-14	540...620	13,9...15,9
ЭД-16	480...540	16,0... 18,0
ЭД-20	390...430	19,9...22,0
ЭД-22	300	21,1...23,5

Наибольшее применение получила смола ЭД-16. Смолы ЭД-20 и ЭД-22 менее вязки и применяются для заделки тонких трещин. Последние смолы обладают большими прочностью на изгиб и ударной вязкостью, но имеют значительную усадку, что снижает прочность их соединения с металлом.

Неотвержденные эпоксидные смолы легко растворяются в органических растворителях (ацетоне, толуоле и др.) и в таком состоянии имеют ограниченное применение, например для стабилизации поливинилхлорида. Ценные физико-механические свойства эпоксидные смолы приобретают в отвержденном состоянии. При взаимодействии с аминами и кислотами эти смолы при затвердевании приобретают значительные теплостойкость и прочность.

Отвердители смол делятся на две группы: холодного (16...20 °С) и горячего (100...200 °С) отверждения. К первой группе относятся полиэтиленполиамин (ПЭПА), этилендиамин, гексаметилентриамин и другие отвердители. Во вторую группу входят ангидриды декарбоновых кислот (малеиновый, фталевый и др.), ароматические амины (триэтаноламин, метафенилендиамин и др.) и амины кислот (дициандиамин). Характеристика наиболее распространенных отвердителей для смолы ЭД-16 приведена в табл. 6.2.

Т а б л и ц а 6 . 2

Характеристика отвердителей

Отвердитель	Содержание в композиции, мас. %	Температура плавления, °С	Температура отверждения, °С
ПЭПА	9...12,6	10	20...120
Гексаметилендиамин	9...13,5	42	20...120
Малеиновый ангидрид	27...40	63...64	120...150
Фталевый ангидрид	43...62	131,6	120...180
Дициандиамин	7...8	200...205	180...200

Пластификаторы добавляют в эпоксидные смолы для придания композиции эластичности, так как отвержденные смолы довольно хрупки, не выдерживают вибраций и ударов. Жидкие пластификаторы снижают начальную вязкость состава, облегчают введение в него наполнителей, снижают теплостойкость и склонность к старению. В качестве пластификаторов используют высокомолекулярные малолетучие жидкости: дибутилфталат (ДБФ), диоктилфталат, трикрезилфосфат, низкомолекулярные полиамидные смолы Л-18, Л-19 и Л-20. Режимы отверждения некоторых эпоксидных составов приведены в табл. 6.3.

Наполнители в виде тонкоизмельченных порошков вводят в эпоксидный состав для снижения внутренних напряжений из-за разности коэффициентов термического расширения составляющих материалов, уменьшения усадки, лучшего заполнения зазоров, регулирования вязкости, повы-

шения электро- и теплопроводности и снижения стоимости состава. Виды основных наполнителей даны в табл. 6.4.

Таблица 6.3

Режимы отверждения эпоксидных составов
на основе эпоксидной смолы ЭД-16

Отвердитель	Температура отверждения, °С	Время отверждения, ч	
		минимальное	оптимальное
ПЭПА	20	24	70...160
	40	8...10	45...50
	60	2...3	20...24
	80	1...1.6	5
	100	1	3
Фталевый ангидрид	15	20	60
	30	15	45
	50	10	30
	100	7	20
	180	0,5	1
	200	0,5	0,7

Таблица 6.4

Рекомендуемое количество наполнителей (г на 1 г смолы)
для приготовления эпоксидной композиции

Наполнитель	ЭД-16	ЭД-20
Железный порошок	2,00	1,60
Графит	0,80	0,40
Алюминиевая пудра	0,25	0,20
Бронзовая пудра	1,30	0,80
Кварцевая мука	2,30	1,50
Портландцемент	2,00	1,20
Измельченный асбест	1,00	0,85
Белая сажа	Не содержится	0,35
Фарфоровая мука	1,50	1,45

Физико-механические свойства эпоксидной композиции приведены в табл. 6.5.

Процесс приготовления эпоксидной композиции следующий. Смолу разогревают при температуре 60...70 °С до жидкого состояния и в нее вводят необходимое количество пластификатора. После тщательного перемешивания веществ в смесь добавляют наполнитель и непосредственно перед употреблением – отвердитель. В течение 25...30 мин после введения отвердителя композиция должна быть использована. Эпоксидные композиции относятся к термореактивным пластмассам, которые при нагревании переходят в неплавкие и нерастворимые вещества. Токсичная во время приготовления композиция становится безвредной после ее полного отверждения.

Таблица 6.5

Физико-механические свойства эпоксидных составов

Компонент	Массовая доля	Предел прочности, МПа		Твердость по Бриггеллю, МПа	Ударная вязкость, кДж/м ²	Теплостойкость по Мартенсу, °С
		сжатие	изгиб			
ЭД-16 ДБФ Железный порошок ПЭПА	0,351 0,053 0,561 0,035	54...60	40...45	120...150	4,0...5,0	60
ЭД-16 ДБФ Портландцемент ПЭПА	0,400 0,080 0,480 0,040	45...60	30...35	110...130	1,5...3,0	50
ЭД-16 ДБФ Графит ПЭПА	0,690 0,069 0,172 0,069	46...57	25...32	130...170	2,0...3,0	59
ЭД-16 Полиэфир Графит Малеиновый ангидрид	0,540 0,054 0,190 0,216	110	46,4	130...160	4,0	68
ЭД-16 ДБФ Каолин Малеиновый ангидрид	0,546 0,055 0,180 0,219	156	65,5	130...160	2,0	56
ЭД-16 ДБФ Титановые белила Малеиновый ангидрид	0,654 0,065 0,216 0,065	200	80	213	4,5	85
ЭД-16 ДБФ Цемент-500 ПЭПА	0,422 0,042 0,506 0,030	45...60	35...50	110...130	2,0...3,5	50

Составы 3, 4 и 8 (табл. 6.6) применяют для заделки трещин и пробоев на стенках корпусных деталей, трещин на стенках емкостных деталей (баков, радиаторов) и герметизации мест сварки или пайки. Внутренние трущиеся поверхности втулок и вкладышей восстанавливают составами 5, 6 и 7. Изношенные шейки валов или опоры подшипников в корпусных деталях восстанавливают посредством составов 6, 7 и 8. Износ наружных поверхностей втулок и резьб устраняют составами 1, 2, 3 и 9. Трещины и пробойны в аккумуляторных батареях и электроизолирующих деталях заделывают составом 3.

Порядок устранения трещин следующий. С помощью лупы 8...10-кратного увеличения определяют границы трещины и на ее концах сверлят отверстия диаметром 2,5...3,0 мм. Затем по всей длине снимают фаску под

углом 60...70° на глубину 1,0...3,0 мм. Если толщина детали менее 1,5 мм, то снимать фаску не рекомендуется.

Таблица 6.6

Составы композиций на основе эпоксидных смол

№ п/п	Количество компонентов, мас. частей				Свойства	
	Эпоксидная смола		ДБФ	ПЭПА		Наполнитель
	ЭД-16	ЭД-20				
1	100	-	15...20	10...11	Маловязкая композиция	
2	-	100	10...15	12...13		
3	100	-	15...20	10...11	Молотая слюда 40	Высоковязкие композиции, не стекающие с наклонных поверхностей
4			20		Молотая слюда 40; алюминиевая пудра 5; белая сажа 35	
5			15		Графит 40...50	
6			15...20		Железный порошок 120; графит 20	
7	-	100	10	12...13	Стальной порошок 150; графит 25	Хорошая теплопроводность, низкий коэффициент трения, высокий модуль упругости
8	100	-	15...20	10...11	Железный (чугунный) порошок 150	Высокий модуль упругости. Высокая адгезионная и когезионная прочность
9			45	9		

Зачищают поверхность на расстоянии 40...50 мм от трещины до металлического блеска. Обезжиривают поверхности трещины и зачищенного участка. После просушивания в течение 8...10 мин поверхность детали вновь обезжиривают и вторично просушивают.

Деталь 1 (рис. 6.1 а) устанавливают так, чтобы поверхность с трещиной 2 длиной до 20 мм находилась в горизонтальном положении, и наносят шпателем эпоксидный состав 5 на поверхности трещины и зачищенного участка. Заделывают трещины чугунных и стальных деталей составом 1, 2, 3 (табл. 6.6), а из алюминиевых сплавов – 6, 7 (см. табл. 6.6).

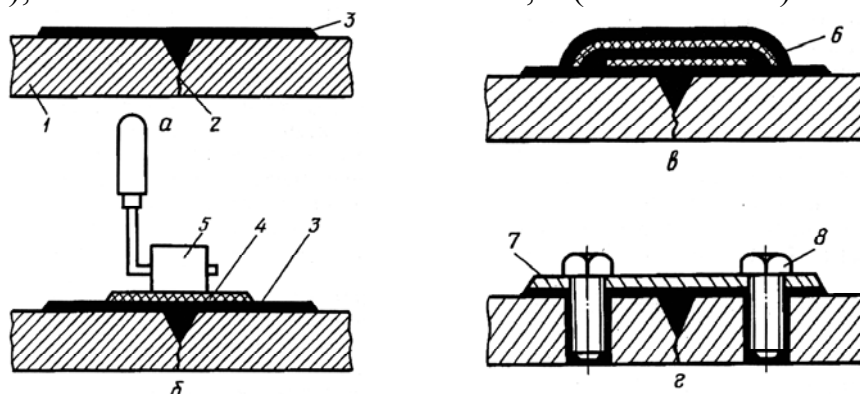


Рис. 6.1. Схемы заделки трещин:

а...г – варианты; 1 – деталь; 2 – трещина; 3 – эпоксидный состав; 4 и 6 – накладки из стеклоткани; 5 – ролик; 7 – металлическая накладка; 8 – болт

Трещину длиной 20...150 мм (см. рис. 6.1, б) заделывают так же, но после нанесения эпоксидного состава 3 на нее дополнительно укладывают накладку 4 из стеклоткани. Последняя перекрывает трещину со всех сторон на 20...25 мм. Затем накладку прикатывают роликом 5. На ее поверхность наносят слой состава и накладывают вторую накладку 6 (см. рис. 6.1 в) с перекрытием первой на 10...15 мм, прикатывают роликом и наносят окончательный слой эпоксидного состава.

На трещины длиной более 150 мм (см. рис. 6.1 г) наносят эпоксидный состав с наложением металлической накладки и закреплением ее болтами 8. Подготовка поверхности и разделка трещины такие же, что и для трещины длиной менее 150 мм. Накладку 7 изготавливают из листовой стали толщиной 1,5...2,0 мм. Она должна перекрывать трещину на 40...50 мм. В накладке сверлят отверстия диаметром 10 мм. Расстояние между их центрами вдоль трещины 60...80 мм. Центры должны отстоять от краев накладки на расстоянии не менее 10 мм.

Порядок устранения пробоев следующий. Пробоины на деталях заделывают с помощью тех же составов (см. табл. 6.6) с наложением металлических накладок заподлицо или внахлестку. В первом случае (рис. 6.2 а) притупляют острые кромки пробойны и зачищают поверхность детали вокруг пробойны до металлического блеска на расстоянии 10.. 20 мм. Накладку изготавливают из листовой стали толщиной 0,5...0,8 мм. Она должна перекрывать пробойну на 10...20 мм. Обезжиривают и просушивают в течение 8...10 мин кромки пробойны и защищенный вокруг нее участок поверхности.

Прикрепляют к центру накладки проволоку диаметром 0,3...0,5 мм и длиной 100...150 мм. Вырезают из стеклоткани накладку по контуру пробойны. Наносят тонкий слой эпоксидного состава после вторичного обезжиривания кромок пробойны и защищенного участка и просушивания. Устанавливают накладку под пробойну и закрепляют проволокой 3. Затем укладывают накладку 4 из стеклоткани, прикатывают ее роликом, наносят эпоксидный состав, укладывают вторую накладку из стеклоткани и прикатывают ее роликом. Операции по нанесению эпоксидного состава и укладке накладок из стеклоткани повторяют до тех пор, пока пробойна не будет заполнена по всей толщине стенки. На верхнюю накладку наносят слой 2 эпоксидного состава и оставляют до отверждения.

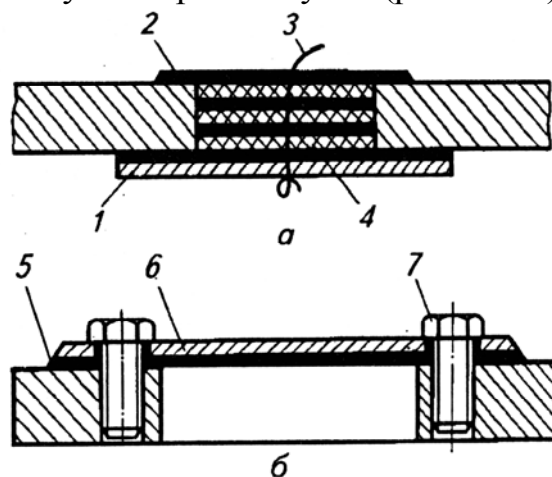


Рис. 6.2. Схема заделки пробоев с наложением накладок:
 а — заподлицо; б — внахлестку;
 1 и 6 — металлические накладки;
 2 и 5 — слои эпоксидного состава;
 3 — проволока; 4 — накладка из стеклоткани; 7 — болт

Во втором случае (см. рис. 6.2 б) притупляют острые края пробойны, зачищают вокруг нее на расстоянии 40...50 мм до металлического блеска поверхность детали. Накладку изготавливают из стали толщиной 1,5...2,0 мм. Она должна перекрывать пробойну на 40...50 мм. Сверлят в ней отверстия диаметром 10 мм. Расстояние между ними по периметру пробойны 50...70 мм. Центры должны отстоять от краев наклейки на расстоянии 10 мм. Сверлят в детали отверстия диаметром 6,8 мм и нарезают в них резьбу 1 М8х1. Зачищают до металлического блеска поверхность наклейки, соприкасающуюся с деталью. Обезжиривают поверхности детали и наклейки, а затем наносят на них тонкий слой эпоксидного состава.

После этого зачищают подтекания и наплыв композиции и проверяют качество заделки пробойны.

Восстановление неподвижных соединений в корпусных деталях с использованием полимерных материалов значительно упрощает технологический процесс, исключает термическое воздействие на детали, снижает трудоемкость и себестоимость ремонта машин. Для восстановления деталей и соединений используют эпоксидные композиции, эластомеры и анаэробные герметики.

Поверхности зачищают до металлического блеска, обезжиривают и просушивают в течение 10 мин. После вторичного обезжиривания и просушивания наносят равномерный слой одного из составов (см. табл. 6.6) на основе эпоксидной смолы. После выдержки в течение 10 мин. соединяют детали, удаляют подтекания и излишки эпоксидного состава и отверждают.

6.2.2. Нанесение покрытий из полимерных материалов

Посадочные места подшипников качения в корпусных деталях восстанавливают следующим образом. Изношенные поверхности зачищают до металлического блеска, обезжиривают ацетоном, просушивают в течение 5 мин и вторично обезжиривают. На изношенные поверхности посадочных мест наносят эпоксидный состав 5, 6, 7, или 8 (см. табл. 6.6). Затем деталь с эпоксидным составом выдерживают в течение 1–2 мин при температуре 18...20 °С. За это время вязкость состава значительно увеличивается, что исключает возможность его стекания с вертикальных поверхностей. Затем деталь устанавливают на плиту 1 (рис. 6.3), закрепленную на столе радиально-сверлильного станка.

Кондуктор включает плиту 1 с запрессованными втулками 3 и двумя штифтами 2, предназначенными для фиксации корпуса 4. Расстояния между осями отверстий под втулки соответствуют межосевым расстояниям посадочных мест в корпусной детали автомобиля.

Нанесенный слой эпоксидного состава формируют под номинальный размер отверстий с помощью калибрующей оправки 5, которая закреплена в шпинделе радиально-сверлильного станка. Оправку протягивают сверху

вниз без вращения относительно оси шпинделя. Она своим нижним хвостовиком входит в направляющую втулку 3, что обеспечивает соблюдение межцентровых расстояний восстанавливаемых отверстий и параллельность их осей.

Калибрующая оправка 5 выполнена из стали 45 и закалена до твердости HRC45. Допуск на изготовление оправки выбирают с учетом усадки эпоксидного состава и толщины слоя разделителя, которым ее смазывают перед формованием отвер-

После формования отверстий на поверхности остается слой 6 эпоксидного состава, позволяющий получить посадочные места под подшипники номинального размера, который отверждают в термошкафу.

При восстановлении гнезд вкладышей коренных подшипников двигателей после выполнения подготовительных операций на поверхность постелей и крышек наносят слой эпоксидного состава 5, 6, или 7 (см. табл. 6.6) или анаэробный материал и укладывают калибрующую скалку, выполненную в виде трубы. Перед монтажом крышек под них устанавливают прокладки из фольги толщиной 0,05 мм. После затяжки болтов крышек удаляют подтеkania выжатой композиции и выдерживают блок двигателя при комнатной температуре в течение 1,5...2,0 ч.

После отверждения эпоксидного состава в термошкафу или с помощью нагревательного элемента, находящегося внутри скалки, снимают крышки постелей, калибрующую скалку и прокладки из фольги. Зачищают оставшиеся наплывы эпоксидной композиции, просверливают масляные каналы, продувают их сжатым воздухом и проверяют качество восстановления.

Однако применение эпоксидных композиций для восстановления неподвижных соединений подшипников связано с определенными технологическими трудностями. После приготовления композиции ее необходимо использовать в течение 20...25 мин. У нее малая эластичность, что снижает долговечность восстановленных неподвижных соединений. Эпоксидные композиции токсичны, поэтому все операции по их приготовлению и применению необходимо выполнять в специальных помещениях с усиленной вентиляцией.

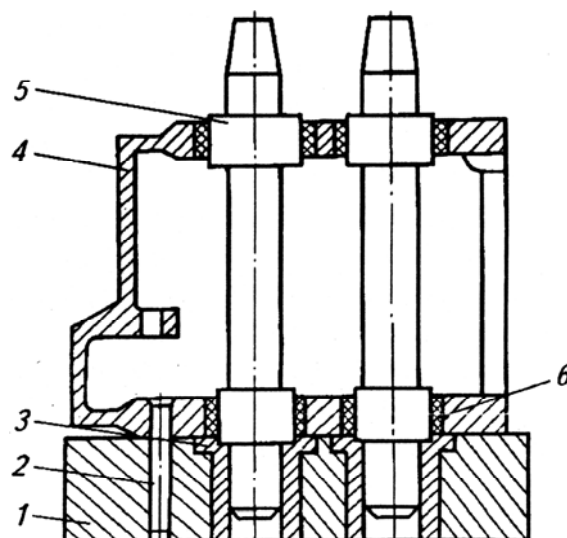


Рис. 6.3. Схема формовки посадочных мест подшипников корпуса коробки передач:
1 – плита; 2 – штифт; 3 – втулка;
4 – корпус; 5 – калибрующая оправка;
6 – слой композиции

При восстановлении деталей литьем под давлением подготовка детали заключается в обработке до удаления следов износа, обезжиривании и фосфатировании поверхности. Фосфатируют в растворе, содержащем 1 кг суперфосфата на 2 л воды. Детали опускают на 5...10 мин в кипящий раствор, затем их промывают в 5%-м растворе кальцинированной соды, в горячей воде и выдерживают в сушильном шкафу при температуре 130...150 °С в течение 8...10 мин.

В загрузочный бункер 1 (рис. 6.4) литьевой машины засыпают полимерный материал 2, который затем подается в цилиндр 3. Там он нагревается до температуры 240...270 °С в течение 30...40 мин.

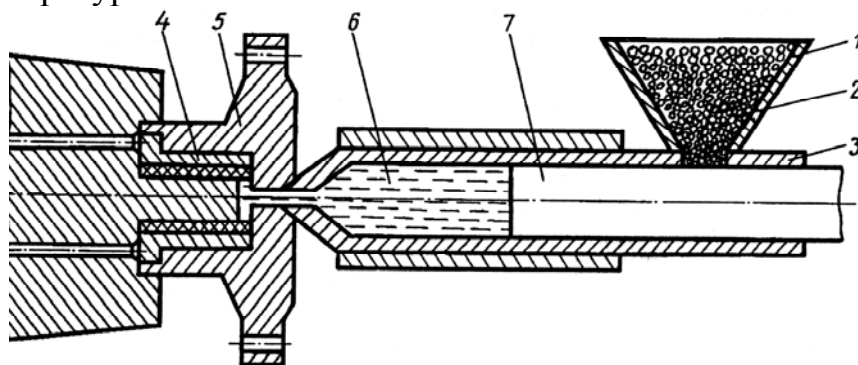


Рис. 6.4. Схема восстановления деталей литьем под давлением:
1 – бункер; 2 – полимерный материал; 3 – цилиндр; 4 – деталь; 5 – пресс-форма;
6 – расплавленный полимерный материал; 7 – плунжер

Деталь 4, нагретую до температуры 240 °С, устанавливают в пресс-форму 5, предварительно подогретую до температуры 80...100 °С.

При движении плунжера 7 справа налево расплавленный полимерный материал 6 выталкивается из цилиндра 3 и заполняет зазор между оформляющей поверхностью пресс-формы и изношенной поверхностью детали. Температура расплава должна быть на 20 °С выше температуры плавления материала, давление литья – 30...35 МПа, выдержка при давлении – 20 с.

После этого снижают давление, разбивают пресс-форму, извлекают восстановленную деталь, зачищают швы, удаляют облой и литниковую прилив, проводят термообработку детали в масле при температуре 120...130 °С в течение 1,5...2 ч. Затем деталь охлаждают вместе с маслом до температуры 100 °С и на воздухе до комнатной температуры. Ее размеры следует проверять через 24 ч после литья под давлением.

Такой способ восстановления имеет высокую производительность, позволяет получать детали с заданными размерами, не требующими последующей механической обработки. К его недостаткам относят необходимость изготавливать для каждой детали пресс-форму, сравнительно низкую адгезию полимерного слоя к поверхности детали.

Восстановление деталей нанесением покрытий из порошкообразных полимеров осуществляют вихревым, вибрационным, вбровихревым,

электростатическим, струйным и другими способами. Наибольшее распространение получило вибровихревое нанесение покрытий.

Установка состоит из открытой ванны 2 (рис. 6.5), пористой перегородки 6, пневматической камеры 5 и электромагнитного вибратора 4. Установка смонтирована на пружинах 3.

Размеры каналов пористого материала 40...150 мкм при пористости 50%. Для изготовления перегородок используют керамические плиты толщиной 20 мм из кизельгура и стеклянной муки, несколько слоев стеклоткани, пластмассу ДК-7, технический войлок и др.

Порошкообразный материал с размерами частиц 0,12...0,22 мм засыпают в ванну 2. Первоначальная высота слоя порошка равна H_0 . При подаче сжатого газа в пневматическую камеру 5 частицы полимера, находящиеся в состоянии покоя, подхватываются и начинают перемещаться вверх. Одновременно на них действуют силы тяжести.

В результате воздействия двух противоположно направленных сил, а также столкновений со стенками сосуда и между собой частицы находятся в хаотическом движении.

При включении электромагнитного вибратора рабочая камера установки вместе с порошкообразным полимером подвергается вынужденным колебаниям частотой 50...100 Гц. За счет совместного и одновременного действий сжатого газа и вибрации полимерный материал переходит в псевдосжиженное состояние. Высота его слоя возрастает и становится равной $H_{ВЗВ}$. Ему присущи многие свойства жидкости. В такой слой можно легко погружать твердые тела.

Подготовка детали к нанесению полимерного покрытия заключается в механической обработке изношенной поверхности до устранения следов износа, зачистке, обезжиривании и фосфатировании. Поверхности детали, не подлежащие нанесению покрытий, изолируют с помощью различных приспособлений, а также их обертывают фольгой или листовым асбестом, покрывают жидким стеклом или термостойким силиконовым лаком.

В процессе нанесения покрытий из порошкообразного поликапроамида деталь нагревают до температуры 290 °С. Затем ее погружают в псевдосжиженный слой на 5...20 с. Частицы порошка 7, ударяясь о поверхность нагретой детали, оседают на ней и, расплавляясь, растекаются в равномерное покрытие. Время выдержки детали в слое зависит от необходимой толщины покрытия.

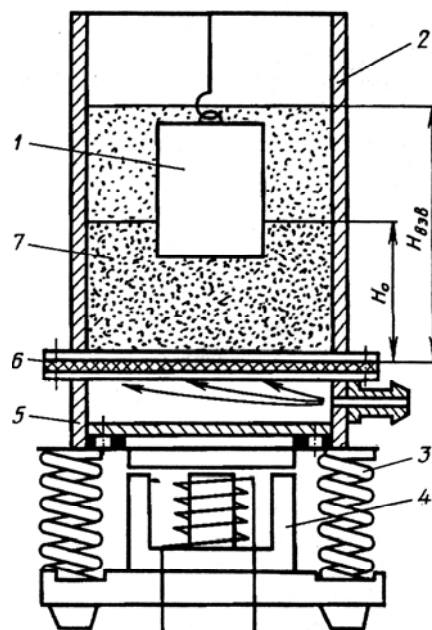


Рис. 6.5. Схема вибровихревой установки:
1 – деталь; 2 – ванна;
3 – пружина; 4 – вибратор;
5 – пневматическая камера;
6 – пористая перегородка;
7 – полимерный порошок

После этого деталь вынимают из установки, обдувают сжатым воздухом, проводят термообработку при температуре 110...130 °С в течение 5...10 мин в масле и охлаждают на воздухе. Чтобы получить необходимые размеры, следует выполнить механическую обработку.

Газопламенное напыление пластмасс проводится на установках УПН-4Л, УПН-6-63 и др. Принципиальная схема установки изображена на рис. 6.6. Вначале открывают вентиль 7б смесительной камеры 11, а затем ацетиленовый вентиль 12. Образующаяся горючая воздушно-ацетиленовая смесь поступает в кольцевую щель 10 сопла газовой горелки, где и поджигается. После прогрева этим пламенем поверхности детали до температуры 210–260 °С (в зависимости от марки применяемого порошка) открывают воздушный вентиль 7а порошкового инжектора 8. Под действием струи воздуха, выходящей из инжектора 8, происходит засасывание порошка из питательного бачка. Воздух в бачок поступает через фильтр 5 и выходит через сопло 3 внутри слоя порошка, взвихривая его. Порошково-воздушная смесь подается через центральное отверстие 9 порошкового сопла, частицы порошка расплавляются пламенем горелки и, попадая на нагретую поверхность детали, образуют наплавленный слой.

После нанесения покрытия требуемой толщины подачу порошка прекращают и дополнительно прогревают деталь для того, чтобы сделать слой более ровным и плотным.

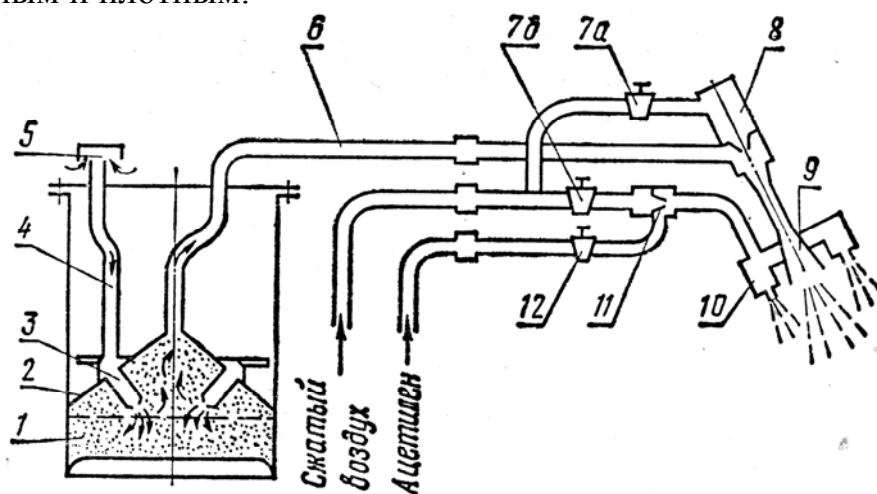


Рис. 6.6. Схема работы установки для газопламенного напыления пластмасс: 1 – порошок; 2 – колпак; 3 – сопло; 4 – резиновая трубка; 5 – гайка-фильтр; 6 – трубка для подачи порошково-воздушной смеси; 7а, 7б и 12 – вентили; 8 – порошковый инжектор; 9 – порошковое сопло; 10 – кольцевое сопло газовой горелки; 11 – смесительная камера

Расстояние от горелки до поверхности детали устанавливается 70–150 мм, ширина покрываемой за один проход поверхности составляет 25–40 мм, скорость перемещения горелки – 1,5–2,0 м/мин. Давление ацетилена, подаваемого для питания горелки, должно быть не ниже 0,5 кПа при расходе газа 300 л/ч, а давление сжатого воздуха – не ниже 0,3 МПа при его расходе 10–15 м³/ч.

Газопламенное напыление удобно применять для покрытия крупных деталей. Толщина покрытия практически не ограничена. Газопламенное напыление также применяется для заделки неровностей на кузовах и оперении автомобилей (используют порошки ПФН-12, ТПФ-37 и др.), для восстановления изношенных деталей (порошок капрона марки А), для антикоррозийной защиты (порошки полипропилена, полиэтилена НД и др.), для нанесения антифрикционных покрытий.

Струйный беспламенный метод напыления пластмасс заключается в том, что распыление порошка производится пистолетом-распылителем без нагрева порошка на предварительно подготовленную и нагретую поверхность деталей. Схема установки для напыления приведена на рис. 6.7. Вкладыши 3, подлежащие восстановлению, после подготовки поверхности (обезжиривание, накатка, химическая очистка и травление, промывка) укладываются в алюминиевую оправку 2. На электропечи 1 оправка вместе с вкладышами нагревается до температуры 240 °С, после чего распылителем 5 с помощью сжатого воздуха порошок капрона наносится на поверхность вкладышей. Частицы порошка расплавляются и образуют сплошное покрытие. Сжатый воздух подогревают, пропуская его через змеевик в электропечи 1. В качестве пистолета-распылителя используют распылители, применяемые для окрасочных работ. Недостатком этого способа является значительная потеря порошковых материалов при напылении и загрязнение воздуха.

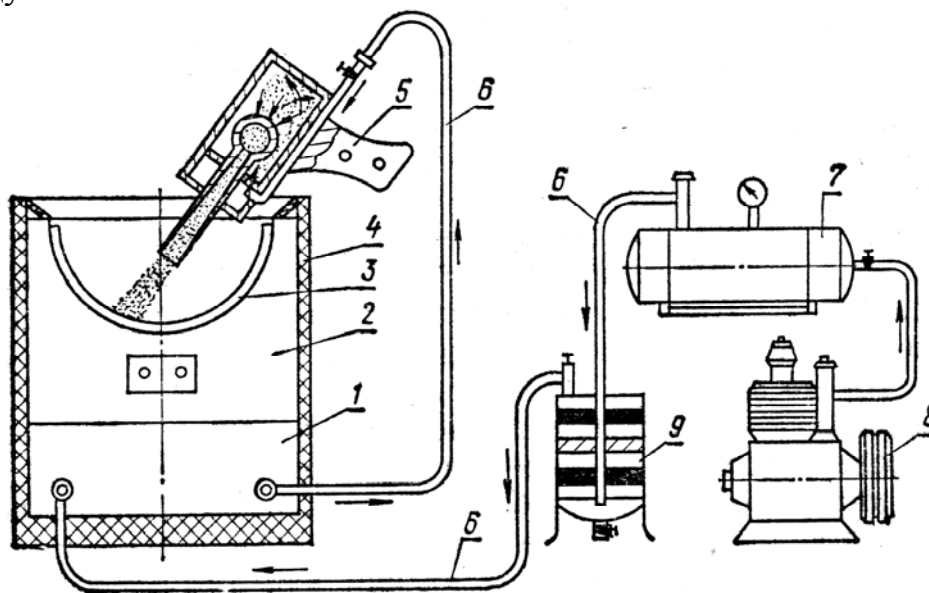


Рис. 6.7. Схема установки для нанесения порошков пластмассы на вкладыши подшипников коленчатого вала:

- 1 – электропечь; 2 – оправка с терморегулятором; 3 – вкладыш подшипника;
4 – теплоизоляция; 5 – распылитель; 6 – воздухопроводы; 7 – ресивер;
8 – воздушный компрессор; 9 – влагомаслоочиститель

6.3. Восстановление герметичности с использованием полимерных материалов

Требования надежной и безотказной работы агрегатов автомобилей связаны с обеспечением высокой степени герметичности. Одним из существенных недостатков литых деталей, а также сварных и паяных швов является наличие в них пор и трещин, т.е. отсутствие герметичности. Анаэробные герметики, используемые для этих целей, позволяют устранить указанные недостатки.

Анаэробные составы представляют собой полимеризационно способные смолы акрилового ряда, которые, находясь в контакте с атмосферным кислородом, сохраняют подвижное состояние. Попадая в зазор, поры и т.п., они отверждаются и образуют прочный полимер после прекращения доступа кислорода. Номенклатура марок и свойства анаэробных герметиков, рекомендуемых для исследования при восстановлении, приведены в табл. 6.7 и 6.8

Скорость полимеризации зависит от контактируемого материала. По признаку влияния на скорость отверждения герметика материалы делятся на 3 группы:

- активные – медь и ее сплавы, кобальт, марганец, никель, железо (контакт с ними ускоряет полимеризацию герметика);
- нормальные – алюминий и его сплавы, углеродистые стали, золото, серебро, цинк;
- пассивные – детали имеющие покрытия, в том числе гальванические (кадми-рованные, анодированные, оксидированные, хроматированные, частично оцинкованные); сплавы, содержащие титан; нержавеющей стали, пластмассы.

Время отверждения на активных поверхностях исчисляется минутами, на нормальных – часами, на пассивных – до нескольких суток. Использование специальных активаторов позволяет сократить полимеризацию анаэробных уплотняющих покрытий на неактивных поверхностях до 3–6 ч.

Скорость отверждения и время достижения максимальной прочности находятся в прямой зависимости от температуры отверждения. На качество уплотнения влияют также чистота и шероховатость поверхности, зазор, площадь герметизирующей поверхности, технология сборки.

Анаэробные составы обладают следующими свойствами: высокой химической стойкостью к агрессивным средам, бензо- и маслопродуктам; водозащитными свойствами, предупреждающими коррозию в зоне контакта; высокой механической прочностью, достаточной эластичностью и стойкостью в условиях вибрации; термостойкостью; способностью низковязких составов затекать в любые зазоры; большим диапазоном прочностных и вязкостных свойств; высокой мобильностью и простотой применения в условиях изготовления, эксплуатации и ремонта изделий.

В зарубежном и отечественном автомобилестроении анаэробные материалы впервые нашли широкое применение именно для стопорения резьбовых соединений (рис. 6.8). Это простой, надежный и экономичный способ придания соединениям устойчивости к действию вибрации, тряски, ударных нагрузок. В противоположность механическим стопорным устройствам анаэробные герметики заполняют пространство между витками резьбы, благодаря чему возрастает сопротивление трению, предотвращаются наволакивание металла и коррозия, повышается крутящий момент отвинчивания по отношению к моменту затяжки. В результате замены традиционных способов стопорения резьбовых соединений клеевыми производственными затратами снижаются почти на 90 %.

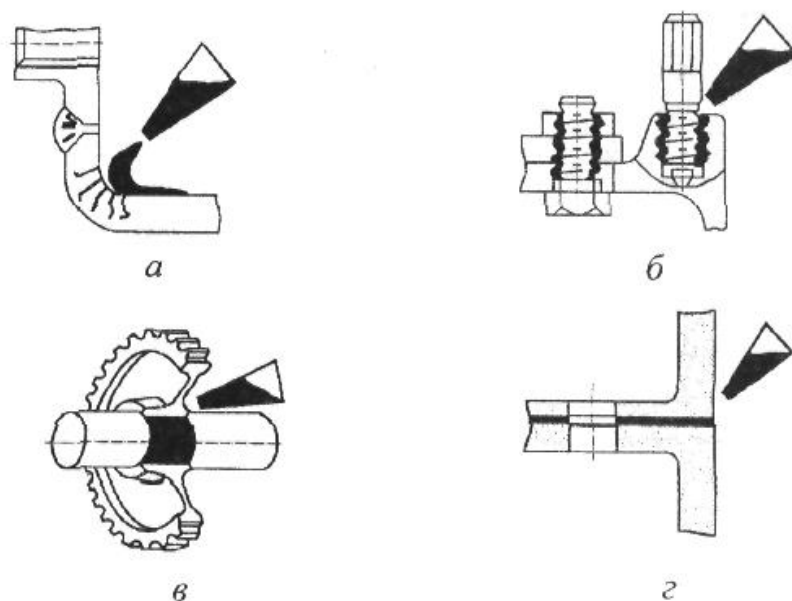


Рис. 6.8. Область применения полимерных материалов при восстановлении: *а* – заделывание трещин, пропитка сварочных швов; *б* – стопорение резьбы; *в* – стопорение зубчатых колес; *г* – герметизация соединений

Механизм полимеризации анаэробных герметиков в резьбовых соединениях можно представить следующим образом. При завинчивании резьбового элемента с предварительно нанесенным на него жидким герметиком происходит удаление воздуха из объема, заключенного между соединяемыми резьбовыми поверхностями, и заполнение его герметиком, который, затвердевая, образует прочное соединение. Использование анаэробных материалов позволяет не только восстановить и предохранить резьбовые соединения от самоотвинчивания в процессе эксплуатации, но и обеспечить хорошую герметичность и работоспособность.

Технологический процесс стопорения резьбовых соединений анаэробными материалами состоит в следующем: резьбовые поверхности тщательно очищают от ржавчины, старой краски, окалина и других эксплуатационных загрязнений, обезжиривают стандартными средствами, наносят

герметик на 3-4 нити резьбы болта или шпильки. Материал наносят кистью флакона или кистью.

На прочность соединения оказывают влияние такие факторы, как зазор, качество обезжиривания, предварительная затяжка, условия эксплуатации, марка анаэробного материала и др. Анаэробные материалы нашли широкое применение при герметизации отливок, сварных и паяных швов.

Типовой технологический процесс местной герметизации включает следующие операции:

- проверить отливку на герметичность по чертежу и отметить места, подлежащие герметизации;
- высушить детали для удаления влаги;
- обезжирить отливки ацетоном или растворителем, облив ими места, подлежащие герметизации или тщательно протерев их жесткой кистью или щеткой;
- обезжиренные поверхности высушить при комнатной температуре в течение 20–30 мин;
- нанести на подготовленную поверхность герметики кистью или из флакона;
- выдержать детали на воздухе 16–24 ч;
- удалить герметик с поверхности ветошью;
- проверить на герметичность.

При герметизации пор литья, как и для устранения дефектов сварных и паяных соединений, применяют маловязкие, с хорошей пропитывающей способностью анаэробные герметики-антипоры (АН-I, АН-IV, УГ-4ПР, ДН-1, ДН-2). При помощи анаэробных материалов можно герметизировать поры сварных швов; благодаря своему смачивающему и капиллярному действию они проникают в невидимые полости и тончайшие поры и, оструктуриваясь в анаэробных условиях, отвердевают, предотвращая утечку газов и жидкостей.

Одной из перспективных областей применения анаэробных герметиков является уплотнение паяных трубных соединений в радиаторах, воздушных кондиционерах и др. Жидкий материал наносят кистью на неотстыканные места пайки, в результате ускоряется его проникновение в тончайшие поры и ниши. Эффективность "залечивания" пор анаэробными герметиками и его перспективность дополнительно подтверждаются тем фактором, что при условии применения строго дозированного количества герметика, исключая попадание его на поверхности деталей, последние могут подвергаться последующей сварке и пайке не только без разрушения герметика, но и с его термическим доотверждением.

Анаэробные герметизирующие материалы применяют для уплотнения фланцевых соединений вместо твердых прокладок. Известно, что качество уплотнения твердой прокладкой зависит от давления сжатия в соединении

фланец – прокладка и состояния поверхности соединяемых деталей. Свойство анаэробного материала затекать во все впадины соединяемых поверхностей позволяет устранить такие дефекты, как царапины, риски, вмятины, которые не могут быть заполнены традиционными твердыми прокладками.

Анаэробные герметизирующие материалы можно применять как самостоятельно, так и в сочетании с традиционной твердой прокладкой. Для уплотнения фланцевых соединений наиболее предпочтительны эластичные анаэробные герметизирующие материалы АН-6К, АН-8К. Такие материалы более устойчивы к действию температурных и вибрационных нагрузок.

6.4. Соединение при помощи полимерных материалов

Клеи применяют для склеивания металлов как между собой, так и с другими материалами. Клеевой слой является изолирующей прокладкой, поэтому склеивание металлов с различными электродными потенциалами не вызывает возникновения очагов контактной коррозии.

Адгезия поверхностей при склеивании обеспечивается главным образом силами притяжения друг к другу полярных молекул и возникновением двойного электрического слоя на границе материалов. Молекулы стремятся занять такое положение, чтобы положительные и отрицательные заряды их были нейтрализованы. При этом условии потенциальная энергия на поверхности соприкосновения материалов минимальна и всякое изменение этого положения требует значительных усилий. Для большинства синтетических клеевых материалов наиболее распространена ковалентная связь. Кроме того, длинные полимерные молекулы проникают в трещины и поры металла, это явление ускоряется при нагревании материала и сближении соединяемых поверхностей.

Прочность клеевого соединения зависит от толщины его слоя (рис. 6.9). Прочность тем выше, чем тоньше клеевая пленка. Такое повышение прочности склеивания объясняется ориентирующим влиянием твердой поверхности на формирование клеевых волокон. Для большинства клеев оптимальная толщина пленки 0,05...0,25 мм.

При восстановлении машин для склеивания металлов, неметаллов и их сочетаний широко применяют следующие клеи:

- акриловые АН-103, АН-111, АН-105АБ, АН-107АБ, АН-110АБ, КВ-401, ТК-200, ТК-201, ТК-300, КМ-200, МИГ;
- фенольно-поливинилацетатные – БФ-2, БФ-4, в том числе с кремнийорганическими и другими добавками – ВС-10Т и ВС-350;
- фенольно-каучуковые – ВК-3, ВК-4, ВК-13, ВК-32-200;
- кремнийорганические – ВК-2, ВК-8, ВК-10, ВК-15, К-300;
- эпоксидные – ВК-32ЭМ, ВК-1, ВК-1МС, ВК-9, К-153, КЛН-1, эпоксиды П и Пр;

- полиуретановые – ПУ-2, ВК-5;
- метилполиамидно-фенольный – МПФ-1;
- фенольно-формальдегидный – ВИАМ-БЗ;
- на основе наиритового каучука и фенольной смолы – 88 НП. Клеи выпускают в готовом к использованию виде или в форме компонентов, смешиваемых перед употреблением.

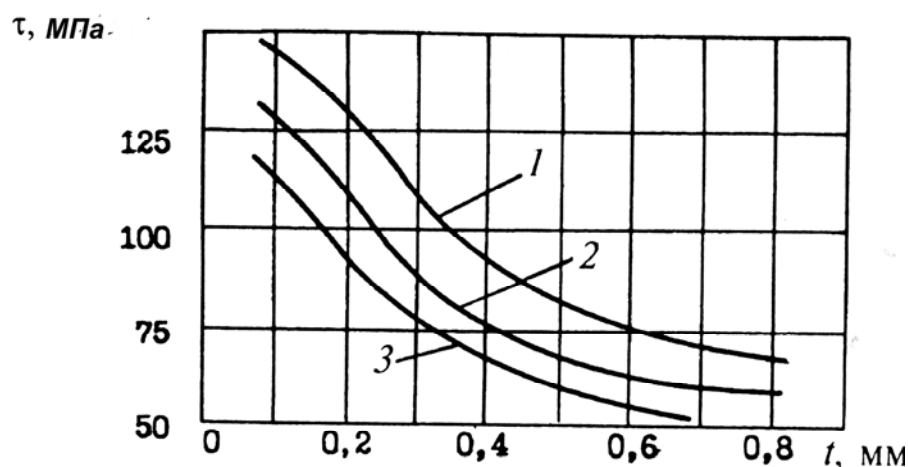


Рис. 6.9. Зависимость прочности клеевого соединения τ при сдвиге (клей ПУ-2 на слове Д16Т1) от толщины t клеевой прослойки: 1 – 3 – при 60, 20 и – 60 °С соответственно

Для склеивания металлов между собой и с неметаллами применяют клеи: БФ-2, БФ-4, ВС-10Т, ВС-350, ВК-3, ВК-4, ВК-13, ВК-32-200, ВК-2, ВК-8, ВК-10, ВК-32ЭМ, ВК-1, ВК-1МС, ВК-9, К-153, КЛН-1, эпоксины П и Пр, ПУ-2, ВК-5, МПФ-1.

Для склеивания тканей и приклеивания различных материалов к металлам используют клеи ВК-32-200, 88 НП. Резину к металлам приклеивают клеями 88 НП и лейканат.

Склеивание деталей включает такие операции: подготовку склеиваемых поверхностей, нанесение клея, выдержку поверхностей в открытом положении, сборку, выдержку под давлением, выдержку вне прессы, обработку шва, проверку качества.

Подготовка склеиваемых поверхностей заключается в подгонке их друг к другу, очистке и придании им необходимой шероховатости. Плотная подгонка поверхностей делается с целью создания условий для молекулярного взаимодействия между клеем и склеиваемыми поверхностями при оптимальной толщине клеевой пленки. Грязь, масло и жиры тщательно удаляют с поверхности органическими растворителями. Это создает условия для повышенной адгезии с металлом промежуточных слоев клеевой композиции. Фактическую площадь склеивания увеличивают механической обработкой (резанием лезвийным инструментом или абразивной

шкуркой, дробеструйной обработкой) или травлением в водных растворах кислот и их солей.

Качество клевого шва в значительной степени зависит от условий нанесения клея. Исходное состояние клеев различно: жидкое, пастообразное, твердое, в виде пленки, порошка, прутка, а поэтому и способы их нанесения на склеиваемые поверхности различные.

Качество склеивания контролируется выборочно путем измерения механических характеристик шва.

Приклеивание фрикционных накладок дисков сцепления двигателей и тормозных колодок. Способ крепления этих деталей заклепками имеет ряд существенных недостатков. В процессе эксплуатации диски коробятся, их толщина становится неравномерной. Фрикционные накладки по толщине используют не более чем на 40 %, так как головки заклепок соприкасаются с поверхностью соединяемой детали. Возникает необходимость заменять частично изношенную накладку новой. Этого можно избежать с помощью приклеивания.

После удаления старых накладок диски или колодки зачищают до металлического блеска шлифовальной машиной или на дробеструйной установке. На поверхности не допускается наличия следов коррозии. Поверхности обезжиривают тампоном, смоченным ацетоном. После просушивания в течение 10 мин. на них наносят слой клея ВС-10Т и выдерживают не менее 5 мин на воздухе при температуре 18...20 °С. Толщина клевого шва должна быть 0,1...0,2 мм, а расход клея – не более 200 г на 1 м² поверхности.

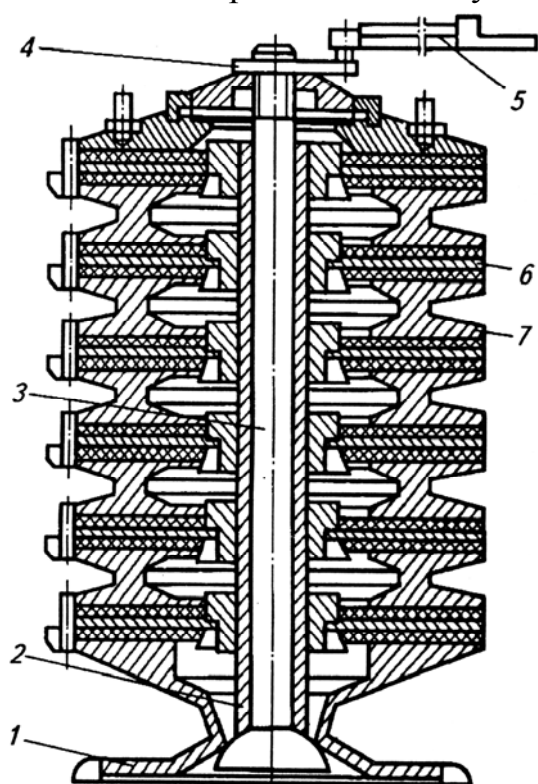


Рис. 6.10. Схема приспособления для приклеивания фрикционных накладок сцепления:

- 1 – основание; 2 – направляющая труба; 3 – болт; 4 – гайка;
- 5 – динамометрический ключ;
- 6 – диск; 7 – кольцо

сти обезжиривают тампоном, смоченным ацетоном. После просушивания в течение 10 мин. на них наносят слой клея ВС-10Т и выдерживают не менее 5 мин на воздухе при температуре 18...20 °С. Толщина клевого шва должна быть 0,1...0,2 мм, а расход клея – не более 200 г на 1 м² поверхности.

Ведомый диск сцепления соединяют с фрикционными накладками и укладывают в приспособление. Между собранными дисками 6 (рис. 6.10) размещают промежуточные кольца 7. Динамометрическим ключом на поверхностях создают давление не менее 0,1 МПа. Смещение накладок относительно диска не более 0,5 мм.

Для полимеризации клевого слоя приспособление с дисками устанавливают в электропечь и выдерживают 40 мин при температуре 180 °С. Диски охлаждают до 70...100 °С в отключенной печи, а затем на воздухе до температуры 35...40 °С.

После охлаждения приспособление разбирают, зачищают подтекания и наплывы клея, проверяют качество склеивания внешним осмотром и простукиванием.

Торцовое биение диска не более 0,5 мм, коробление – не более 1 мм. В противном случае протачивают диски на токарно-винторезном станке. При их простукивании молотком звук должен быть ровным и недребезжащим.

Изношенные фрикционные накладки, приклеенные к диску клеем ВС-10Т, отделяют путем выдержки дисков в печи при температуре 350 °С в течение 5...6 ч с последующим легким простукиванием.

Кроме клея ВС-10Т для крепления фрикционных накладок тормозных колодок используют клей БФТ-52. У таких клеевых соединений более высокие прочностные свойства. Так, при температуре 20° С прочность клеевых соединений стальных образцов с фрикционными материалами АГ-1Б, 6КФ-58 и Т-167, склеенных клеем БФТ-52, соответственно в 1,3, 1,2 и 1,1 раза выше по сравнению с клеем ВС-10Т, а при температуре 350 °С – соответственно в 1,7, 1,5 и 1,5 раза.

6.5. Применение холодной молекулярной сварки

Применение холодной молекулярной сварки (ХМС) является современным и перспективным способом восстановления деталей автомобилей. Сварной шов формируется с помощью специально разработанных композиционных материалов «Реком», «Пластметалл» и др.

Материалы, применяемые для ХМС, представляют собой металлизированные композиции, состоящие на 70...80 % из мелкодисперсных металлов (никель, хром, цинк) и специально подобранных олигомеров, образующих при отверждении трехмерные полимерные сетки повышенной прочности, использующих поверхностную энергию любых материалов. Эти материалы не следует путать с эпоксидными составами и клеями, так как они обладают свойствами металлов и легко подвергаются механической обработке (табл. 6.9).

Технология ХМС не требует термического или механического воздействия на восстанавливаемую поверхность, проводится на воздухе без какой-либо защитной среды и специального технологического оборудования, что позволяет выполнять восстановительные работы в любых помещениях. Компоненты ХМС не содержат летучих токсичных веществ, при затверждении не выделяют побочных продуктов реакций, что обеспечивает экологическую безопасность их применения при восстановлении деталей автомобилей.

С помощью технологии ХМС можно производить высокопрочные соединения деталей из различных материалов, восстанавливать размеры и форму изношенных деталей (валов, отверстий, опор и направляющих до-

рожек, шлицев, посадочных мест под подшипник и т.д.), наносить на рабочие поверхности деталей износостойкие покрытия с эффектом самосмазывания, устранять трещины и сколы. Детали, изготовленные или восстановленные методом ХМС, сохраняют работоспособность при температуре от -70 до $+350$ °С.

Композиционные материалы ХМС готовят к работе на месте путем смешивания двух компонентов. Смесь имеет хорошую адгезию практически с любыми материалами.

Т а б л и ц а 6 . 9

Физико-механические характеристики композиционных составов
на основе трехмерных олигомеров

Наименование показателей	«Универсал»	«Керамик-т»	«УНИРЕМ»	«Реком-Б»
Плотность, кг/м ³	2200	1600	-	2140
Время схватывания, мин при 20°С, при 150°С	50 10	- 40	120...180	30 5
Прочность при сжатии, МПа	52	56	90...110	Более 100
Прочность при изгибе, МПа	-	-	-	70
Прочность при сдвиге, МПа	14	20	-	Более 20
Прочность при растяжении, МПа	-	-	-	45
Твердость по Бринеллю, МПа	1,4	1,8	100...150	10..12
Рабочая температура, °С	от -70 до +200	от -50 до +180	от -200 до +150	от -70 до +150

Наряду с механической обработкой затвердевшего композита возможно формирование геометрии рабочей поверхности восстанавливаемой детали в период пластического состояния композиционных материалов. Для этого используют соединяемую деталь, смазанную разделительным составом. Материал «Реком-Б» по уровню свойств превосходит зарубежные аналоги.

Базовый состав является основой для разработки материалов, обладающих специальными свойствами: Реком-В – адгезией к влажной поверхности; Реком-М – адгезией к замасленной поверхности, Реком-Ж – повышенной термостойкостью; Реком-И – повышенной износостойкостью; Реком-О – для использования при отрицательных температурах; Реком-супер – композит нового поколения с адгезией к стальной поверхности до 35 МПа.

Материал «УНИРЕМ» успешно применяется при ремонте радиаторов систем охлаждения двигателей, блоков цилиндров, трубопроводов, а также глушителей.

7. ЭЛЕКТРОИСКРОВАЯ ОБРАБОТКА

Электроискровая обработка металлических поверхностей основана на использовании электрических разрядов между электродами в газовой среде. Сущность технологии восстановления (упрочнения) поверхностей состоит в том, что в промежутке между металлическими электродами разрушается материал анода 2, а продукты эрозии (разрушения под действием электрического тока) переносятся на катод 1 (деталь) (рис. 7.1).

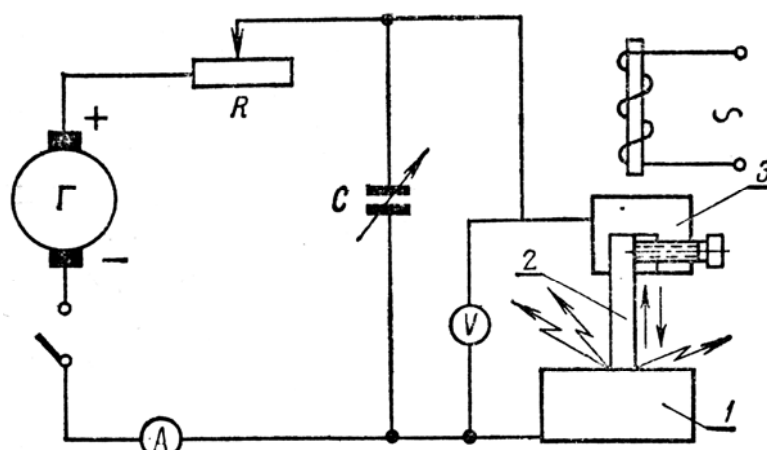


Рис. 7.1. Принципиальная электрическая схема электроискровой установки:
1 – деталь (катод); 2 – материал-инструмент (анод);
3 – электромагнитный вибратор

Единичный перенос электродного материала происходит при высокой температуре разряда $(5...11) \cdot 10^3$ (К). Температура плазмы T (К), образующейся в межэлектродном пространстве, приближенно рассчитывается по формуле

$$T = 7200 + 450C^{1/3}, \quad (7.1)$$

где C – емкость накопительных конденсаторов, мкФ.

Вследствие кратковременности разряда (до 10 мкс) и локальности нагрева микрообъемы переносимого на деталь металла мгновенно охлаждаются. При определенных режимах обработки происходит сверхскоростная закалка ее поверхностного слоя до высокой твердости. При многократном воздействии искровых импульсов на поверхности детали формируется покрытие со свойствами, близкими к свойствам материала электрода. Толщина покрытия увеличивается с ростом содержания углерода в материале детали и энергии единичного импульса.

При электроискровой обработке происходят:

- нагрев материала электродов и превращение части его в газообразное состояние;

- перенос материала в разрядном промежутке с анода на катод;
- диффузия наносимого материала в расплав металла восстанавливаемой детали в месте разряда;
- образование твердых растворов и мелкодисперсных карбидов в результате быстрого затвердевания жидкой фазы и локальной закалки с огромными скоростями охлаждения.

Покрытие, нанесенное на восстанавливаемую поверхность детали, имеет прочную связь с основой, потому что его образование сопровождается химическими и диффузионными процессами.

Электроискровую обработку применяют для наращивания и упрочнения поверхности детали с износом до 0,2 мм при высоких требованиях к твердости и износостойкости восстановленной поверхности и нежестком требовании к сплошности покрытия.

При рациональном выборе материала анода на поверхности упрочняемой (восстанавливаемой) детали образуется слой высоких значений твердости и износостойкости.

При восстановлении поверхностей, участвующих в трении, можно наносить покрытия толщиной до 0,25 мм, а поверхностей неподвижных соединений – до 1,5 мм.

Способ применяют для восстановления шеек валов и осей, поверхностей отверстий под подшипники, упрочнения взамен термообработки трущихся поверхностей, создания износостойкого поверхностного слоя толщиной 0,5 мм. Износостойкость деталей после упрочнения повышается в 3...8 раз.

Электроискровая обработка в ряде случаев при восстановлении изношенных поверхностей подшипниковых узлов является финишной операцией, не требующей дополнительной механической обработки. Способ получил распространение при восстановлении деталей топливной аппаратуры дизелей и золотников, изготовленных из стали 15X и имеющих твердость 56...63 HRC.

Покрытие состоит из трех слоев. Первый слой – это термодиффузионная зона покрытия и основного металла. Второй, нетравящийся (белый) слой представляет собой твердый раствор легирующих или карбидообразующих элементов, входящих в состав электродного материала. Третий слой, подобный газотермическим покрытиям, сформирован из фрагментов застывшего металла и оксидов. Структура упрочненного наружного слоя напоминает строение антифрикционного сплава: частицы мелкодисперсных карбидов включены в сравнительно мягкую основу. Перенесенный материал анода легирует материал детали и, соединяясь с диссоциированным атомарным азотом воздуха и углеродом материала детали, образует диффузионный износостойкий слой. При этом в слое имеются сложные химические соединения, нитриды и карбонитриды, а также закалочные структуры.

Глубина термического влияния на материал детали составляет 0,8...1,0 мм. Предел выносливости детали практически не изменяется.

Формирование микрогеометрии и несущей способности покрытий при электроискровой наплавке имеет особенности.

Исходная шероховатость восстанавливаемой поверхности не должна превышать Rz 10 мкм. Поверхность после электроискровой наплавки существенно отличается от поверхностей, полученных другими способами. После снятия случайно прилипших частиц распыленного металла на поверхности остаются равномерно расположенные скругленные сферические выступы и впадины. Микрорельеф имеет практически одинаковые характеристики по всем направлениям и не содержит острых гребешков, как после механической обработки. Однако с увеличением толщины покрытий средняя высота Rz , радиус закруглений и средний шаг неровностей непрерывно растут.

Для электроискровой обработки применяют следующие материалы: металлокерамические твердые сплавы ВК6-ОМ, ВК-8, Т15К6, ТТ15К10-ОМ, Т30К4 и Т60К4, ТН-20 круглого и прямоугольного сечений; медную проволоку; товарную бронзу БрАЖЮ-3, БрАЖМцЮ-3-1,5, БрАЖН 10-4-4 и др.; специальные электродные материалы ВБр5М (бронза); ДКВ – аналог релита; сплавы ВЖЛ-2, ВЖЛ-М, ВЖЛ-13, ВЖЛ-17, В56, ЖСН-Л; стали 65Г, 20Х13, 95Х18, ШХ15 и др. Применяют также сормайт, стеллит, вольфрам. Плотность энергии, передаваемой детали при искровом разряде, составляет $5 \cdot 10^3 \dots 8 \cdot 10^5$ кВт/см².

Для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств восстановленных поверхностей можно наносить покрытие в несколько слоев из различных материалов. Например, на стальную или чугунную поверхность поршневого кольца наносят молибден, на него медь, а затем олово.

Покрытия, например, из металлокерамики ВК6-ОМ или стали 65Г обладают такими свойствами. Микротвердость диффузионной зоны равна 2900...4300 МПа (30...45 HRC). Микротвердость покрытия из ВК6-ОМ равна 7990...8840 МПа (68 HRC), а из стали 65Г – 6760...7590 МПа (57...59 HRC).

Электроискровую обработку ведут как ручную (см. рис. 7.1), так и с применением средств механизации. В обоих случаях перемещение электрода, продолжительность обработки, режимы по току, амплитуде и частоте вибрации электрода выбирают так, чтобы покрытие было сплошным, равномерным и имело ровную, отражающую свет поверхность.

Имеется семь классов модернизированных мобильных установок типа «Элитрон» и два класса «Вестрон», с помощью которых можно наносить покрытия толщиной до 0,4 мм (сплошностью 60...95 %) и 0,4... 1,0 мм (сплошностью 25...60 %).

Электроэрозионное наращивание и легирование на модернизированной установке «Элитрон-22БМ» ведется в безвибрационном режиме. Модерни-

зировано оборудование для электроэрозионного легирования («Элитрон-22А», «Элитрон-22Б» и «Элитрон-52БМ») в соответствии с патентом России № 2119552.

Технические характеристики установки «Элитрон-52БМ»

Потребляемая мощность, кВА	4,5
Напряжение питающей сети, В	220
Частота импульсов, Гц	100...450
Рабочий ток, А	0,5...60
Число электрических режимов	12 и 6 дополнительных
Габаритные размеры генератора, мм	650×500×1100
Масса генератора, кг	150
Толщина покрытия Т15К6 на стали 40Х, мкм	10...750
Высота неровностей профиля, мкм	2,5...65,0
Максимальная производительность, см ² /мин	10

Установка работает в механизированном режиме с комплектом устройств КМП-50М.

Созданы модернизированные установки «Вестрон-005» и «Вестрон-006». Сущность модернизации заключалась в совмещении в одной установке транзисторно-тиристорного и резисторно-емкостного генераторов, оснащении новыми вибровозбудителями с вращающимися электродами и повышением частоты импульсов тока со 100 до 800 Гц. Повышение энергии разряда одного импульса тока до 7,5 Дж не приводит к увеличению толщины покрытия. Установки «Вестрон» позволяют наносить покрытия толщиной до 300 мкм.

8. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

В процессе химико-термической обработки сталей, при цементации, борировании, азотировании, нитроцементации на их поверхности образуется диффузионный слой с повышенной концентрацией насыщающего элемента (С, В, N) определенного фазового состава и микроструктуры. Одновременно изменяются линейные размеры (до 5...10 % толщины) деталей – увеличивается диаметр валов, уменьшается диаметр отверстий. Восстанавливают детали с небольшими износами.

Диффузионная металлизация – разновидность химико-термической обработки сталей, заключающаяся в насыщении поверхностных слоев изделия различными металлами. Слои насыщаются одновременно или последовательно несколькими элементами. Такое насыщение называют комплексным. В качестве насыщающих элементов применяют хром, титан, вольфрам, никель и другие металлы IV...VIII подгрупп периодической системы элементов.

При комплексном насыщении сталей металлами в сочетании с одним из таких элементов, как С, В, N или Si, образуются карбидные, боридные, нитридные или силицидные покрытия с уникальными физико-механическими, теплофизическими, кристаллохимическими и другими свойствами. С помощью диффузионной металлизации достигают большего изменения линейных размеров деталей, чем при химико-термической обработке традиционных видов.

На рис. 8.1 показано, как изменяются размеры круглых образцов (валов) диаметром 9 мм в зависимости от температуры борирования сталей в порошковой смеси состава, % мас.: 60 В₄С+40 Al₂O₃ в течение 4 ч (В₄С – карбид бора, Al₂O₃ – оксид алюминия). При комплексном насыщении тех же сталей бором и никелем из смеси состава, в %: 80 (60 В₄С+40 Al₂O₃)+20 Ni приращение линейных размеров увеличивается в 1,5...2 раза (рис. 8.2).

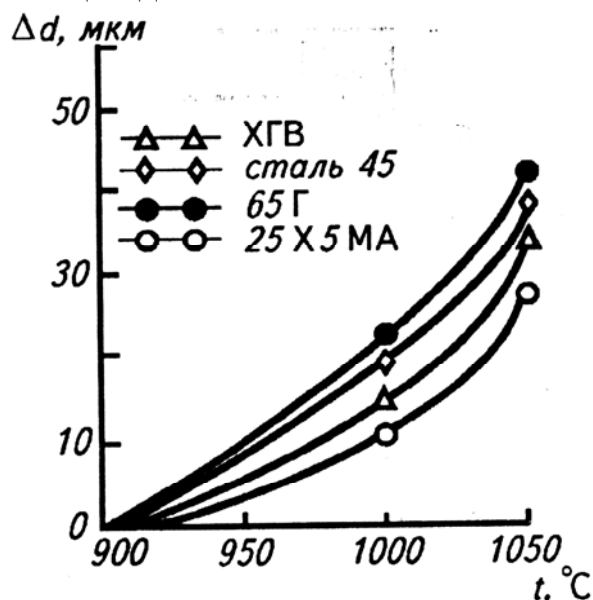


Рис. 8.1. Зависимость приращения линейных размеров образцов при борировании от температуры за 4 ч в смеси состава, % мас.: 60 В₄С+40 Al₂O₃

Изменение линейных размеров деталей обычно рассматривают как сумму двух составляющих:

$$\Delta d = \Delta d_1 + \Delta d_2, \quad (8.1)$$

где Δd_1 – изменение размера вследствие образования на поверхности детали диффузионного слоя толщиной δ ; Δd_2 – изменение размера и геометрической формы изделия вследствие структурных фазовых превращений в сердцевине материала (детали).

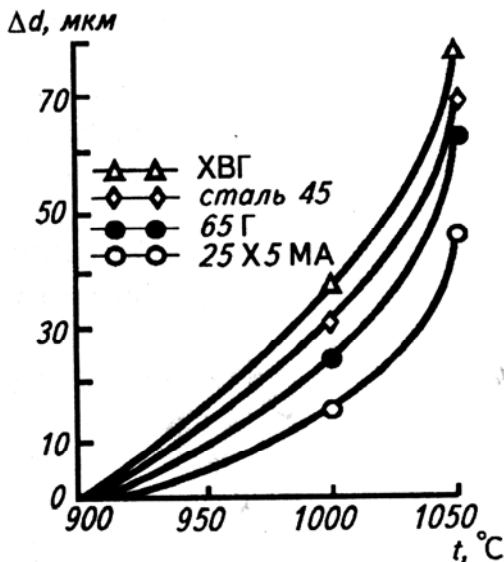


Рис. 8.2. Зависимость приращения линейных размеров образцов при диффузионной металлизации от температуры за 4 часа в смеси состава, % мас.: 80 (60 V_4C -40 Al_2O_3)+20 Ni

Величина Δd_2 зависит от химического состава стали, вида предварительной термической обработки, скорости нагрева и охлаждения контейнера в процессе диффузионной металлизации, вида и режимов термической обработки после насыщения, исходной формы и геометрических размеров деталей.

Если восстанавливаемые детали были подвергнуты предварительной термической обработке, а после насыщения охлаждались с малой скоростью, то значением Δd_2 можно пренебречь.

Толщина диффузионного слоя и связанное с этим изменение размеров деталей зависят от таких факторов, как вид получаемого покрытия, режимы и способы насыщения, свойства насыщаемого металла, и с достаточной степенью точности могут

быть определены лишь в результате эксперимента.

Для карбидных покрытий значение Δd находится в пределах (0,85...0,9) δ . Для них характерны небольшие толщины диффузионного слоя. Для комплексных боридных покрытий значение Δd составляет (0,15...0,6) $\cdot \delta$ и зависит от режимов насыщения (температуры и времени).

На рис. 8.3 показана зависимость толщины диффузионного слоя δ и линейных размеров Δd после парофазного хромирования в вакууме от длительности процесса насыщения при постоянной температуре, равной 1200 °C.

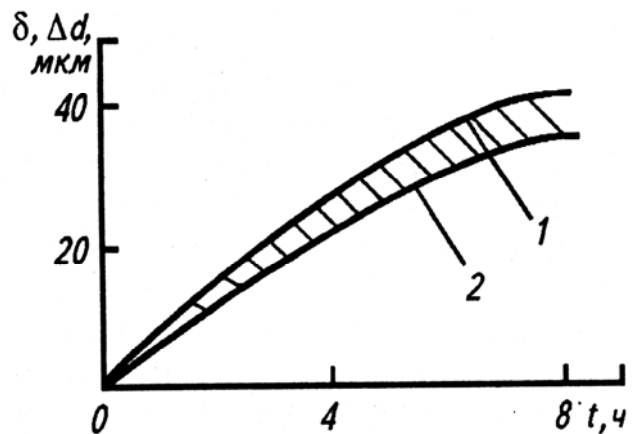


Рис. 8.3. Зависимость толщины диффузионного слоя (1) и линейных размеров (2) образцов от времени порофазного хромирования стали ХВГ при температуре 1200 °C

Существуют методы диффузионного насыщения из твердой (твердофазный), жидкой (жидкофазный), газовой (газофазный) и паровой (парофазный) фаз. В основу такого деления положена характеристика активной фазы (или среды), содержащей диффундирующий элемент. Наибольшее распространение в производстве нашли газофазный и парофазный методы.

Газофазный метод заключается в насыщении поверхности материала изделия диффундирующим элементом, который входит в состав газа как химического соединения. В атомарном виде насыщающий элемент образуется в результате химических реакций, происходящих либо в объеме реакционного пространства, либо на поверхности изделия. В качестве активного газа чаще всего применяют галогениды насыщающих элементов, например при хромировании: CrCl_2 , CrF_2 , CrJ_2 и др.

При газовом методе применяют контактный или неконтактный способ. При контактном способе газовая фаза генерируется в непосредственной близости от насыщаемой поверхности из порошка вещества, содержащего диффундирующий элемент. Например, для хромирования сталей используют порошки хрома или малоуглеродистого феррохрома. Галлоидные газы (HCl , HF , HJ , HBr и др.) получают в результате добавления в порошок аммонийной соли (NH_4Cl , NH_4F , NH_4 и др.). При неконтактном способе газовая фаза (галогенид хрома) генерируется на некотором расстоянии от изделия.

Парофазный метод насыщения выполняют контактными и неконтактными способами. При контактном способе частицы (порошок) насыщающего элемента находятся в непосредственном контакте с изделием. При нагреве реакционного пространства упругость паров насыщающего элемента выше, чем при неконтактном способе, когда частицы насыщающего вещества находятся на некотором расстоянии от обрабатываемой поверхности. При неконтактном способе образуется более качественное покрытие, хотя глубина насыщения меньше.

Большое распространение получило хромирование сталей из паровой фазы в вакууме. При этом облегчаются испарение и перенос хрома к обрабатываемой поверхности. Парофазный метод предотвращает окисление детали, способствует понижению температуры испарения хрома, повышению упругости его паров в реакционном пространстве, что интенсифицирует процесс хромирования.

Контактный способ парофазного или газофазного метода диффузионного насыщения наиболее прост, не требует специального оборудования, обеспечивает достаточно высокое качество покрытий и легко осуществим в производственных условиях.

Основные технологические операции газового способа (например, хромирования): подготовка насыщающей смеси и изделий; упаковка изделий в контейнер; нагрев контейнера; извлечение контейнера из печи; охлаждение контейнера и его распаковка; очистка поверхности обработан-

ных изделий. Насыщающую смесь готовят из следующих порошков: вещества, содержащего диффундирующий элемент; инертной добавки, предотвращающей спекание частиц активной составляющей с поверхностью детали и контейнера; активатора, в качестве которого используют аммонийные соли. Инертными добавками служат оксид алюминия (глинозем), речной песок и шамот.

Все компоненты перед смешиванием просушивают для удаления влаги или прокаливают (глинозем). Их хранят в чистой, плотно закрывающейся таре в сухом месте. Состав смеси может быть различным. Его выбирают исходя из имеющихся рекомендаций. Например, для хромирования углеродистых сталей может быть применена смесь состава, в %: хром Х97 – 70, глинозем (Al_2O_3) – 27 и хлорид аммония (NH_4Cl) – 3.

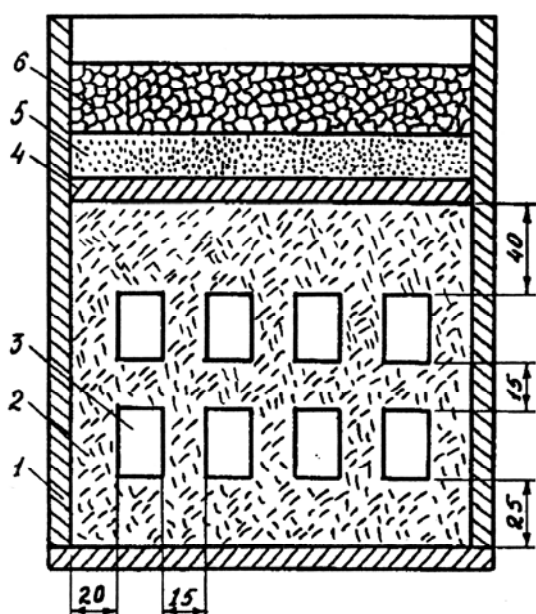


Рис. 8.4. Схема упаковки контейнера с плавким затвором:
1 – контейнер; 2 – смесь;
3 – деталь; 4 – стальная прокладка;
5 – слой песка; 6 – плавкий затвор

Контейнер упаковывают в следующем порядке. На дно контейнера 1 (рис. 8.4), изготовленного из обычной или жаростойкой стали, насыпают смесь 2 равномерным слоем толщиной 25...30 мм. Укладывают детали 3 и засыпают их смесью. Расстояние между деталями в слое, а также между деталями и стенкой контейнера должно быть не менее 15...20 мм. Аналогично укладывают следующий ряд деталей.

Толщина последнего слоя смеси составляет не менее 30...40 мм. Засыпаемую смесь слегка утрамбовывают встряхиванием.

Для герметизации реакционного пространства контейнера используют плавкий затвор. Для этого на последний слой смеси укладывают прокладку 4, насыпают слой речного песка 5, а затем

измельченное натросиликатное стекло слоем толщиной 5...10 мм с температурой плавления в интервале 600...800 °С и малой скоростью испарения при рабочей температуре 950...1200 °С.

При парофазном хромировании в вакууме контейнер не герметизируют. Его изготавливают из обычной углеродистой стали. Засыпают в контейнер не смесь, а гранулированный хром с размером частиц 0,3...0,5 мм.

Для нагрева контейнеров с плавким затвором применяют нагревательные печи сопротивления с окислительной атмосферой, обеспечивающие рабочую температуру в интервале 950...1200 °С, например печи СНО-4.8.5/13-И1. Контейнеры без плавкого затвора при парофазном мето-

де насыщения нагревают в вакуумных печах СШВ-0,6.2/16-И2, СНВЭ-1.3.1/16-ИЗ в зависимости от размера обрабатываемых изделий.

Другие технологические операции диффузионной металлизации по своему содержанию аналогичны процессу цементации сталей.

Диффузионной металлизации подвергают детали из сплавов на основе меди (бронзы, латуни). Широкое распространение нашел способ насыщения поверхности изделий цинком. В этом случае детали укладывают в контейнер и засыпают порошком следующего состава (в массовых частях) порошок цинка – 100, глина огнеупорная (или оксид алюминия Al_2O_3) – 28 и хлорид аммония NH_4Cl – 7. Цинковый порошок просеивают сквозь сито с 650 отверстиями на 1 см^2 . Перед употреблением инертные добавки просушивают. Детали (например, втулки верхней головки шатуна) упаковывают в контейнер, куда засыпают приготовленную насыщающую смесь. Контейнер плотно закрывают крышкой. Его герметизация достигается за счет специальных кронштейнов, винтов и прокладки из асбеста. Плавкий затвор не применяют, поскольку используемое для этого стекло плавится при температуре $700...800\text{ }^\circ\text{C}$, а процесс же цинкования происходит при температуре $650...700\text{ }^\circ\text{C}$. При рабочей температуре контейнер выдерживают $1,5...2,5$ ч. Охлаждают контейнер в печи. Изменение размеров втулок из бронзы БрОЦ5-С5 составляет $0,5...1,0$ мм. После насыщения втулки протачивают.

Для повышения твердости покрытия и износостойкости, а также увеличения приращения размеров в насыщающую смесь добавляют легирующие вещества (феррохром, ферротитан, композитные порошки на основе железа или никеля и др.).

9. СЛЕСАРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ

9.1. Способ ремонтных размеров

Способ основан на комплектовании соединений из деталей, отличающихся размерами соединяемых поверхностей от первоначальных, но обеспечивающих начальный зазор (натяг), равный зазору (натягу) нового соединения. Эти размеры, отличающиеся от первоначальных, называют ремонтными. Они могут быть свободными или стандартными.

В случае свободных размеров для достижения начального зазора или натяга в соединении поверхности более дорогой детали обычно обрабатывают до удаления искажения геометрической формы и изготавливают для комплектации соединения менее дорогую деталь под этот размер. Например, отверстие под втулку верхней головки шатуна растачивают до получения цилиндрической формы. Изготавливают втулку под полученный свободный размер с учетом ее посадки с требуемым натягом.

В случае использования стандартного ремонтного размера для достижения начального зазора или натяга в соединении поверхность более дорогой детали обрабатывают не только до выведения следов износа, но и снимают еще некоторый слой материала с целью получения необходимой посадки с заранее изготовленной менее дорогой деталью, имеющей стандартный ремонтный размер. Так обрабатывают шейки коленчатого вала до стандартных ремонтных размеров с целью комплектации их с вкладышами стандартных ремонтных размеров, зеркало гильзы для комплектации с поршнем стандартного ремонтного размера и т.д.

Таким образом, сборка соединений со свободными ремонтными размерами всегда связана с подгонкой «по месту», и ее применяют в случаях, когда важно максимально сохранить материал дорогостоящей детали, а изготовление заменяемой детали не связано с большими технологическими затруднениями и оказывается возможным в условиях индивидуального производства. Заменяемую деталь в этом случае можно заранее подготовить только в качестве полуфабриката.

Преимущество стандартных ремонтных размеров перед свободными состоит в том, что в первом случае есть возможность организовать массовое промышленное производство заменяемых деталей и осуществлять ремонт машин по принципу частичной взаимозаменяемости, что существенно сокращает его продолжительность.

Ремонтные размеры валов и отверстий отличаются от номинальных, как правило, на доли миллиметра, т.е. находятся в одном интервале разме-

ров, поэтому допуски остаются прежними. Требования к макрогеометрии, шероховатости, твердости и износостойкости поверхности не меняются.

Какую деталь надо заменить и какую восстановить, решают в основном исходя из экономических соображений. Более дорогую деталь почти во всех случаях целесообразно оставить и обработать, а дешевую – заменить. Следует заметить, что деталь с несколькими соединяемыми поверхностями может выступать в роли заменяемой или восстанавливаемой. Например, поршень по отношению к гильзе – заменяемая деталь, а по отношению к поршневым кольцам увеличенной толщины – восстанавливаемая. Канавки в поршне протачивают под кольца ремонтного размера по толщине. Отверстие в бобышках также может быть развернуто под палец большей размерной группы.

Стандартные ремонтные размеры широко используют для соединений коленчатый вал – вкладыш, гильза – поршень, поршень – поршневой палец и др.

Число стандартных ремонтных размеров для соединений одного и того же вида, но для машин разных марок неодинаково и зависит от многих факторов: износа деталей, при котором должна быть прекращена эксплуатация соединения; однородности материала детали по глубине от поверхности; точности оборудования и инструмента, применяемого при обработке детали под ремонтный размер и изготовлении заменяемых деталей; конструктивной прочности деталей; ограничений, накладываемых рабочими процессами самих машин, и пр.

К недостаткам метода ремонтных размеров относят: осложнения в организации ремонта, вызванные ограниченной взаимозаменяемостью; понижение ресурса соединений из-за возрастания удельных нагрузок (например, из-за уменьшения диаметра шейки коленчатого вала при одновременном увеличении массы поршня ремонтного размера); необходимость переналадки оборудования; затраты на маркировку.

Обработкой под ремонтный размер восстанавливают кинематические пары типа вал – втулка, поршень – цилиндр и т.п. Под ремонтный размер обычно обрабатывают наиболее сложную и дорогостоящую деталь пары, а вторую заменяют новой или восстановленной также до ремонтного размера. Данный способ позволяет восстановить геометрическую форму, требуемую шероховатость и параметры точности изношенных поверхностей деталей.

Различают регламентированные и нерегламентированные ремонтные размеры. Регламентированные ремонтные размеры и допуски на них устанавливает предприятие-изготовитель. Детали с регламентированными размерами выпускает промышленность. К ним относятся поршни, поршневые кольца, поршневые пальцы, тонкостенные вкладыши подшипников шеек коленчатого вала. Применительно к этим размерам ремонтные предприятия ремонтируют под соответствующие регламентированные (заранее установленные) ремонтные размеры соединенные детали: цилиндры блока

двигателя, отверстия в верхней головке шатуна, шейки коленчатых валов. В соединенных деталях с такими размерами сохраняется класс точности и посадка, предусмотренные в рабочих чертежах.

Примером регламентированных ремонтных размеров являются размеры шеек коленчатых валов автомобильных двигателей.

Нерегламентированными называют ремонтные размеры детали, установленные для подгонки детали «по месту». В этом случае ремонтируемую деталь обрабатывают лишь до получения правильной геометрической формы и требуемой шероховатости поверхности.

Примером может служить обработка рабочей фаски седла в головке цилиндров лишь до выведения следов износа, к которой затем «по месту» притирается клапан двигателя. Обработка деталей под ремонтные размеры имеет следующие преимущества: увеличивается срок службы сложных и дорогих деталей, повышается качество ремонта.

Наряду с преимуществами этот способ имеет и недостатки. К ним относятся: ограничение взаимозаменяемости отремонтированных деталей, которое усложняет ремонт машин и особенно снабжение запасными частями из-за увеличения номенклатуры деталей; снижение износостойкости некоторых деталей после снятия поверхностного слоя металла.

Значение и число регламентированных ремонтных размеров зависят от износа деталей за межремонтный период, от припуска на механическую обработку и от запаса прочности детали или глубины термической обработки ее поверхностного слоя.

Износ устанавливают замером детали соответствующим инструментом. Припуск на обработку назначают с учетом характера обработки, типа оборудования, размера и материала детали. Задавая припуск на обработку, следует иметь в виду искажения геометрической формы детали, ее овальность и конусность. Припуск должен способствовать получению правильной геометрической формы изношенной поверхности детали после механической обработки, без наличия следов износа на ее рабочей поверхности.

Метод определения значения и количества ремонтных размеров для вала и отверстия был впервые разработан проф. В. В. Ефремовым. Если обозначить (рис. 9.1) через d_H и D_H соответственно размеры вала и отверстия по рабочему чертежу, d_{p1} и D_{p1} – первые ремонтные размеры вала и отверстия, I_{\min} и I_{\max} – минимальный и максимальный износ поверхности детали на сторону, а через Z – припуск на механическую обработку на сторону, то первый ремонтный размер может быть определен по формулам:

для наружных цилиндрических поверхностей (валов)

$$d_{p1} = d_H - 2(I_{\max} + Z); \quad (9.1)$$

для внутренних цилиндрических поверхностей (отверстий)

$$D_{p1} = D_H + 2(I_{\max} + Z). \quad (9.2)$$

Припуск на механическую обработку зависит от вида обработки: при чистовой обточке и расточке он составляет 0,05–0,1 мм, при шлифовании – 0,03 - 0,05 мм на сторону.

Определить неравномерный односторонний износ можно только одноконтактным измерительным прибором (индикатор и т.п.). В связи с тем что на производстве валы и втулки обычно измеряют двухконтактным инструментом (микрометром, индикатором-нутромером), для упрощения пользования формулами (9.1) и (9.2) в них вводят коэффициент неравномерности износа β , который равен отношению максимального одностороннего износа к износу на диаметр:

$$\beta = I_{\max} / I \quad (9.3)$$

При симметричном износе детали, когда $I_{\max} = I_{\min} / 2$, коэффициент неравномерности износа $\beta = I_{\max} / I = 0,5$. При одностороннем износе, когда $I_{\min} = 0$, а $I_{\max} = I$, коэффициент неравномерности износа $\beta = I_{\max} / I = 1$.

Таким образом, значения коэффициента неравномерности износа могут изменяться в пределах от 0,5 до 1.

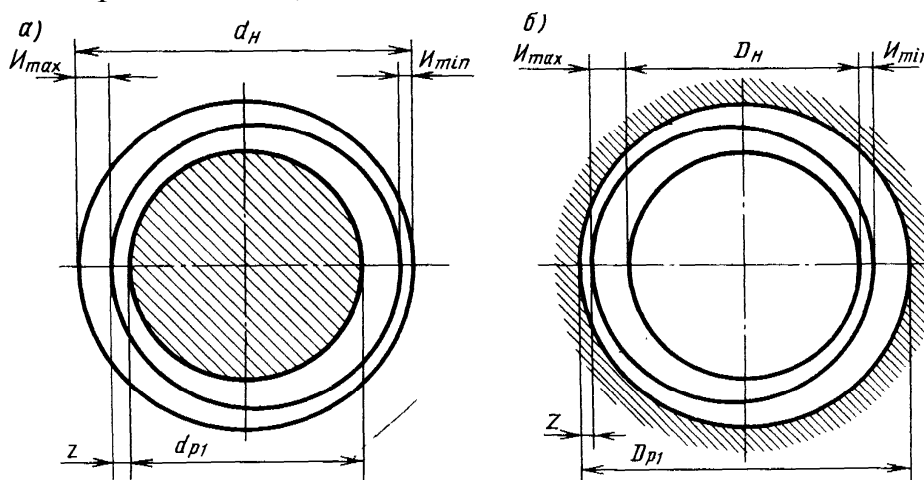


Рис. 9.1. Определение ремонтных размеров:
а – для вала; б – для отверстия

Для конкретных деталей значения этого коэффициента устанавливают опытным путем.

Найдя из уравнения (9.3) значение I_{\max} и подставив его в выражения (9.1) и (9.2), получим:

$$d_{p1} = d_H - 2(\beta I + Z); \quad D_{p1} = D_H + 2(\beta I + Z) \quad (9.4)$$

В этих формулах член $2(\beta I + Z)$ называется межремонтным интервалом и обозначается – γ (гамма).

Следовательно, расчетные формулы для определения ремонтных размеров можно представить окончательно в следующем виде:

для наружных цилиндрических поверхностей (валов)

$$\begin{aligned}
 d_{p1} &= d_H - \gamma; \\
 d_{p2} &= d_H - 2\gamma; \\
 &\dots\dots\dots; \\
 &\dots\dots\dots; \\
 d_{pn} &= d_H - n\gamma;
 \end{aligned}
 \tag{9.5}$$

для внутренних цилиндрических поверхностей (отверстий)

$$\begin{aligned}
 D_{p1} &= D_H + \gamma; \\
 D_{p2} &= D_H + 2\gamma; \\
 &\dots\dots\dots; \\
 &\dots\dots\dots; \\
 d_{pn} &= d_H + n\gamma;
 \end{aligned}
 \tag{9.6}$$

где n – число ремонтных размеров.

Число ремонтных размеров может быть найдено по формулам:

для валов
$$n_B = (d_H - d_{\min})/\gamma; \tag{9.7}$$

для отверстий
$$n_{\text{ОТВ}} = (D_{\max} - D_H)/\gamma, \tag{9.8}$$

где d_{\min} – минимально допустимый диаметр вала, мм;

D_{\max} – максимально допустимый диаметр отверстия, мм.

Предельные значения диаметров d_{\min} и D_{\max} определяют по условиям прочности детали, из конструктивных соображений или исходя из минимально допустимой толщины слоя химико-термической обработки поверхности детали.

Обработка под ремонтный размер широко практикуется при восстановлении изношенных поверхностей цилиндров или гильз цилиндров автомобильных двигателей. Технологический процесс включает в себя расточную и хонинговальную операции. Расточка проводится на вертикальных алмазно-расточных станках моделей 278, 278Н, 2А78Н и многошпиндельных полуавтоматах.

9.2. Восстановление способом дополнительной ремонтной детали

Этот способ – разновидность способа ремонтных размеров. Его применяют при постановке втулок в гнезда под наружные кольца подшипников коренных опор коленчатого вала двигателя; установке полуколец под

вкладыши коренных опор коленчатого вала двигателей и закреплении их штифтами; запрессовке сухих гильз или втулок в гильзы, исчерпавшие ресурс последнего стандартного ремонтного размера; установке всевозможных дополнительных колец, накладок и т.п. Способ получает все большее распространение в ремонтной практике, поскольку позволяет «вернуться» при ремонте к номинальным размерам заменяемых деталей (поршней, вкладышей, толкателей и пр.) со всеми вытекающими отсюда положительными последствиями, касающимися условий работы соединений, предусмотренных при конструировании. В связи с этим можно также говорить об улучшении условий взаимозаменяемости.

Недостаток этого способа – определенное ухудшение условий теплопередачи, например, от запрессованной сухой гильзы или свернутой втулки к материалу гильзы или блоку цилиндров двигателя, что при прочих равных условиях может приводить к форсированному изнашиванию зеркала или даже задирам.

Дополнительные ремонтные детали (ДРД) применяют для компенсации износа рабочих поверхностей деталей, а также при замене изношенной или поврежденной части детали. В первом случае ДРД устанавливают непосредственно на изношенную поверхность детали. Этим способом восстанавливают посадочные отверстия под подшипники качения в картерах коробок передач, задних мостов, ступицах колес, отверстия с изношенной резьбой и другие детали.

В зависимости от вида восстанавливаемой поверхности ДРД могут иметь форму гильзы, кольца, шайбы, пластины, резьбовой втулки или спирали (рис. 9.2).

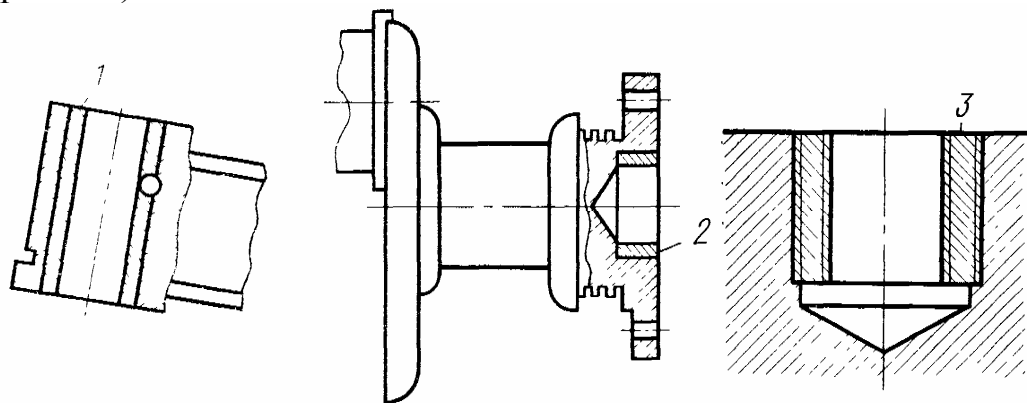


Рис. 9.2. Дополнительные ремонтные детали (ДРД):
1 и 2 – втулки; 3 – ввертыш

Разновидностью способа ДРД является пластинирование – способ облицовки рабочих поверхностей деталей машин тонкими износостойкими легкоменяемыми пластинами. Областью его применения является производство и ремонт машин, имеющих детали с интенсивно изнашивающимися поверхностями в виде гладких замкнутых и разомкнутых цилиндрических и конических отверстий, а также плоских поверхностей.

Виды пластинирования деталей машин показаны на рис. 9.3.

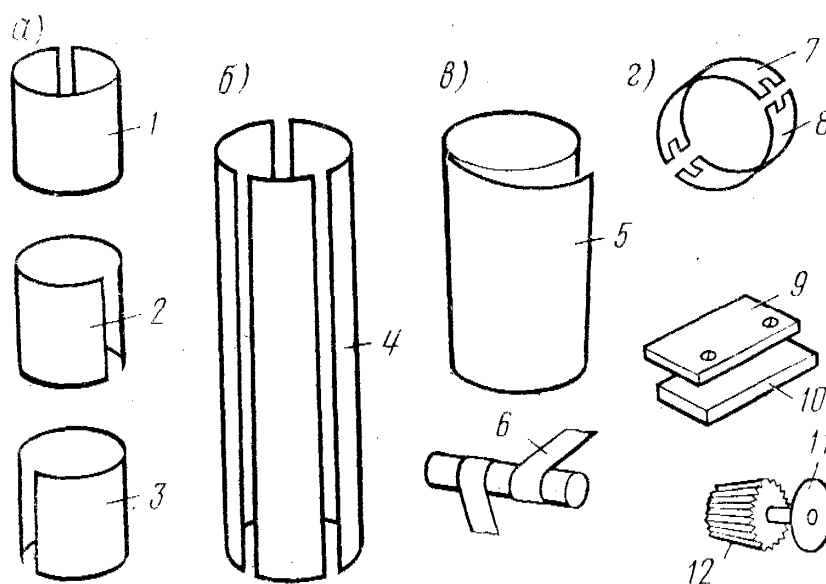


Рис. 9.3. Формы пластин при различных видах пластинирования деталей машин:
 1, 2 и 3 – разновидности поясов, изготовленных из пластин; 4 – пластины, подготовленные для продольного пластинирования внутренних цилиндрических поверхностей; 5 и 6 – спирали, предназначенные для облицовки соответственно внутренних и наружных цилиндрических поверхностей; 7 и 8 – пластины для пластинирования разомкнутых цилиндрических поверхностей; 9 и 10 – соответственно плоская пластина и деталь, подлежащая облицовке; 11 и 12 – облицовочная пластина и деталь, предназначенная для передачи крутящего момента

Базой для объединения различных технологий пластинирования в виды по эксплуатационно-ремонтным признакам является цель, достигаемая при помощи пластинирования в процессе эксплуатации и ремонта машины.

По этим признакам различают износостойкое (ресурсувеличивающее), восстановительное (ресурсовосстанавливающее) и регулировочное пластинирование.

Износостойкое пластинирование применяют для увеличения ресурса деталей, повышения их ремонтпригодности, для компенсации износов соединенных деталей. Восстановительное пластинирование позволяет неоднократно восстанавливать ресурс деталей, как не подвергавшихся ранее пластинированию, так и уже пластинированных. Регулировочное пластинирование применяется для получения требуемых зазоров и натягов в соединяемых деталях в результате подбора при сборке толщины регулировочных прокладок. Регулировочным пластинированием можно также компенсировать износ деталей.

Технологические признаки учитывают сходство формы и процессов обработки пластин, а также способы установки их на рабочую поверхность. По способам установки пластин на рабочую поверхность пластинирование бывает напряженным, свободным и связанным.

Напряженным пластинированием называется способ, при котором пластину перед установкой на поверхность детали обжимают и устанавливают на деталь в напряженном состоянии. Фиксация пластины производится в результате действия сил трения. Напряженное пластинирование делится на поясное, продольное (осевое) и спиральное.

Поясное пластинирование предусматривает установку на внутренние цилиндрические и конические поверхности отверстий одной или нескольких пластин – поясов, расположенных перпендикулярно к образующей отверстия. В случае применения нескольких поясов стыки их концов располагаются вдоль образующей под углом: при двухпоясном пластинировании – 180° , при трехпоясном – 120° , при четырехпоясном – 90° .

Формы пластин, применяемых для поясного пластинирования, показаны на рис. 9.3 а. Поясным пластинированием можно восстанавливать гильзы цилиндров и цилиндры автомобильных двигателей, цилиндры автомобильных компрессоров, тормозные цилиндры гидравлической тормозной системы автомобилей.

Продольное или осевое пластинирование применяется для восстановления внутренних поверхностей длинных отверстий, в которых затруднительно использовать поясное пластинирование из-за большого числа поясов. При продольном пластинировании стыки пластин располагаются только вдоль оси отверстия. Комплект пластин для сохранения продольной устойчивости вводят в отверстие вместе с поддерживающей оправкой. Наружный диаметр свернутого комплекта пластин должен быть больше внутреннего диаметра отверстия детали на размер натяга. Формы пластин, применяемых для продольного пластинирования, показаны на рис. 9.3 б.

Спиральное пластинирование заключается в том, что на внутреннюю или наружную поверхность детали устанавливают по винтовой линии тонкую стальную пластину, имеющую форму удлиненного параллелограмма. При этом витки спирали располагаются под углом к плоскости, перпендикулярной к оси цилиндра. Для удержания пластины требуется дополнительное крепление. Пластины для спирального пластинирования показаны на рис. 9.3 в. Этот способ целесообразно использовать для восстановления цилиндрических деталей, длина которых более чем в 4 раза превышает их диаметр, например, для восстановления гидросиловых цилиндров, а также валов с неограниченными размерами.

Свободным пластинированием называется способ, при котором пластина устанавливается на деталь свободно и удерживается на ней в силу специфики их формы. Формы пластин для свободного пластинирования показаны на рис. 9.3 г.

Связанное пластинирование предусматривает применение дополнительных средств крепления пластин – приварки, приклеивания или установки механических стопоров. Пластины при этом можно устанавливать поясами, продольно или спирально.

Дополнительные ремонтные детали обычно крепятся посадкой и натягом. В отдельных случаях могут быть использованы дополнительные крепления приваркой по торцу, приклеиванием или постановкой стопорных винтов или штифтов.

9.3. Способы закрепления ДРД

Механический способ закрепления ДРД осуществляется с целью обеспечения достаточной прочности соединения деталей при работе.

1. Исходные данные: номинальный диаметр соединения d_n ; длина соединения l ; продольная (осевая) сила, стремящаяся сдвинуть одну деталь относительно другой P_{oc} ; допустимый предел текучести металла $[\sigma_T]_d$.

2. Определяют необходимое давление p на контактных поверхностях соединения:

$$p = \frac{P_{oc}}{\pi \cdot d \cdot l \cdot f}, \quad (9.9)$$

где P_{oc} – продольная осевая сила, Н;

d_n – номинальный диаметр соединения, м;

l – длина соединения, м;

f – коэффициент трения.

3. Определение наименьшего предельного натяга:

$$N_{\min} = p \cdot d \left(\frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d} \right), \quad (9.10)$$

где E_D и E_d – модули упругости материалов;

C_D и C_d – коэффициенты определяемые по формулам:

$$C_D = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2} \right)^2}{1 - \left(\frac{d}{D_2} \right)^2} + \mu_D; \quad C_d = \frac{1 + \left(\frac{D_1}{d} \right)^2}{1 - \left(\frac{D_1}{d} \right)^2} - \mu_d, \quad (9.11)$$

где μ_D и μ_d – коэффициенты Пуассона материалов;

D_2 – габаритный размер, охватывающей детали, мм;

D_1 – внутренний диаметр втулки, мм.

4. Определяют значения расчетного натяга:

$$N_{\text{расч}} = N_{\min} + 1,2(R_{ZD} + R_{Zd}), \quad (9.12)$$

где R_{ZD} и R_{Zd} – высота микронеровностей поверхностей.

5. Выбирают стандартную посадку из посадок группы «с натягом», удовлетворяющую условию:

$$N_{\min}^{\text{ст}} \geq N_{\text{расч}}, \quad (9.13)$$

где $N_{\min}^{\text{ст}}$ – наименьший предельный натяг, обеспечиваемый выбранной стандартной посадкой.

6. Проверка выбора посадки по условию прочности. Расчет наибольшего давления, возникающего при реализации выбранной посадки:

$$P_{\max} = \frac{N_{\max}^{\text{ст}} - 1,2(R_{ZD} + R_{Zd}) \cdot 10^{-6}}{d \left(\frac{C_D}{E_D} + \frac{C_d}{E_d} \right)} \text{ МПа.} \quad (9.14)$$

7. Расчет наибольшего напряжения, возникающего в материале втулки:

$$\sigma_d = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d} \right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d} \right)^2} \cdot P_{\max}; \text{ МПа.} \quad (9.15)$$

8. Анализ выполнения условия прочности ремонтной втулки. Условие прочности выполняется, если:

$$\sigma_d \leq [\sigma_T]_d. \quad (9.16)$$

9. Необходимое усилие при запрессовке собираемых деталей:

$$P_n = f_n \cdot P_{\max} \cdot \pi \cdot d \cdot l, \quad (9.17)$$

где f_n – коэффициент трения при запрессовке:

$$f_n = (1,15 \dots 1,20) \cdot f. \quad (9.18)$$

Также ДРД можно закреплять при помощи полимерных композиций (см. разд. 6), сварки (см. разд. 3).

10. ПАЙКА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

10.1. Общие сведения

Пайкой называют процесс получения неразъемных соединений деталей в твердом состоянии при помощи расплавленного сплава, называемого припоем. Кромки соединяемых деталей при пайке нагревают до такой температуры, при которой припой полностью расплавляется, смачивает поверхности и заполняет зазор между ними. При охлаждении припой кристаллизуется и образует достаточно прочное соединение деталей.

Пайка (ГОСТ 17325–79) как способ восстановления деталей имеет следующие преимущества:

- небольшой нагрев деталей (особенно при низкотемпературной пайке);
- возможность соединения деталей, изготовленных из разнородных металлов;
- достаточно высокая прочность соединения деталей;
- простота технологического процесса и применяемого оборудования.

Пайку применяют для устранения трещин и пробоин в радиаторах, топливных и масляных баках, трубопроводах, приборах электрооборудования и др. Пайку используют также при восстановлении размеров изношенных деталей путем постановки ленты или навивки проволоки с последующей их припайкой к поверхности детали.

К числу недостатков пайки следует отнести некоторое снижение прочности соединения деталей по сравнению со сваркой.

10.2. Припои и их свойства

Наиболее часто при восстановлении деталей автомобилей применяют оловянно-свинцовые, медно-цинковые и алюминиевые припои. По температуре плавления все припои подразделяются на низкотемпературные – ниже 450 °С и высокотемпературные – выше 450 °С.

Оловянно-свинцовые припои. Температура плавления не более 280 °С. Обладают достаточно высокой противокоррозионной стойкостью и высокими технологическими свойствами. Прочность пайки этими припоями по пределу прочности на разрыв составляет 80...100 МПа. Состав и температура плавления этих припоев приведены в табл. 10.1. Оловянно-свинцовые припои применяют при восстановлении радиаторов, трубопроводов низкого давления, деталей и узлов электрооборудования и др.

Т а б л и ц а 1 0 . 1

Оловянно-свинцовые припои

Марка припоя	Химический состав, % (по массе)*		Температура, °С	
	олово	сурьма	начала плавления	полного расплавления
ПОС90	89...91	0,1...0,15	183	220
ПОС61	60...62	0,5...0,8	183	190
ПОС40	39...41	0,5...0,8	183	238
ПОССу25-0,5	24...26	0,2...0,5	183	260
ПОССу18-2	17...18	1,5...2,0	186	270
ПОССу4-6	3...4	5...6	244	270

*остальное – свинец

Из оловянно-свинцовых припоев наибольшее применение нашли припои ПОС40 и ПОС61. Они обеспечивают высокую прочность пайки и обладают хорошими противокоррозионными свойствами, но имеют высокую стоимость.

При пайке деталей автомобилей, работающих в тропических условиях, рекомендуют припои ВПр6 и ВПр9. Они содержат 85...90 % олова и в небольшом количестве серебро (5...8 %), сурьму (2...7 %) и медь (2...3 %).

Медно-цинковые припои. Температура плавления 825...905 °С. Обеспечивают прочность пайки до 300...400 МПа и имеют высокие противокоррозионные свойства. С увеличением содержания цинка пластичность припоя снижается. К числу недостатков этих припоев относится возможность испарения цинка. Пары цинка интенсивно окисляются, а окись цинка токсична (табл. 10.2).

Т а б л и ц а 1 0 . 2

Медно-цинковые припои

Марка припоя	Химический состав, % (по массе)*		Температура, °С	
	медь	другие составляющие	начала плавления	полного расплавления
ПМЦ-36	34...38		800	825
ПМЦ-48	46...50		850	865
ПМЦ-54	52...56		876	880
Л63	60,5...63,5		900	905
Л68	67...70		910	940
ЛОК62-06-04	60,5...63,5	Олово 0,4, Кремний 0,5	900	905

*остальное – цинк

Медно-цинковые припои применяют при пайке стальных и чугуновых деталей, а также деталей из меди и ее сплавов. Наибольшее распространение получили припои ПМЦ-54, Л63, Л68 и ЛОК62-06-04, которые дают наиболее прочные паяные соединения (предел прочности на разрыв до 400 МПа). Припой ПАН-21 применяют при пайке чугуновых деталей.

Припой для пайки алюминия и его сплавов. Подразделяются на две группы: высокотемпературные на основе алюминия и низкотемпературные на основе олова, цинка и кадмия.

Припой на основе алюминия имеют сравнительно высокую температуру плавления. Температуры начала плавления и полного расплавления этих припоев близки друг к другу. Преимуществами этих припоев являются высокая стойкость против коррозии и прочность соединения. Так, припой марки 34А обеспечивает прочность пайки на отрыв 150...180 МПа. Состав и температура плавления этих припоев приведены в табл. 10.3.

Низкотемпературные припои для пайки алюминия и его сплавов на основе олова, цинка и кадмия (табл. 10.4) применяют при невысоких требованиях к прочности соединений.

Т а б л и ц а 1 0 . 3

Высокотемпературные припои для пайки алюминия

Марка припоя	Химический состав, % (по массе)*			Температура, °С	
	кремний	медь	цинк	начала плавления	полного расплавления
Силумин	10... 13	<0,8	<0,3	578	578
34А	5,5... 6,5	27...29		525	525
П590А	0,9... 1,1	9. ...11		560	590
П575А			19...21	550	575

*остальное – алюминий

Т а б л и ц а 1 0 . 4

Низкотемпературные припои для пайки алюминия

Номер композиции	Химический состав, % (по массе)				Температура, °С	
	олово	цинк	алюминий	кадмий	начала плавления	полного расплавления
1	15	65		20	364	370
2	67	28	5		257	
3	39	55	6		270	325
4	40			60	177	200
5		40		60	266	315
6		60		40	266	340

10.3. Флюсы

Прочное соединение спаиваемых деталей может быть получено только в том случае, если с их поверхности будут удалены оксиды. Освобождение спаиваемых поверхностей деталей от оксидов и предохранение их от окисления в процессе пайки достигаются при помощи флюсов.

Состав флюса зависит от состава припоя и металла, из которого сделаны спаиваемые детали. При пайке деталей из стали, меди и ее сплавов оло-

вянно-свинцовыми припоями применяют флюсы на основе хлористого цинка. Бескислотные флюсы на основе канифоли используют при пайке деталей электрооборудования (табл. 10.5).

При пайке сталей и других металлов высокотемпературными припоями применяют буру, борный ангидрид, а также флюсы, состоящие из смеси фтористого калия, фторбората калия и борного ангидрида, которые имеют более низкую температуру плавления (табл. 10.6).

При пайке алюминия и его сплавов с применением высокотемпературного припоя на основе алюминия рекомендуются специальные флюсы, состоящие из смеси хлористых солей калия, лития, натрия и цинка (табл. 10.7).

Т а б л и ц а 1 0 . 5

Флюсы для низкотемпературной пайки деталей

Химический состав, % (по массе)							Температура активности, °С	Назначение
хлористый цинк	хлористый аммоний	канифоль	салициловая кислота	триэтанол	вода	спирт этиловый		
25	-	-	-	-	75	-	275...350	Пайка стали, меди и ее сплавов
18	6	-	-	-	76	-	180...320	То же для припоев с пониженной температурой плавления
-	-	30	-	-	-	70		Пайка деталей и проводов электрооборудования
-	-	30	3	2	-	65	150...300	То же

Т а б л и ц а 1 0 . 6

Флюсы для высокотемпературной пайки

Марка флюса	Компоненты	Содержание, % (по массе)	Температура активности, °С	Назначение
Без названия	Бура	50	750...950	Пайка чугуна, стали, меди и ее сплавов
	Борная кислота	50		
Бура	Бура	100	800...1100	
ПВ-209	Фтористый калий	41...43	700...900	
	Фторборат калия	22...24		
	Борный ангидрид	33...35		
ПВ-201	Бура	11...13	800...1200	Пайка легированных сталей, чугуна и меди
	Борный ангидрид	76...78		
	Фтористый кальций	9,5...10,5		
	Лигатура медь – алюминий – магний	0,9...1,1		

Таблица 10.7

Флюсы для высокотемпературной пайки алюминия и его сплавов

Марка флюса	Компоненты	Содержание, % (по массе)	Температура активности, °С
34А	Хлористый калий	54...56	420...620
	» литий	29...35	
	» натрий	9...11	
	» цинк	8... 12	
Ф320А	Хлористый калий	28	320...620
	» литий	42	
	Фтористый натрий	6	
	Хлористый цинк	24	
Ф380	Хлористый калий	47	380...620
	» литий	38	
	Фтористый натрий	5	
	Хлористый цинк	10	

10.4. Технологический процесс восстановления деталей пайкой

Технологический процесс пайки включает в себя три основных этапа:

- подготовку поверхности детали перед пайкой;
- собственно пайку;
- контроль качества пайки.

Пайка низкотемпературными припоями включает в себя очистку кромок деталей от загрязнения и окислов, подогрев деталей до температуры пайки, флюсование и лужение соединяемых поверхностей. Далее производится сборка изделия с обеспечением зазора между соединяемыми поверхностями 0,05...0,20 мм.

Пайку деталей осуществляют медным паяльником, нагретым до необходимой температуры, или погружением их в тигель с расплавленным припоем. Припой и кромки спаиваемых деталей нагревают до температуры, которая превышает температуру полного расплавления припоя на 40...50 °С.

После пайки детали медленно охлаждают до температуры полного затвердевания припоя, а затем паяный шов промывают горячей водой от остатков флюса и зачищают от наплывов припоя.

Пайка деталей из алюминия и его сплавов низкотемпературным припоем имеет некоторые особенности, которые объясняются образованием на поверхности деталей прочной и тугоплавкой окисной пленки, препятствующей соединению с деталями. Пайку алюминия и его сплавов низкотемпературными припоями обычно производят абразивным или ультразвуковым паяльником (рис. 10.1). Промышленность выпускает ультразвуковые паяльники УП-21 и -42, которые работают на частоте 20...26 кГц от ультразвукового генератора.

При пайке этим паяльником в расплавленном припое возникают ультразвуковые колебания, которые разрушают оксидную пленку на деталях. Очищенные от оксидов поверхности деталей хорошо соединяются с припоем и обеспечивают прочное паяное соединение.

Низкотемпературная пайка получила широкое применение. Она используется при восстановлении жидкостных и масляных радиаторов, деталей электрооборудования, топливных баков и других деталей. Качество пайки обычно контролируют методом опрессовки деталей сжатым воздухом или водой.

Пайка высокотемпературными припоями применяется при устранении трещин, пробоин и других повреждений в корпусных деталях (блоках цилиндров, головках блоков, картерах коробок передач и пр.), при пайке контактов приборов электрооборудования и других деталей.

Подготовка к пайке заключается в подгонке частей поломанных деталей, изготовлении накладок для заделки пробоин, разделке кромок трещин и т.п. При пайке деталей из алюминиевых сплавов соединяемые поверхности обезжиривают раствором кальцинированной соды и промывают водой. Кромки спаиваемых деталей зачищают от оксидов и затем покрывают флюсом, который наносят в виде порошка или пасты. После флюсования в шов укладывается припой. В зависимости от формы шва и детали припой применяют в виде проволоки, пластинок, прутков, колец и т.п. (рис. 10.2).

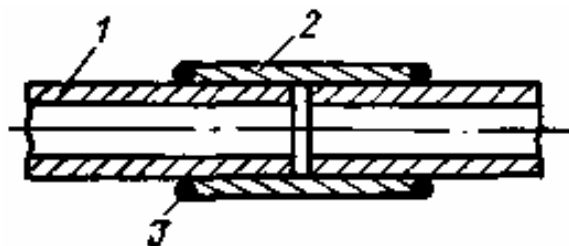


Рис. 10.2. Наложение припоя при пайке трубопроводов:
1 – трубопровод; 2 – муфта соединительная; 3 – кольца из припоя

После наложения припоя приступают к пайке. Деталь в месте пайки нагревают до температуры, несколько превышающей температуру полного расплавления припоя, и выдерживают в течение некоторого времени. Время выдержки при температуре пайки должно быть таким, чтобы обеспечить расплавление припоя, заполнение им зазора и наиболее полное протекание диффузионных процессов между жидким припоем и подогретыми кромками спаиваемых деталей.

В зависимости от способа нагрева деталей различают несколько способов пайки высокотемпературными припоями: газопламенную, электроконтактную, индукционную, пайку в печах или ваннах, лазерную и др.

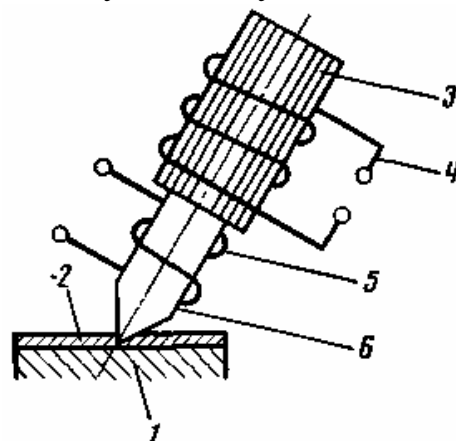


Рис. 10.1. Схема ультразвукового паяльника:
1 – деталь; 2 – расплавленный припой; 3 – ультразвуковой вибратор; 4 – обмотки вибратора; 5 – электронагревательная спираль; 6 – медный стержень

При газопламенной пайке нагрев деталей и расплавление припоя производят сварочной горелкой. Этот способ имеет наиболее широкое применение на авторемонтных предприятиях. Он обеспечивает высокое качество пайки, но требует от исполнителя больших навыков, так как высокая температура пламени и трудность контроля температуры нагрева детали создают угрозу перегрева металла детали и припоя. При газопламенной пайке припой в место пайки вводят в виде прутка, как это делается при газовой сварке.

Хорошие результаты дает также индукционная пайка с нагревом деталей токами высокой частоты и лазерная пайка, но они требуют применения сложного оборудования.

Пайка в печах является весьма прогрессивным способом. Она осуществляется в воздушной, нейтральной, активной средах и в вакууме. При этом способе пайки соединяемые детали помещают в печь с предварительно нанесенными припоем и флюсом. Преимуществами этого способа пайки являются возможность контроля температуры пайки и времени выдержки при этой температуре, а также глубокий и равномерный прогрев деталей. При пайке в печах с контролируемой атмосферой и в вакууме исключается окисление металла деталей и припоя. К числу недостатков следует отнести общий нагрев детали и, следовательно, возможность нарушения термообработки.

Пайка в соляных ваннах производится путем полного или частичного погружения спаиваемых деталей с припоем в расплав солей. В качестве нагревательной среды используются расплавы, в состав которых входят хлористый натрий, хлористый барий или смеси этих солей.

После пайки любым из перечисленных способов детали медленно охлаждаются, очищают от наплывов припоя и промывают водой от остатков флюса.

Качество пайки полых деталей контролируют испытанием на герметичность. Другие детали контролируют путем применения таких неразрушающих методов контроля, как люминесцентный, ультразвуковой и др.

Т а б л и ц а 10.8

Ультразвуковые паяльники

Параметры	УП-21	УП-42
Рабочая частота, кГц	20	23... 26
Мощность, Вт:		
генератора	40	30
нагревателя	100	170
Напряжение, В	220	220
Габариты, мм:		
генератора	330×310×250	250×265×180
паяльника	300×170×50	260×150×45

11. ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ

11.1. Восстановление корпусных деталей

К корпусным деталям автомобиля относятся: блок цилиндров, головка блока цилиндров, крышка распределительных шестерен, корпус масляного насоса, картер сцепления, картер коробки передач, картер заднего моста, картер рулевого механизма. Корпусные детали автомобиля изготавливаются из чугуна СЧ18, СЧ15, СЧ24, алюминиевого сплава АК-7 АК-9 и др.

Корпусные детали автомобиля в общем случае могут иметь механические повреждения (трещины, обломы, пробойны, обломы болтов и шпилек, срыв резьбы и др.), коробление, износ посадочных поверхностей под подшипники и втулки, износ рабочих поверхностей с подвижными посадками, повреждение резьбы.

Наиболее сложной из корпусных деталей автомобиля является блок цилиндров, который в значительной степени определяет надежность работы двигателя, так как поверхности блока связаны между собой высокими требованиями по точности взаимного расположения (рис. 11.1).

Точность обработки основных поверхностей блоков характеризуют следующие данные:

- точность отверстий под вкладыши коренных подшипников коленчатого вала по 7-му качеству; конусообразность и овальность этих отверстий по всей длине блока допускается в пределах 50...70 % поля допуска на отверстие;
- точность отверстий под шейки распределительного вала по 7-му или 8-му качеству; конусообразность и овальность этих отверстий в пределах 50...70 % поля допуска на отверстие;
- отклонение от перпендикулярности осей цилиндров к оси коленчатого вала – не более 0,03...0,07 мм на всю длину блока;
- отклонение от параллельности осей отверстий под коленчатый и распределительный валы не более 0,08...0,15 мм на всю длину блока;
- неплоскостность верхней и нижней плоскостей не более 0,02...0,08 мм на длине 100 мм, переднего и заднего торцов – не более 0,08...0,12 мм на всю длину блока.

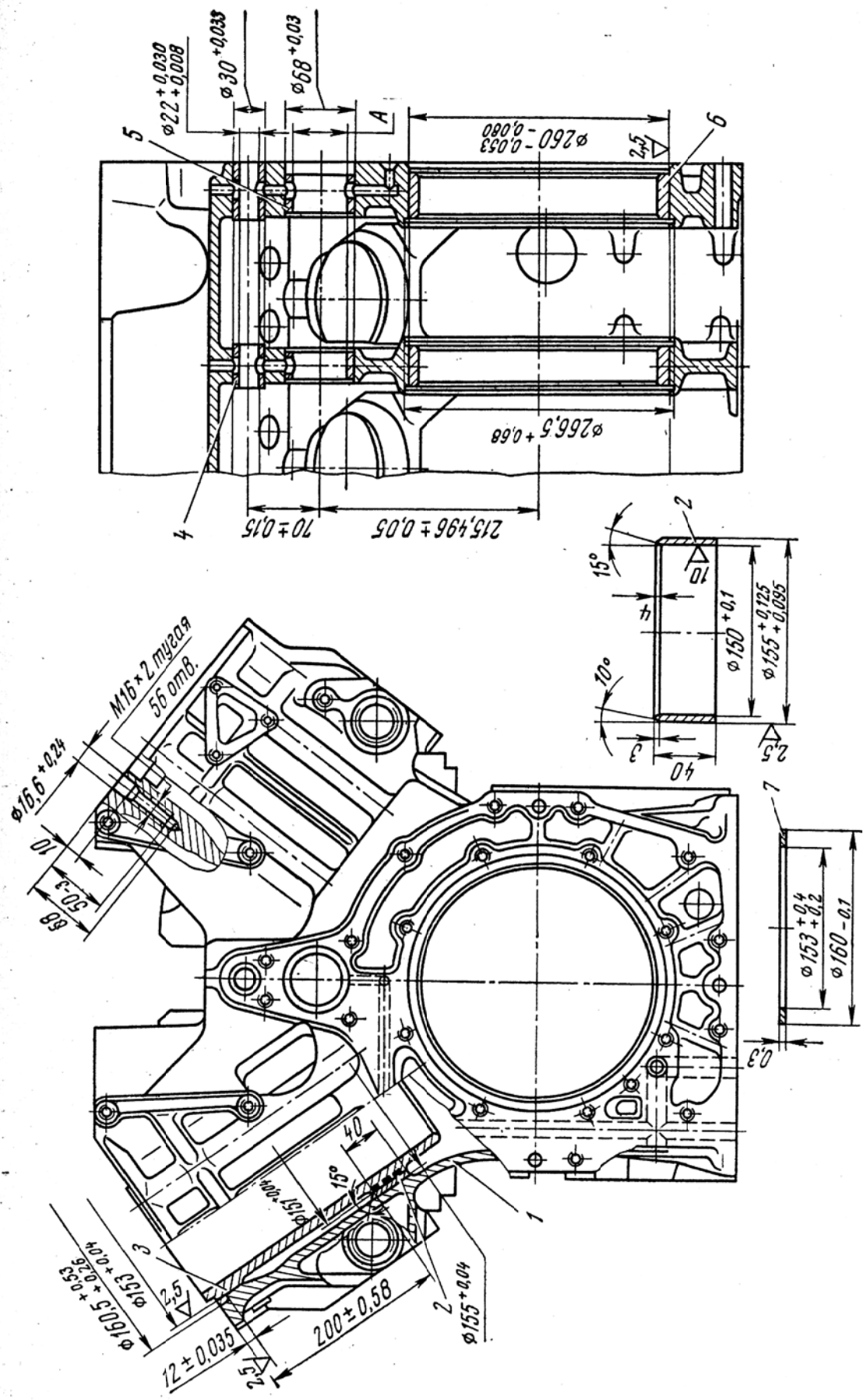


Рис. 11.1. Блок цилиндров двигателя ЯМЗ-240НБ

В результате появления трещин, повреждения резьбы, деформации и износов рабочих поверхностей появляются чрезмерные отклонения от перпендикулярности, параллельности и соосности осей, а также отклонения формы отверстий, что вызывает следующие отказы, повреждения и нарушения:

- течь охлаждающей жидкости через наружные стенки блока и попадание воды в поддон картера;
- течь масла через крайние коренные подшипники и через соединение поддона и картера блока;
- схватывание рабочих поверхностей поршня и гильзы;
- повышенный износ деталей цилиндропоршневой группы;
- кавитационное разрушение гильзы;
- залегание колец;
- падение мощности двигателя и неравномерность его работы, повышенный износ и схватывание рабочих поверхностей коренных подшипников, выкрашивание антифрикционного слоя вкладышей, поломка коленчатого вала;
- разрушение и повышенный износ опорного подшипника первичного вала коробки передач во фланце коленчатого вала;
- повышение шума и вибрации двигателя;
- увеличение расхода топлива и масла;
- падение давления масла в двигателе;
- поломка, выкрашивание и повышенный износ зубьев шестерен, подшипников и валов коробки передач;
- самовыключение передачи;
- повышение шума и вибрации коробки передач;
- подтекание масла.

Частота появления дефектов блока цилиндров среди деталей ремонтного фонда характеризуется коэффициентом $K_{рд}$, выражающим долю ремонтного фонда с названным дефектом (табл. 11.1).

Т а б л и ц а 11.1

Коэффициенты ремонта по дефектам блока цилиндров

Дефект	$K_{рд}$
Отклонение формы гнезд под вкладыши коренных подшипников	0,6...0,8
Отклонение от перпендикулярности оси цилиндров к оси коленчатого вала	0,8...0,9
Отклонение от соосности опор коренных подшипников	0,7...0,9
Отклонение формы верхнего посадочного отверстия под гильзу	0,6...0,8
Отклонение формы нижнего посадочного отверстия под гильзу цилиндров	0,6...0,8
Износ торцевой поверхности коренной опоры под шайбу	0,3...0,4
Износ отверстий под толкатели	0,4...0,5
Деформация поверхностей сопряжения с головкой блока	0,3...0,4
Трещины и отколы на бобышках	0,2...0,3
Трещины, выломы и отколы	0,3...0,5

При восстановлении блока цилиндров необходимо обеспечить правильное взаимное расположение осей гнезд под вкладыши коренных подшипников, отверстий втулок распределительного вала, отверстий под гильзы и толкатели, фланца под стартер и других поверхностей.

Обработку большинства поверхностей ведут, базируя блок по нижней плоскости и двум установочным технологическим базам на ней. Базирование блока цилиндров при механической обработке, обеспечивающее точность взаимного расположения рабочих поверхностей, достигается следующим образом.

Исправляют обработкой под ремонтный размер два установочных отверстия. При этом должны быть выдержаны расстояние между ними и расстояние от указанных отверстий до оси гнезд под вкладыши коренных подшипников.

При обработке этих отверстий в качестве первоначальных баз принимают поверхности гнезд под вкладыши крайних коренных подшипников, плоскости разъема их крышек и передний торец блока.

Базирование картера коробки передач при механической обработке осуществляется по плоскости разъема с верхней крышкой. После очистки, дефектовочного контроля геометрических размеров блока цилиндров необходимо проверить на герметичность рубашку охлаждения под давлением не менее 0,4 МПа, выявить концы трещины. При наличии трещин на стенках рубашки охлаждения засверлить отверстия диаметром 3 мм по краям трещины на расстоянии 6...10 мм от видимого конца трещины. Зачистить до металлического блеска поверхность пневмошлифовальной машиной на расстоянии 20 мм от линии прилегания заплаты. После сварки зачистить сварные швы, проверить блоки на герметичность. Трещины, расположенные вне рубашки охлаждения, рекомендуется заделать полимерными композициями.

Перед окончательной затяжкой болтов крепления крышек коренных подшипников продуть резьбовые отверстия и протереть замок и плоскость стыка. Затянуть болты крепления до рекомендуемого момента. Далее последовательно выполняются следующие операции:

1. Обработать технологические базовые отверстия на нижней плоскости блока, выдержав расстояния между ними и осью коренных подшипников. Точность расположения отверстий обеспечить кондукторной плитой. Выпрессовать втулки распределительного вала.

2. Запрессовать новые втулки распределительного вала.

3. Рассверлить отверстия с поврежденной резьбовой поверхностью. Зенкеровать фаски. Нарезать резьбу и вернуть в нее спиральные резьбовые вставки. Срезать технологический поводок у вставки.

4. Расточить выточки под упорные шайбы коленчатого вала. Расточить гнезда под вкладыши коренных подшипников, выдержав при этом нормированное отклонение от соосности и размер от общей оси базовых отвер-

стей. Расточить отверстия во втулках под распределительный вал, выдержав размер от оси отверстий до оси коренных подшипников и шероховатость поверхностей.

5. Фрезеровать поверхности под головки цилиндров.

6. Расточить посадочные пояски под гильзы цилиндров. Расточить в гнездах под гильзы цилиндров выточку, выдержав глубину и радиус галтели. Сделать фаски. Выдержать отклонения от перпендикулярности осей гнезд под гильзы цилиндров относительно оси отверстий под коленчатый вал, биение торца выточки относительно оси отверстия под коленчатый вал, биение торца выточки относительно оси цилиндра и шероховатость.

7. Хонинговать гнезда под вкладыши коренных подшипников.

8. Развернуть отверстия под толкатели.

9. Прочистить масляные каналы и промыть блок современным синтетическим биоразлагаемым моющим средством (см. разд. 1). Обдуть сжатым воздухом. Просушить.

10. Зачистить заусенцы и острые кромки. Продуть все отверстия, масляные каналы и плоскости.

После завершения ремонтных работ необходимо провести контроль всех восстановленных поверхностей.

После очистки картера коробки передач, зачистки базовой и боковой плоскостей от прокладок и забоин следует провести восстановление в последовательности, указанной ниже:

1. Выявить и пометить концы трещин.

2. Сверлить отверстия диаметром 3 мм по краям трещины на расстоянии 6...10 мм от видимого ее конца. Картеры с трещинами, проходящими по передним и задним поверхностям, бракуются.

3. Заварить трещины, наплавить отколотые ушки и бобышки.

4. Зачистить сварочные швы и проверить их на герметичность. Зачистить забоины.

5. Высверлить сломанные болты. Рассверлить отверстия с поврежденной резьбовой поверхностью. Зенкеровать фаску. Нарезать резьбу под спиральные вставки.

6. Ввернуть спиральные резьбовые вставки в отверстия. Развернуть технологические отверстия, выдержав расстояние между ними и осью первичного (вторичного) вала. Точность расположения отверстий обеспечить кондукторной плитой.

7. Расточить отверстия под подшипники первичного, вторичного, промежуточного валов и ось шестерен заднего хода для установки втулок. Обработку осуществить относительно плоскости разъема с крышкой и двух установочных отверстий.

8. Запрессовать втулки в расточенные отверстия картера коробки.

9. Расточить отверстия во втулках под исходный размер завода-изготовителя. Растачивание отверстий во втулках под подшипники пер-

вичного и вторичного валов, двух отверстий под подшипники вторичного вала, двух отверстий под ось шестерен заднего хода произвести за одну установку в линию, выдержав межцентровое расстояние.

Завершающими операциями ремонта коробки передач являются чистовая проточка, обдув сжатым воздухом, продувка всех отверстий и окончательный контроль поверхностей.

Кроме названных технологических процессов при восстановлении корпусных деталей широко используются обработка изношенных поверхностей под ремонтный размер, восстановление полимерами, гальванопокрытиями, установка дополнительной ремонтной детали.

11.2. Восстановление резьбовых соединений

В любой машине свыше 60 % деталей имеют резьбу. В автомобилях применяют резьбовые соединения с размерами резьб М5...М30, чаще всего М6...М16. При эксплуатации машин резьба изнашивается, витки сминаются, деформируются и срываются. Причем изнашиванию и повреждениям подвергаются, прежде всего, резьбовые отверстия. Незначительные повреждения резьбы (смятие, деформации отдельных витков) устраняют калибровкой ее метчиком или плашкой. При срыве более двух витков и других серьезных повреждениях применяют различные методы восстановления резьбы в зависимости от конструкции детали, типа резьбы (наружная или внутренняя) и т.д.

Наружную резьбу (на валах, осях и т.д.) восстанавливают следующими способами:

- нарезанием резьбы ремонтного размера;
- наплавкой и нарезанием резьбы номинального размера;
- электроконтактной приваркой проволоки;
- заменой изношенной резьбовой части детали.

Старую резьбу срезают на токарном станке и нарезают новую резьбу меньшего размера, например, вместо М16 нарезают М14. Это простой, доступный и дешевый способ. К недостаткам относят: потребность в замене или ремонте соединенной детали; нарушение взаимозаменяемости деталей соединения и уменьшение его прочности.

Для восстановления резьбы до номинального размера применяют механизированную наплавку, чаще вибродуговую и в среде CO_2 , реже под флюсом и в среде пара. Перед наплавкой старую резьбу срезают. После наплавки деталь протачивают и нарезают резьбу номинального размера. Припуск на обтачивание должен составлять 2...3 мм на сторону.

При наплавке резьбы возникает нежелательное термическое воздействие на соседние закаленные участки детали (шейку под подшипник, шлицы и др.). Такая наплавка затруднена на валах малых диаметров. Эти не-

достатки отсутствуют при восстановлении резьбы электроконтактной приваркой проволоки.

Сущность способа заключается в том, что сварочную проволоку (типа Св-08) диаметром, равным шагу резьбы, укладывают между витками очищенной резьбы, зажимают и приваривают проволоку по винтовой линии. Режимы приварки: плотность тока 300...400 А/мм²; длительность сварочного импульса 0,08...0,12 с; скорость вращения детали (20...25) d мм/мин (d – диаметр детали). Зависимость между силой сварочного тока и усилием сжатия ($P_{сж}$) роликов выражают уравнением

$$P_{сж} = 0,64\sqrt{I_{св}} . \quad (11.1)$$

Для резьбы М14...М20 $I_{св} = 4,5...5,0$ кА. После приварки проволоки деталь обтачивают и нарезают резьбу номинального размера.

Иногда конец детали с изношенной резьбой отрезают, изготавливают новую часть детали, которую свертывают или сваривают с оставшейся частью. Затем нарезают резьбу номинального размера. При большом диаметре резьбы иногда ее не отрезают, а обтачивают, затем напрессовывают кольцо и нарезают резьбу номинального размера. Этот способ трудоемкий, и поэтому его применяют для восстановления резьбы на крупных дорогих валах, когда другие способы нельзя применить (например, изношена резьба ремонтного размера, а наплавить ее нет возможности).

Внутреннюю резьбу восстанавливают чаще всего в корпусных и других базисных деталях, изготовленных из чугуна и алюминиевых сплавов. При этом независимо от материала деталей характер износа резьбовых отверстий одинаков: наибольший износ и срывы имеют первые два-три витка резьбы, остальные витки изнашиваются значительно меньше. Это объясняется различной нагрузкой на витки резьбового соединения: первый виток нагружен в пять-шесть раз больше последнего.

Внутреннюю резьбу восстанавливают следующими способами (рис. 11.2):

- нарезанием резьбы ремонтного размера;
- нарезанием резьбы номинального размера на новом месте;
- заваркой отверстия и последующим сверлением и нарезанием резьбы номинального размера;
 - с применением полимерных композиций;
 - постановкой резьбовой пробки (ввертыша);
 - установкой резьбовой спиральной вставки.

В случае нарезания резьбы ремонтного размера часто приходится изготавливать ступенчатую шпильку. Нарезание резьбы на новом месте возможно в том случае, если конструкция деталей соединения позволяет изменить расположение резьбового отверстия без нарушения взаимозаменяемости (ступицы, фланцы и др.). При заварке резьбовых отверстий в

алюминиевых и чугунных деталях необходимо помнить о трудностях и особенностях сварки этих материалов, которые приводят к резкому снижению прочности резьбы. Перед заваркой обязательно удаляют старую резьбу.

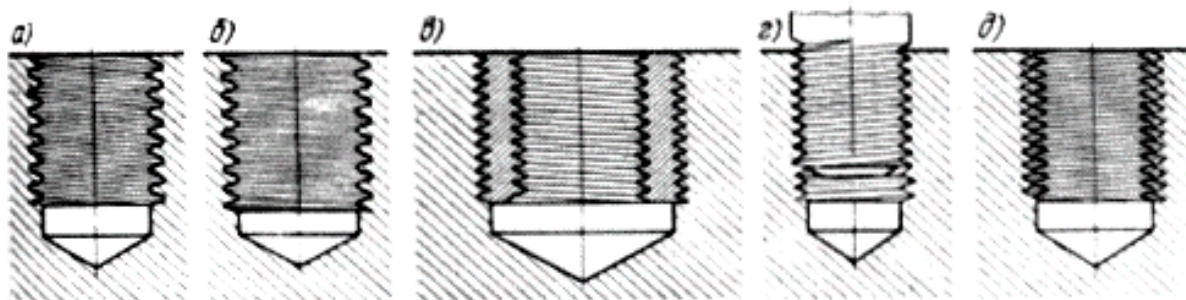


Рис. 11.2. Способы восстановления резьбы:

а – заварка отверстий с последующим нарезанием резьбы номинального размера; *б* – нарезание резьбы увеличенного размера (ремонтная резьба); *в* – установка свертыша; *г* – стабилизация и стопорение при помощи металлополимерных композиций; *д* – установка спиральной вставки

В качестве полимерных композиций при восстановлении резьбовых соединений обычно используют составы на основе эпоксидной смолы. При зазоре в резьбовом соединении до 0,3 мм применяют состав (по массе): эпоксидная смола ЭД-16 – 100 частей; дибутилфтолат (ДБФ) – 15; полиэтиленполиамин (ПЭПА) – 8...10 частей.

Если зазор больше 0,3 мм, то в указанный состав добавляют металлические порошки. Часто при восстановлении резьбового соединения с зазором до 0,3 мм, а также для его стопорения в состав вводят не 15, а 45 частей ДБФ, что облегчает последующее отворачивание. Для восстановления малоизношенных резьбовых соединений и стопорения резьбы применяют также анаэробные герметики типов «Анатерм», «Унигерм» и др.

Восстанавливаемые резьбовые поверхности соединения (отверстие и шпильку или болт) зачищают до металлического блеска, дважды обезжиривают ацетоном, сушат и наносят на них полимерный состав. Затем заворачивают шпильку или болт в резьбовое отверстие, удаляют вытесненные излишки состава и отверждают.

При постановке резьбовой пробки изношенное резьбовое отверстие рассверливают или растачивают, нарезают в нем резьбу и ввертывают в него пробку. Затем в ней сверлят отверстие и нарезают резьбу номинального размера. Часто резьбовые пробки дополнительно закрепляют посредством клеевых композиций или стопорными шпильками, ввернутыми на границе пробки с деталью. Пробки изготавливают из мало- и среднеуглеродистых сталей независимо от материала ремонтируемой детали. Основные типы свертышей показаны на рис. 11.3.

Восстановление резьбовых отверстий постановкой свертышей имеет следующие преимущества: позволяет восстанавливать сильно изношенные отверстия корпусных деталей под номинальный размер; не нарушает тер-

мообработку деталей, так как не требуется их нагревать; дает хорошее качество восстановленного отверстия.

Недостатки данного способа: высокая трудоемкость и сложность ремонта, невозможность применения, если конструкция детали не позволяет увеличивать отверстие.

Восстановление резьбовых отверстий постановкой вставки имеет следующие преимущества: повышается прочность резьбового соединения в результате более равномерного распределения нагрузки по виткам; появляется возможность восстановления под номинальный размер резьбовых отверстий в тонкостенных деталях; понижается износ резьбовой поверхности при частом завинчивании и отвинчивании; улучшается восприятие динамических нагрузок, увеличивается срок службы соединения.

Спиральная вставка (рис. 11.4) представляет собой пружину из ромбической проволоки, наружная поверхность которой образует резьбовое соединение с корпусом (блоком), внутренняя со шпилькой или болтом.

Проволоку ромбического сечения для резьб с шагом 0,8...3,5 мм получают волочением на стане ВФР-4 (рис. 11.5), оборудованном роликовой волокой. Роликовая волока (рис. 11.6) состоит из корпуса 1, в котором помещаются рабочие ролики 2 из легированной стали марок 9Х, 9ХС, ШХ15, 12М, Х12Ф с нарезанными на них калибрами, являющиеся деформирующим элементом.

Твердость рабочей поверхности роликов составляет 60–62 HRC. Ролики жестко смонтированы на осях 6, которые вращаются в конических подшипниках 5, установленных в подушках 4. На внутренней стороне подушек выполнена резьба, в которую ввинчиваются гайки 7 для жесткой фиксации оси роликов, на наружной – лапки для установки относительно корпуса волоки. Осевая регулировка калибров осуществляется перемещением роликов в ту или другую сторону при помощи гаек. Подушки с верхним роликом могут перемещаться вертикально нажимными винтами 3 отдельно

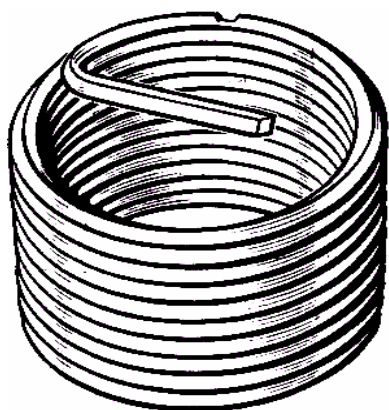


Рис. 11.4. Резьбовая спиральная вставка

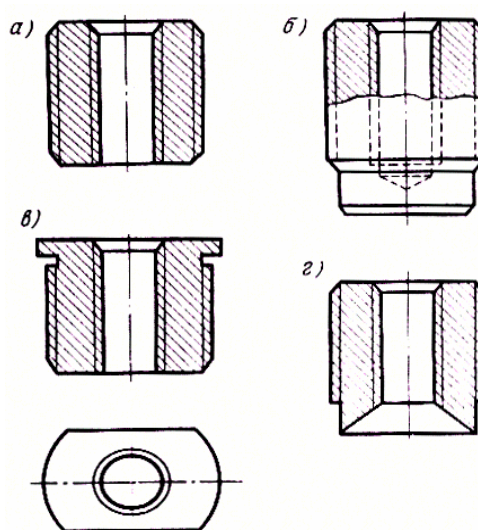


Рис. 11.3. Основные типы свертышей:

- а* – прямой открытый;
- б* – прямой закрытый;
- в* – прямой открытый с буртиком под ключ;
- г* – ступенчатый под стопорение с одного конца

друг от друга, что обеспечивает возможность параллельной установки роликов по отношению друг к другу.

Под нижними подушками установлены пластинчатые пружины 8, снижающие динамические нагрузки на подшипники от биения прижатых друг к другу роликов при вращении.

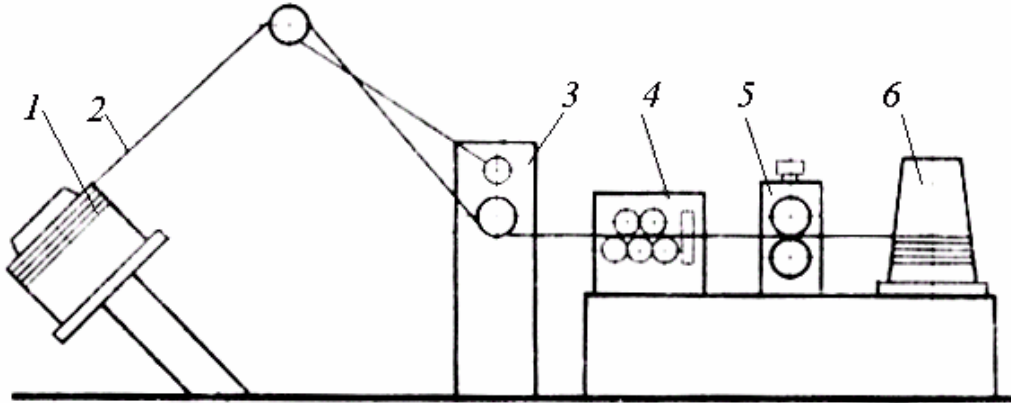


Рис. 11.5. Волоочильный стан ВФР-4

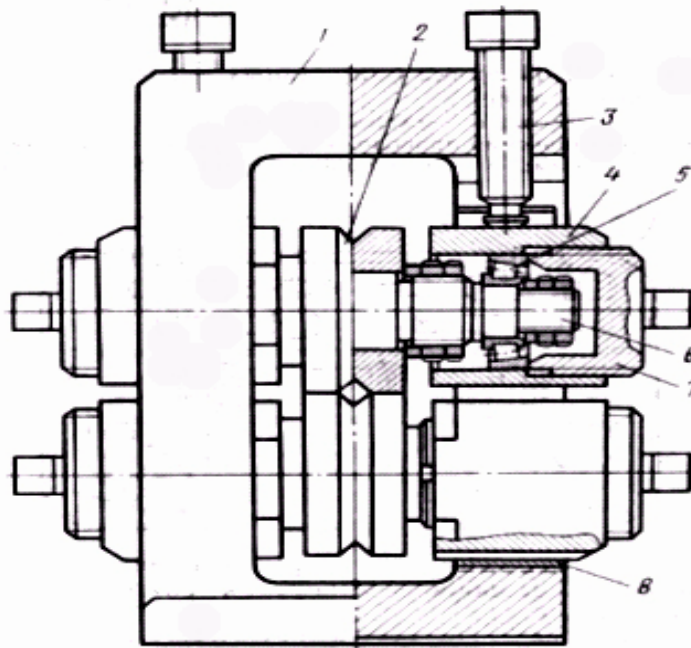


Рис. 11.6. Роликовая волока

Спиральные вставки можно навивать на токарно-винторезном станке при помощи резьбовой оправки (рис. 11.7 а) и оправки с роликом (рис. 11.7 б), на цилиндрической поверхности которого нарезана кольцевая канавка с профилем, соответствующим профилю метрической резьбы. Оправку с роликом закрепляют в резцедержателе токарного станка (рис. 11.8), а резьбовую оправку – в его патроне. Конец заготовки проволоки вставляют в прорезь на торце оправки и фиксируют прижимом, устанавливаемым

в пиноль задней бабки. Затем проволоку прижимают оправкой с роликом и включают подачу станка.

Длина заготовки для навивки спиральной вставки в миллиметрах

$$L = \pi D_{\text{ср}} n, \quad (10.2)$$

где $D_{\text{ср}}$ – средний диаметр спиральной вставки в свободном состоянии, мм;
 n – полное число витков вставки.

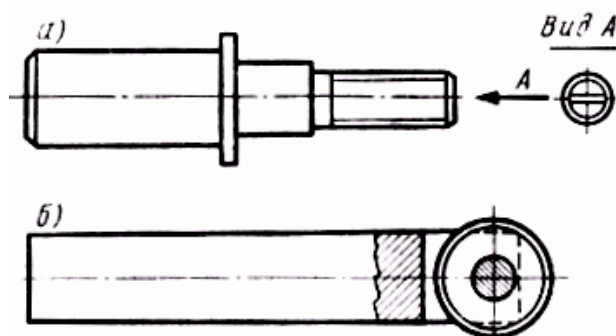


Рис. 11.7. Оснастка для навивки спиральных вставок

Для навивки спиральных вставок в промышленных условиях может быть использован автомат АРВ-1, в основу конструкции которого положен автомат для навивки пружин модели АА-5114, оборудованный приспособлениями для отгиба технологического поводка вставки и нанесения на последнем насечки для последующего его удаления. Годовая производительность автомата 4 млн вставок с шагом 1...2,5 мм и диаметром 8...30 мм.

Промышленно выпускается комплект (рис. 11.9) с резьбовыми вставками для восстановления отверстий с резьбой от М5 до М30, т.е. данным способом можно восстанавливать практически любые резьбовые отверстия деталей автомобилей.

Технологический процесс восстановления резьбовых отверстий спиральными вставками включает в себя следующий перечень работ:

1. Очистить все резьбовые отверстия от загрязнений сверлом, а затем ершом. Режим очистки: скорость резания при сверлении – 10 м/мин., частота вращения ерша – 80 мин⁻¹, подача – ручная.
2. Продуть резьбовые отверстия сжатым воздухом.

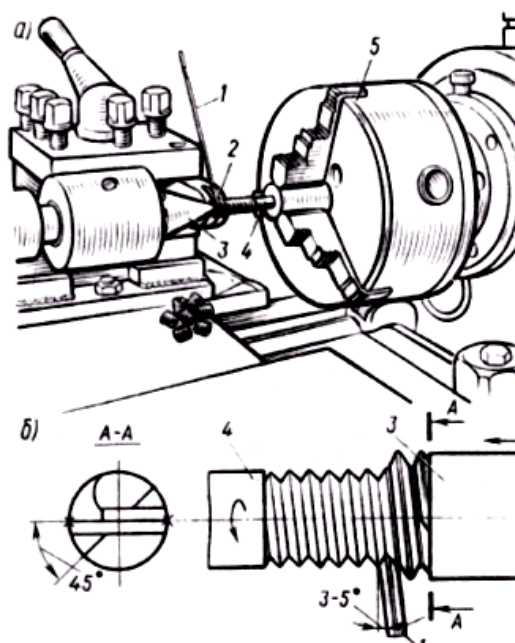


Рис. 11.8. Навивка спиральных вставок на токарном станке:
 а – внешний вид; б – схема навивки; 1 – ромбическая проволока; 2 – оправка с роликом; 3 – прижим; 4 – резьбовая оправка; 5 – патрон

3. Установить ремонтируемый объект на монтажный стол или подставку и провести при помощи резьбовых калибров дефектацию всех резьбовых отверстий; пометить отверстия, подлежащие восстановлению.

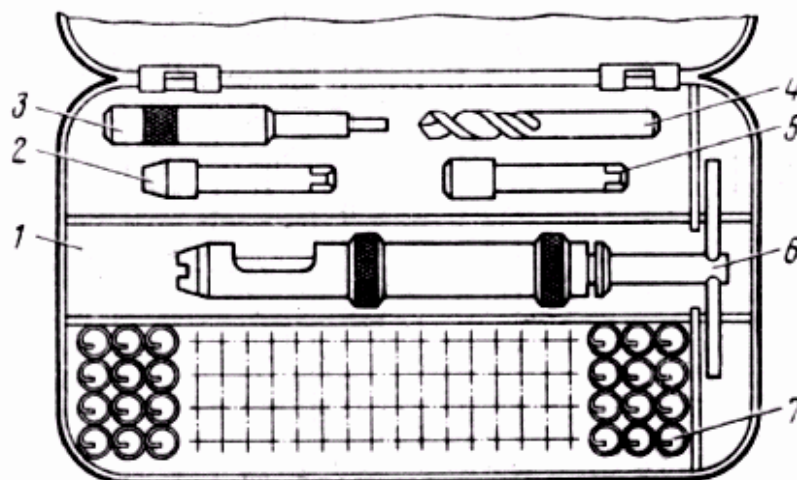


Рис. 11.9. Комплект приспособлений для ремонта резьбовых отверстий спиральными вставками:
1 – коробка; 2–5 – метчики М14х1,5; 3 – бородок; 4 – сверло 12,5 мм;
6 – ключ; резьбовые спиральные вставки 1000 шт.

4. Установить объект ремонта на стол радиально-сверлильного станка и рассверлить восстанавливаемые отверстия (табл. 11.2). Снять фаску $1 \times 45^\circ$. В глухих отверстиях глубина сверления должна соответствовать глубине отверстия. Скорость резания при сверлении – 30 м/мин.

5. Продуть отверстия сжатым воздухом.

6. Нарезать резьбу в отверстиях (табл. 11.2) и продуть сжатым воздухом.

7. Установить блок цилиндров на монтажный стол или подставку резьбовыми отверстиями вверх.

8. Установить спиральную вставку необходимого размера технологическим поводком вниз в монтажный инструмент, входящий в состав комплекта вставок. Ввести стержень инструмента в спиральную вставку так, чтобы ее технологический поводок вошел в паз на нижнем конце стержня, и медленным вращением за Т-образную рукоятку стержня вернуть спиральную вставку в резьбовое отверстие так, чтобы последний виток вставки разместился в отверстии на один виток резьбы.

9. Снять стержень инструмента с технологического поводка вставки и удалить его из резьбового отверстия.

10. Установить бородок соответствующего размера заостренным концом на технологический поводок вставки и резким, но не сильным ударом молотка по выпуклой части бородка отделить технологический поводок от вставки.

Для контроля восстановленных резьбовых отверстий в деталях после установки спиральных вставок следует завернуть в деталь с установленной

спиральной вставкой резьбовой калибр соответствующего размера и проверить качество восстановленного резьбового отверстия. Контроль восстановленных резьбовых отверстий с установленными спиральными вставками можно проводить новыми болтами соответствующих размеров, изготовленными по 2-му классу точности.

Т а б л и ц а 11.2

Размеры отверстий, подготовленных к установке резьбовой вставки

Размер восстановляемого отверстия	Диаметр сверления под вставку, мм	Размер нарезаемой резьбы под вставку	Размер восстановляемого отверстия	Диаметр сверления под вставку, мм	Размер нарезаемой резьбы под вставку
M5×0,8	5,2-5,35	M6×0,8	M16×2,0	16,2-16,4	M18×2,0
M6×1,0	6,96-7,12	M8×1,0	M18×2,5	18,1-18,4	M20×2,5
M8×1,0	8,86-9,12	M10×1,0	M20×1,25	20,7-20,9	M22×1,25
M8×1,25	8,7-8,86	M10×1,25	M20×1,5	20,45-20,62	M22×1,5
M10×1,0	10,96-11,12	M12×1,0	M20×2,5	20,1-20,4	M22×2,5
M10×1,25	10,7-10,86	M12×1,25	M22×1,5	22,45-22,62	M24×1,5
M10×1,5	10,45-10,62	M12×1,5	M22×2,5	22,1-22,4	M24×2,5
M11×1,0	11,96-12,12	M13×1,0	M24×1,5	25,45-25,62	M27×1,5
M12×1,0	12,96-13,12	M14×1,0	M24×2,0	24,9-25,13	M27×2,0
M12×1,25	12,45-12,62	M14×1,25	M24×3,0	24,14-24,46	M27×3,0
M12×1,5	12,96-13,12	M14×1,5	M27×1,5	28,45	M30×1,5
M12×1,75	12,18-12,38	M14×1,75	M27×2,0	28,62	M30×2,0
M14×1,25	14,7-14,86	M16×1,25	M27×3,0	27,9-28,13	M30×3,0
M14×1,5	14,7-14,90	M16×1,5	-	-	-
M16×1,5	16,45-16,62	M18×1,5	M30×3,5	29,55-29,88	M33×3,5

11.3. Восстановление коленчатых, распределительных, гладких валов и осей

При эксплуатации коленчатых валов (рис. 11.10) неизбежным дефектом является износ коренных и шатунных шеек, шпоночной канавки, резьбовых соединений, отверстий под штифты крепления маховика, посадочных мест распределительной шестерни, шкива, наружного кольца шарикоподшипника в заднем торце вала. Кроме износа трущихся поверхностей коленчатые валы могут иметь: изгиб и скручивание, овальность и конусообразность шеек, задиры, риски, вмятины на шейках, биение шейки под шестерню и шкив, торцовое и радиальное биение и нарушение геометрической формы посадочного диаметра фланца маховика, забивание масляных каналов продуктами износа и загрязнениями масла, износ или срыв резьбы и некоторые другие дефекты.

В табл. 11.3 приведены основные дефекты коленчатого вала двигателя ЗИЛ-130, которые характерны и для других коленчатых валов. Одним из

часто встречающихся дефектов являются задиры на шатунных шейках – 44 % коленчатых валов, поступающих в капитальный ремонт. Причиной задиrow шатунных шеек могут быть недостаточная подача масла к шейкам вследствие забивания масляных каналов, а также потери натяга вкладыша. Задиры наблюдаются преимущественно по 3-му кривошипу. Шатунные шейки изнашиваются сравнительно равномерно, достигая на некоторых двигателях 0,1 мм. Коренные шейки изнашиваются неравномерно. В табл. 11.4 приведены ремонтные размеры задней шайбы упорного подшипника.

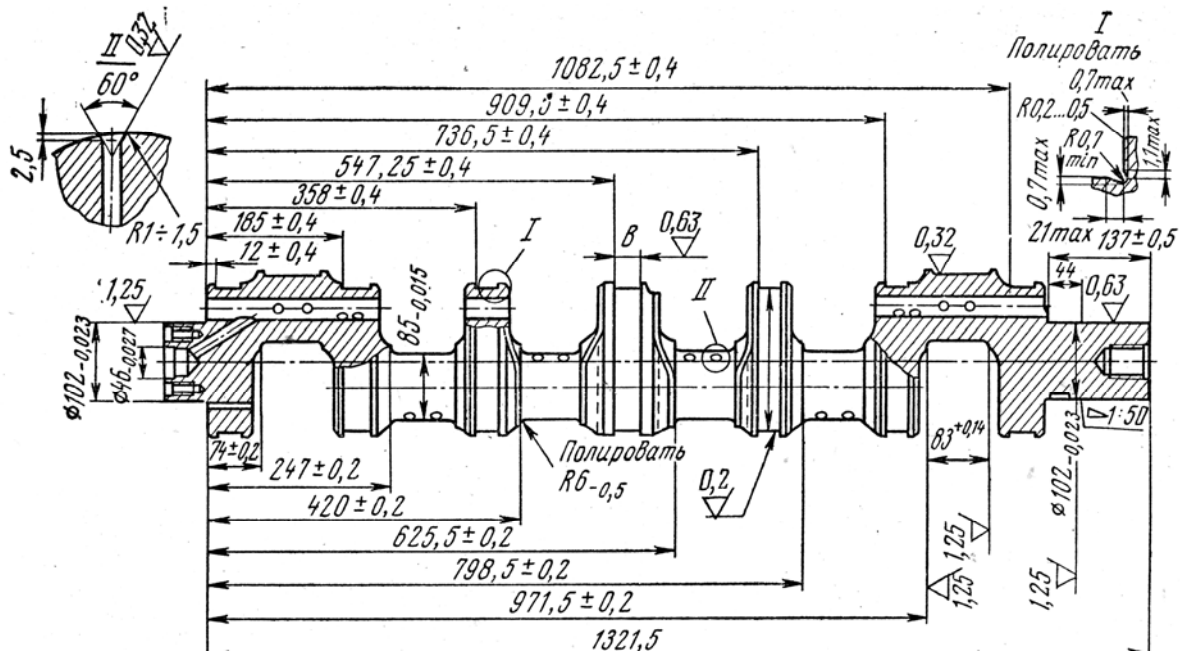


Рис. 11.10. Коленчатый вал двигателя ЯМЗ-240НБ

К дефектам коленчатого вала относятся также превышение на 0,05 мм торцового биения поверхности фланца и радиального биения средних коренных шеек относительно 1-и и 5-й коренных шеек. Непараллельность осей шатунных шеек относительно коренных не должна превышать 0,01 мм на длине каждой шатунной шейки.

Дефекты коленчатых валов устраняются различными способами. Одним из распространенных способов является шлифование их до установленных ремонтных размеров (табл. 11.8). Шейки, вышедшие за пределы ремонтных размеров, восстанавливаются нанесением различных покрытий.

Коленчатый вал перед восстановлением необходимо разобрать: удалить шпонки, извлечь из масляных каналов заглушки и пробки, выпрессовать подшипник первичного вала коробки передач, снять противовесы.

Разобранный коленчатый вал очищают от асфальтосмолистых, масляных и других загрязнений. Очищенные от загрязнений коленчатые валы осматривают визуально и при отсутствии видимых дефектов проверяют на биение (прогиб). Для этого вал укладывают крайними коренными шейками на призмы, установленные на плите, и контролируют прогиб вала по сред-

ней шейке. При прогибе более допустимого по требованиям завода-изготовителя коленчатый вал правят гидравлическим прессом. Валы, имеющие прогиб больше предельного, бракуются. При правке коленчатого вала в местах концентрации напряжения, особенно на галтелях, могут появиться трещины. Поэтому иногда применяют высококачественный, но малопродуктивный способ правки наклепом – нанесением ударов молотка по поверхности щек. Однако правку наклепом может выполнить только рабочий высокой квалификации.

Т а б л и ц а 11.3

Основные дефекты коленчатого вала ЗИЛ-130

Возможные дефекты	Размер, мм	
	по рабочему чертежу	допустимый без ремонта
Срыв или износ резьбы под храповик	-	-
Износ шейки под ступицу шкива и шестерню	45,950...45,975	45,92
Повреждение резьбы под пробку масляного канала	-	-
Износ фланца вала по диаметру	139,982...140,022	139,96
Износ отверстий под болты	14,000...14,036	14,06
Крепление маховика	1-й ремонтный 14,25...14,285	14,31
	2-й ремонтный 14,500...14,535	14,06
Износ отверстия под подшипник первичного вала коробки передач	51,960...51,992	52,01
Износ масляных канавок по диаметру	78,995...78,997	78,8

Т а б л и ц а 11.4

Ремонтные размеры задней упорной шайбы в зависимости от длины передней коренной шейки ЗИЛ-130

Длина шейки, мм	Толщина шайбы, мм
31,00...31,17	2,5...2,4
31,17...31,32	2,6...2,5
31,32...31,47	2,7...2,6
31,47...31,62	2,8...2,7

Далее зачищают рабочую поверхность коленчатого вала до металлического блеска для магнитного контроля. Контроль осуществляется с использованием магнитного порошка или суспензии, в которую входит смесь трансформаторного масла (40 %) и керосина (60 %), а также магнитный порошок из окиси железа Fe_3O_4 (окалина прокатная, ковочная), молотой чугунной стружки или сепарированной пыли после полировки стальных деталей. Концентрация суспензии – 50 г порошка на 1 дм³ жидкой смеси.

Намагничивание коленчатого вала производится пропусканием через него электрического тока (циркулярное намагничивание) или в поле соле-

ноида (продольное намагничивание). В первом случае лучше выявляются продольные трещины, во втором – поперечные.

Суспензия наносится на контролируемые участки поливом чаще всего после окончания намагничивания (допускается окунание вала в ванну с суспензией). При наличии дефектов на контролируемой поверхности появятся «жилки», повторяющие форму трещин.

Для дефектации применяют универсальные или специальные дефектоскопы. После окончания контроля коленчатый вал размагничивают пропусканием через него электрического тока, постепенно уменьшая его до нуля. На автомобильном транспорте коленчатый вал с трещиной, как правило, бракуют. Коленчатые валы без трещин далее проходят контроль на твердость материала шеек. В процессе изнашивания поверхности шеек, закаленных ТВЧ, твердость материала снижается. Приемлемая для эксплуатации твердость поверхности шеек находится в пределах 52...62 HRC.

Подготовка коленчатых валов к восстановлению завершается контролем и сортировкой их по типам и размерным группам на сортировочном столе, оборудованном необходимыми контрольно-измерительными приборами и инструментом, в результате чего выявляются валы, бракуемые окончательно, подлежащие ремонту или используемые повторно без ремонта. Контролируются: размеры коренных и шатунных шеек, посадочных мест под подшипник первичного вала коробки передач, шкив, маховик, распределительная шестерня, отверстия под болты крепления маховика, износ шпоночных канавок, резьб (включая и маслогонные), торцовое биение фланца маховике. Параметры ряда коленчатых валов автомобильных двигателей, допустимых без ремонта (по данным ГосНИТИ), приведены в табл. 11.5. Проверку начинают с тех параметров, по которым наиболее часто бракуются коленчатые валы.

При подготовке коленчатых валов к восстановлению на щеках вала с помощью шаблонов отмечают места, фиксирующие расположение отверстий масляных каналов, в которые забивают пробки из малоуглеродистой стали на глубину 2,5...3,0 мм.

Подготовленные к восстановлению и отсортированные коленчатые валы укладывают на передвижные стеллажи по типам (подлежащие наплавке, шлифованию под необходимый ремонтный размер и т.д.) и направляют на соответствующие участки.

Для восстановления изношенных поверхностей коленчатых валов, в первую очередь коренных и шатунных шеек, применяются различные способы нанесения покрытий (табл. 11.6). Однако многие из них неприемлемы вследствие низкой износостойкости восстановленной поверхности, невысокого предела выносливости, неустойчивости свойств наложенного слоя, низкой производительности процесса восстановления и других причин.

Коленчатые валы, не требующие наращивания изношенных шеек, шлифуют под ремонтные размеры (табл. 11.7).

Таблица 11.5

Геометрические параметры коленчатых валов, допустимые без ремонта

Параметры	Двигатели		
	ЯМЗ-238НБ	ЗМЗ-53	ЗИЛ-130
Овальность и конусообразность коренных и шатунных шеек, мм	0,01	0,01	0,01
Наименьший диаметр шеек, мм:			
шатунных	83,70	58,65	63,65
коренных	103,70	68,65	72,65
Наименьший диаметр посадочной поверхности, мм:			
вала под шкив	50,011	37,98	45,92
вала под шестерню привода распределительного вала фланца под маховик	72,035 139,60	39,98 121,84	45,92 139,78
Наибольший внутренний диаметр, мм:			
под штифты маховика	22,15	12,28	14,29
под подшипник первичного вала коробки передач	-	40,00	52,00
Ширина шпоночных пазов, мм	10,02	8,03	6,02
Внутренняя резьба под храповик	M27×2-7H	M27×2-6H	M27×2,5-7H

Таблица 11.6

Режимы наплавки чугунных коленчатых валов

Параметры	Наплавка		Вибродуговая наплавка в потоке воздуха
	галтелей в углекислом газе	шеек под флюсом	
Присадочная проволока	Св-08	Св-08А	Св-15ГСТЮЦ
Напряжение холостого хода, В	28	28	24
Напряжение дуги, В	19...20	20...22	20
Сила тока, А	120	150...170	130...160
Частота вращения вала, мин ⁻¹	2,0	2,5...3	2,2...2,6
Шаг наплавки, мм/об	-	3,5	3...3,2
Скорость подачи проволоки, м/мин	1,4...1,6	1,4...1,6	1,5...2,1
Скорость наплавки, м/мин.	2...3	2...3	0,64
Смещение электрода с зенита, мм	20	2...10	15...18
Индуктивность сварочной цепи (число витков дросселя)	8	16	16
Расход воздуха, дм ³ /ч	-	-	110...120

Таблица 11.7

Размеры шеек коленчатых валов

Размеры	Коренные шейки, мм	Шатунные шейки, мм
	ЗИЛ – 130	
Основной	74,50...74,48	65,50...65,48
1-й ремонтный	74,25...74,23	65,25...65,23
2-й »	74,00...73,98	65,00...64,98
3-й »	73,75...73,73	64,75...64,73
4-й »	73,50...73,48	64,50...64,48
5-й »	73,00...72,98	64,00...63,98
	ЯМЗ-238НБ	
Основной	110,000...109,985	88,000...87,985
1-й ремонтный	109,750...109,735	87,750...87,735
2-й »	109,500...109,485	87,500...87,485
3-й »	109,250...109,235	87,250...87,235
4-й »	109,000...108,985	87,000...86,985
5-й »	108,750...108,735	86,750...86,735
6-й »	108,500...108,485	86,500...86,485
	ЗМЗ-53	
Основной	70,000...69,980	60,000...59,987
1-й ремонтный	69,750...69,730	59,750...59,737
2-й »	69,500...69,480	59,500...59,487
3-й »	69,250...69,230	59,250...59,237
4-й »	69,000...68,980	59,000...58,987
5-й »	68,750...68,730	58,750...58,737
6-й »	68,500...68,480	58,500...58,487
	КамАЗ-740	
Основной	95,000...94,485	80,000...79,987
1-й ремонтный	94,500...94,485	80,000...79,987
2-й »	94,000...93,985	79,500...79,487
3-й »	93,500...93,485	79,000...78,987
4-й »	93,000...92,985	78,000...77,987

Кроме износа шеек коленчатый вал может иметь и другие дефекты. Их устранение также обеспечивает его работоспособность. Посадочные поверхности под шкивы, шестерню и другие элементы устраняются наплавкой в углекислом газе проволокой Св-18ХГСА с последующим обтачиванием и шлифованием до требуемого размера.

Торцовое биение фланца маховика устраняют протачиванием торца на токарном станке (не более 0,1...0,2 мм).

Износ и нарушение геометрической формы посадочного диаметра устраняют наплавкой с последующим точением и шлифованием до исходного размера. Рекомендуемые режимы обработки фланца: частота вращения детали – 200...400 мин⁻¹; подача – 0,3 мм/об., число проходов 1...3.

У шпоночных пазов изнашиваются боковые грани. При их небольшом износе пазы фрезеруют до выведения следов износа. Допускается увеличение ширины паза на 15 %. В этом случае в соединяемой детали также уве-

личивают ширину шпоночной канавки и при сборке устанавливают шпонку ремонтного размера. Иногда шпоночный паз соединяемой детали не обрабатывают, а устанавливают ступенчатую шпонку. Если шпоночный паз невозможно восстановить обработкой под ремонтный размер, то его заваривают и фрезеруют паз номинального размера на новом месте. Однако менять положение паза на валу нельзя, если шпонка служит одновременно и для фиксации соединяемой детали в строго заданном положении (например, шпоночный паз распределительного вала).

Изношенные шпоночные канавки восстанавливают заваркой проволокой Св-08Г2С в углекислом газе и фрезерованием новых канавок на прежнем месте. Это обеспечивает взаимозаменяемость шпоночных соединений. Параметры шпоночных канавок (рис. 11.11) коленчатых валов и размеры, выдерживаемые при ремонте, приведены в табл. 11.8.

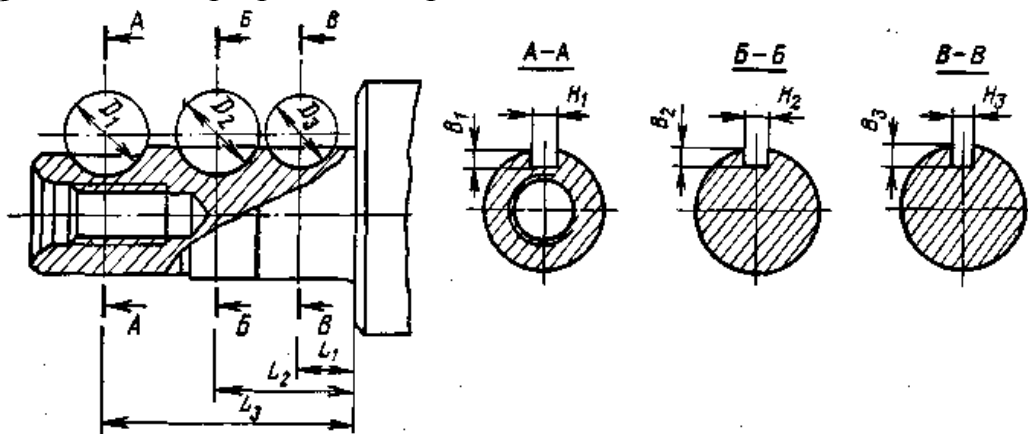


Рис. 11.11. Геометрические параметры шпоночных канавок коленчатого вала

Таблица 11.8
Размеры шпоночных канавок коленчатых валов,
выдерживаемые при ремонте

Обозначение размера на рис. 11.11	ЗМЗ-53	ЗИЛ-130	ЯМЗ-238НБ
L1	14	20	20
L2	-	-	50
L3	54	63	140
H1	8,06...7,984	5,99...5,945	9,985...9,945
H2	-	-	9,985...9,945
H3	5,985...5,945	5,99...5,945	9,985...9,945
D1	59	60	34,6
D2	-	-	34,6
D3	25,14	34,5	34,6
B1	3,66	3,66	9,9
B2	-	-	10,24
B3	8,4	10,70	9,9

В отверстие под подшипник первичного вала коробки передач в случае износа целесообразно запрессовывать втулку, предварительно подготовив для этого отверстие и расточив ее до требуемого размера. Окончательная толщина стенки втулки должна быть в пределах 2...3 мм. Овальность и конусообразность внутреннего размера втулки не более 0,03 мм. Выступающий после запрессовки торец втулки подрезают заподлицо с торцом фланца и снимают фаску.

Во избежание появления задиров на вкладышах острые кромки масляных каналов должны быть плавно закруглены.

После чернового шлифования в наплавленных коленчатых валах пробивают заглушки и зенкеруют отверстия на глубину 4...5 мм. При восстановлении вала под ремонтный размер перед шлифованием углубляют кромки масляных каналов и зачищают их при помощи переносной шлифовальной машинки. После шлифования шеек фаски полируют.

При восстановлении коленчатых валов в масляных каналах могут остаться кусочки огнеупорной глины, графита, стружки и т.д. Поэтому после завершения механической обработки необходимо тщательно очистить коленчатый вал от технологических загрязнений, так как они усиливают износ шеек.

Технология механической обработки коленчатых валов зависит от их конструкции, способа восстановления шеек, программы выпуска, оснащенности ремонтного завода оборудованием и приспособлениями. При этом важное значение имеет выбор технологических баз. Существует несколько вариантов выбора баз.

На рис. 11.12 приведены наиболее часто встречающиеся варианты базирования при механической обработке коренных шеек. По варианту *а* коленчатый вал устанавливают фланцем к задней бабке и ее центром лишают вал двух степеней свободы, а со стороны шпинделя его опирают на плавающий центр, который отбирает еще две степени свободы. Пятая степень свободы – осевое перемещение вала – ограничивается упором в тот базовый торец, от которого заданы все линейные размеры.

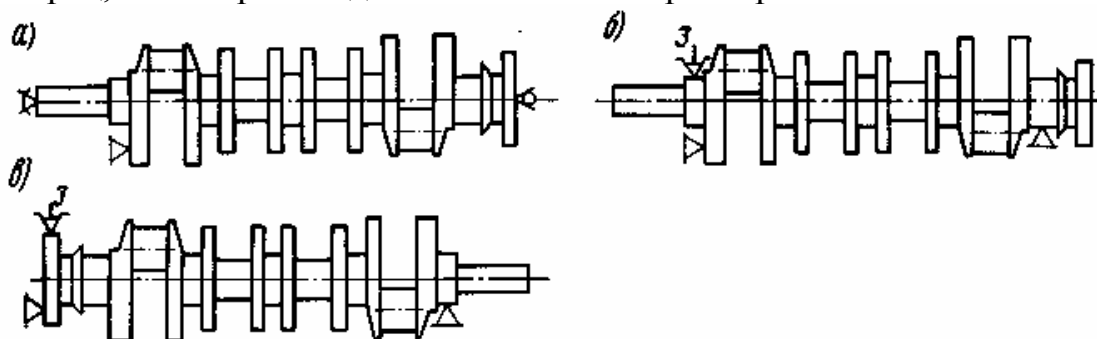


Рис. 11.12. Варианты базирования коленчатого вала

Вариант *б* отличается от *а* тем, что вал устанавливается шейкой под распределительную шестерню в трехкулачковый патрон и крайней коренной шейкой со стороны фланца в лунет.

Вариант *в* применяют при восстановлении центровых отверстий и резьб в хвостовике вала.

При обработке шатунных шеек вал должен лишиться всех шести степеней свободы. Для этого необходима угловая фиксация вала за счет контакта технологической лыски на щеке вала с фиксатором делительной скобы центросместителя или фиксации вала штифтом поводкового патрона, входящим в одно из отверстий фланца.

При монтаже и разборке коленчатого вала в процессе наплавки, правки возможна его деформация, поэтому механическая обработка его начинается с исправления центровых фасок. Затем на токарном станке обрабатывают точением шатунные шейки, установив в центросместители. Существуют различные варианты обтачивания шеек вала, но наиболее часто применяется обработка в два прохода правым и левым резцами, заправленными по радиусу галтели. Черновое точение обычно производится резцом из сплава ВК6М со скоростью 17...80 м/мин при глубине резания 1,5...2 мм и подаче 0,2...0,5 мм/об, чистовое-со скоростью 25...100 м/мин, при глубине резания 0,25...0,45 мм и подаче 0,10...0,15 мм/об.

Центросместители, обеспечивающие точность радиуса кривошипов, бывают – регулируемые, для серийного восстановления валов различных конструкций и нерегулируемые – для обработки на предприятиях, специализирующихся на восстановлении вала одной модели.

Обработка коренных шеек осуществляется при тех же режимах, которые применяются для точения шатунных шеек. Припуск при точении должен быть в пределах 0,3...0,5 мм. После обточки коленчатый вал, как правило, закаливается ТВЧ и шлифуется до исходного размера шеек. Шлифование применяется также при обработке вала под ремонтный размер и после наплавки шеек под слоем легированного флюса по технологии НИИАТ и ГосНИТИ, а также в случае восстановления наплавкой чугуновых валов. Шлифование под ремонтный размер производится в одну операцию, в других случаях обычно применяют черновое и чистовое шлифование.

Для шлифования шеек коленчатого вала используются специализированные станки ХШ2-12, -01, широкоуниверсальный ЗА423 и других моделей.

Шлифуют шейки обычно электрокорундовыми кругами на керамической связке зернистостью 16...60 и твердостью СМ2, С1, С2, СТ1, СТ2. Чугунные коленчатые валы рекомендуется шлифовать кругом КЧ-46 зернистостью 46, твердостью СМ2 или М2. Шлифовальные круги перед употреблением правят алмазным карандашом, закрепленным в оправке, при обильном охлаждении эмульсией.

Шлифуют сначала коренные шейки и все другие рабочие поверхности, находящиеся на одной оси с ними, затем шатунные. При упрочнении галтелей шатунных шеек накаткой целесообразно применять обратный порядок. Рекомендуемые режимы шлифования приведены в табл. 11.9. Шлифо-

вальные круги следует править после обработки одного-двух коленчатых валов.

Т а б л и ц а 11.9

Режимы шлифования коленчатых валов

Параметры	Коренные шейки	Шатунные шейки
Окружная скорость шлифовального круга, м/с	25...35	25...35
Окружная скорость шлифуемой поверхности, м/мин	18...25	7...12
Поперечная подача, мм:		
при черновом шлифовании	0,02...0,03	0,02...0,03
» чистовом	0,006	0,006
Продольная подача, мм/об	7...11	7...11

При шлифовании в качестве охлаждающей жидкости используют 3...4%-й раствор кальцинированной соды или эмульсию, состоящую из 10 г индустриального масла на 1 дм³ воды.

На шлифовальной поверхности не должно быть рисок, овальность шеек не должна превышать 0,015 мм. Шероховатость поверхности характеризуется $Ra=0,4...0,8$ мкм.

Восстановленные коленчатые валы, в том числе шлифованные под ремонтный размер, во многих случаях имеют микротрещины, особенно на галтелях шатунных шеек. Поэтому для повышения выносливости вала целесообразно обработать его механической или виброгидравлической чеканкой, термомеханической обкаткой или другими способами пластической деформации. Наиболее простым способом упрочнения галтелей является накатка роликами из твердых сплавов (табл. 11.10).

Т а б л и ц а 11.10

Режимы упрочнения галтелей шатунных шеек коленчатого вала

Параметры	ЗИЛ-130	ЯМЗ-238НБ
Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	40...50	35...40
Усилие прижатия ролика к поверхности галтели, Н	80...85	80...85
Машинное время обработки одной шейки, мин.	0,12...0,18	0,15...0,20
Радиус закругления ролика, мм	1,5...1,7	5...6
Уменьшение диаметра галтели после упрочнения, мм	0,10...0,15	0,10
Класс шероховатости поверхности после обработки	8...9	8...9

Завершающими операциями механической обработки шеек коленчатого вала являются суперфиниширование и полирование. Для суперфиниширования при шлифовании оставляется припуск 0,005 мм, соответствующий примерно высоте микронеровностей. Суперфиниширование производится на станках 2К34, 3А423, США-1 и других моделей.

Обработка поверхности при суперфинишировании достигается в результате использования трех видов движения: вращения коленчатого вала в зависимости от конструкции станка с частотой 31...61 мин⁻¹, продольной подачи брусков вдоль оси шейки и колебательного движения брусков

вдоль оси шейки с амплитудой 2...6 мм и частотой осцилляции 400 (200) двойных ходов за 1 мин. Для суперфиниширования используются бруски белого электрокорунда Л03-3 с твердостью С2 В83-83, С1 В77-82, алмазные АБХ8х3х33, М-100. Смазочно-охлаждающая жидкость – смесь керосина и масла.

В мелкосерийном производстве коленчатые валы полируют на токарном станке при усилении на полировальном хомуте 100...120 Н с использованием пасты ГОИ или алмазной пасты в течение 3...5 мин при частоте вращения коленчатого вала 150 мин⁻¹. В серийном и массовом ремонтном производстве шейки коленчатых валов полируют на специальных полировальных станках и стендах. Полирование шеек производится абразивными брусками ЭБ зернистостью М28 и твердостью М3. Для полирования могут быть использованы также эластичные алмазные ленты зернистостью АСД-10 со связкой Р9 и концентрацией 50 %. Лента крепится на державке с мягкими подушками, закрепленными на колодке. Размеры лент выбираются в зависимости от длины полируемой поверхности.

Ориентировочные режимы полирования: частота вращения коленчатого вала при предварительной обработке 60 мин⁻¹, окончательной – 120 мин⁻¹; амплитуда колебания вала – 4 мм; частота колебаний вала – 300 мин⁻¹; продолжительность полирования – 40 с; давление прижима лент – 0,2 МПа; охлаждающая жидкость – керосин.

В процессе эксплуатации и ремонта нарушается сбалансированность коленчатого вала. Поэтому перед полированием шеек производят его балансировку. Дисбаланс устраняется наплавкой металла в предусмотренные для этой цели отверстия в противовесах, высверливанием отверстий или фрезерованием площадок на противовесах. Допустимая несбалансированность для каждого вала устанавливается согласно техническим условиям. Для коленчатого вала, например, ЯМЗ-238НБ дисбаланс должен быть не более 50 г·см, ЯМЗ-240НБ – 150 г·см.

После завершения всех работ производят окончательную проверку соответствия вала техническим условиям сначала визуально, затем магнитным дефектоскопом. После этого контролируют геометрические параметры (рис. 11.13).

Для контроля размеров коленчатого вала используются предельные калибры, ручные, механические, пневматические, оптические и оптико-механические инструменты и приборы.

Качество коленчатых валов контролируется после каждой операции и в ряде случаев в процессе выполнения самой опе-

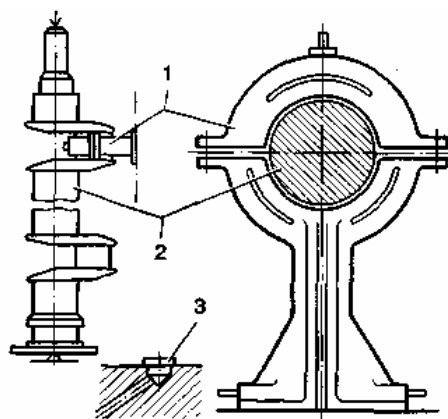


Рис. 11.13. Приспособление для контроля размеров шеек коленчатого вала

рации. На рис. 11.14 показано приспособление, позволяющее непрерывно следить за изменением размера шейки. К шлифуемой шейке 1, охватываемой скобой 2, подводится шток 3, который через передающий механизм 5 связан со стрелкой индикатора 4. При помощи кронштейна 6 приспособление крепится на защитном кожухе шлифовального круга. Послеоперационный контроль или контроль в ходе ремонта в процессе их шлифования позволяет своевременно корректировать технологический процесс.

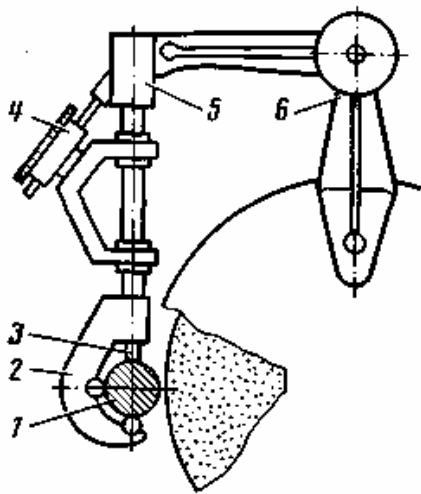


Рис. 11.14. Универсальное переналаживаемое устройство для контроля отремонтированных коленчатых валов

Коленчатые валы, не отвечающие техническим условиям на приемку в результате контроля, бракуют или возвращают на доработку.

Распределительный вал изготавливается из сталей марок 15Х, 15НМ, 12ХНЗА, 18ХГТ, 40селект, 45, 40Х, 45Х, а также из легированных чугунов. Твердость рабочих поверхностей опорных шеек, кулачков, эксцентрика после термообработки равна 51...63 HRC. Распределительные валы имеют малую жесткость на изгиб и скручивание, что создает дополнительные сложности при изготовлении и ремонте (табл. 11.11).

Таблица 11.11

Основные точностные характеристики распределительных валов

Элементы вала	Параметры	Требования (допустимые значения)
Опорные шейки	Точность обработки Шероховатость поверхности Овальность и конусообразность	6-й или 7-й квалитет $Ra = 0,32...0,63$ мкм Не более 0,01 мм
	Радиальное биение	Не более 0,015...0,025 мм (в зависимости от модели двигателя)
Кулачки	Отклонение оси симметрии кулачков от номинального положения	$\pm(30'...1^{\circ}30')$
	Отклонение контрольных точек профиля	$\pm(1...2^{\circ})$
	Шероховатость поверхности	$Ra=0,32...0,63$ мкм
	Угол наклона образующей кулачка к оси вала (для некоторых моделей)	8...16'
Шестерня привода распределителя	Шероховатость поверхности зубьев	$Ra=0,8...1,25$ мкм
Упорный толрец шейки	Неперпендикулярность к образующей	Не более 0,02...0,03 мм (в зависимости от модели двигателя)
	Шероховатость поверхности торца	$Ra= 0,8...1,25$ мкм

Основными дефектами, с которыми распределительные валы поступают в ремонт, являются: износ рабочих поверхностей кулачков, опорных шеек и эксцентрика; овальность и конусообразность шеек; задиры и риски на рабочих поверхностях; износ шейки под шестерню; повреждение шпоночного паза или отверстий под штифт; деформация вала; повреждение резьбы, зубьев шестерни.

При использовании метода ремонтных размеров для восстановления изношенных поверхностей кулачки обрабатываются по копиру. Если при этом профиль отремонтированного кулачка получается эквидистантным по отношению к профилю нового кулачка, то обеспечивается тот же подъем клапана, но при этом изменяется закон его движения.

Подъем клапана начинается позже, и раньше заканчивается его закрытие. Так, равномерное уменьшение размеров кулачка двигателя ВАЗ при обработке под ремонтный размер на 2 мм увеличивает максимальную скорость движения и положительное ускорение клапана на 15 %, максимальное отрицательное ускорение на 21 %, на $0,75^\circ$ изменяются углы начала открытия и конца закрытия клапана, т.е. угол открытого состояния клапана сокращается на $1,5^\circ$. При восстановлении кулачков под ремонтный размер необходима коррекция формы кулачка для сохранения закона движения клапана, что достигается применением соответствующих копиров.

Обработка под ремонтный размер опорных шеек, кулачков, эксцентрика является основным способом устранения износов этих поверхностей при ремонте.

Опорные шейки распределительного вала шлифуются под один из ремонтных размеров. Количество ремонтных размеров опорных шеек распределительных валов автомобильных двигателей может быть от 1 до 5. Обработка опорных шеек распределительного вала под ремонтный размер проводится на круглошлифовальных станках. Шероховатость поверхности после шлифования характеризуется $Ra=0,63$ мкм. В качестве контрольно-измерительного инструмента используются рычажные микрометры МР50 и МР75, рычажные скобы СР50 и СР75, калибры, образцы шероховатости. Применяется активный контроль в ходе шлифования. После шлифования обрабатываются фаски опорных шеек и фаски отверстий масляных каналов. Кулачки распределительного вала обрабатываются до устранения следов износа и придания им требуемых профиля и положения. Шероховатость рабочих поверхностей кулачков после шлифования должна иметь $Ra=0,63$ мкм. Профиль кулачка после обработки должен обеспечивать заданный закон движения клапана. При шлифовании кулачков распределительный вал базируется по центрам и шпоночной канавке, а валы двигателей ВАЗ – по центрам и штифту.

Эксцентрик шлифуется до устранения следов износа, при этом обеспечивается требуемая высота подъема. Для обеспечения требуемой шероховатости поверхностей проводится финишная обработка.

Наплавка. Для устранения значительных износов опорных шеек и кулачков распределительного вала используются различные способы наплавки – вибродуговая, электродуговая в среде углекислого газа или в среде аргона, кислородно-ацетиленовая и др. Применение наплавки под слоем флюса ограничивается малыми диаметрами обрабатываемых поверхностей. Всего существует более 300 вариантов восстановления кулачков распределительного вала. Анализ, проведенный с помощью автоматизированной системы синтеза новых технических решений, показал, что наиболее рациональными являются вибродуговая наплавка и электродуговая наплавка в среде защитного газа.

Напыление. Напылением восстанавливаются изношенные опорные шейки распределительного вала. Высокое качество восстановления обеспечивается при применении плазменного напыления с последующим оплавлением покрытия т. в. ч.

Перед напылением опорные шейки шлифуются для придания им правильной геометрической формы и обеспечения толщины покрытия после окончательной обработки 0,3...0,5 мм. Затем проводится дробеструйная обработка. Для напыления стальных валов целесообразно использовать порошковую смесь марки ПС-2, в состав которой входят 80...85 % порошка ПЖ-5М и 15...20 % порошка ПГ-ХН80СР4 или по 50 % порошка ПГ-ХН80СР3 и ПГ-УЗОХ28Н4С4. В качестве плазмообразующего и транспортирующего газа применяется азот. Оплавление покрытия проводится на установке т.в.ч.

Шлифование опорных шеек после нанесения и оплавления покрытия проводится методом продольного или врезного шлифования алмазными кругами на вулканитовой связке. Припуск на шлифование – 0,15...0,20 мм. Режим продольного шлифования: скорость вращения круга – 35 м/с; продольная подача – $(0,3...0,4) \cdot B$ мм/об., где B – ширина круга, мм; поперечная подача – 0,005...0,01 мм на двойной ход. Режим врезного шлифования: скорость вращения круга – 35 м/с, поперечная подача – 0,005...0,010 мм/об. Указанный технологический процесс обеспечивает твердость покрытия до 61 HRC, износостойкость в 3...4 раза выше по сравнению с закаленной сталью 45, необходимую сцепляемость покрытия и усталостную прочность детали.

Нанесение гальванических покрытий. Этим способом восстанавливаются опорные шейки и шейка под распределительную шестерню. Применяются хромирование и железнение. Последний способ используется чаще.

Перед нанесением гальванических покрытий поверхности шлифуются для устранения следов износа и придания им правильной геометрической формы. Поверхности, не подвергающиеся обработке, изолируются. Отверстия масляных каналов закрываются свинцовыми пробками.

Пластическое деформирование. Пластическое деформирование применяется для устранения деформации детали, устранения износа шейки под распределительную шестерню или шкив, а также в качестве отделочной операции для опорных шеек и кулачков.

Деформация распределительного вала происходит из-за релаксации внутренних напряжений и изгибающих нагрузок, возникающих при работе детали. При деформации вала более 0,05...0,07 мм его правят. При использовании статической правки возникает необходимость создавать упругую деформацию, в 10...15 раз превышающую первоначальный прогиб. Такая правка имеет невысокую точность, снижает усталостную прочность и несущую способность детали, а также не обеспечивает стабильность формы правленной детали. После непродолжительной работы двигателя (30...70 ч) происходит возвратная деформация вала.

Для стабилизации формы правленной детали могут применяться длительная выдержка детали под нагрузкой, термообработка, двойная правка (с перегибом). Первый способ малоэффективен, так как не обеспечивает надежного, качественного устранения дефекта и увеличивает продолжительность технологического цикла. Термообработка (термофиксация) проводится в электрических печах при температуре 180...200 °С с временем выдержки 4...6 ч. Этот способ требует дополнительного оборудования, производственных площадей, расхода электроэнергии и также удлиняет технологический цикл.

Двойная правка осуществляется следующим образом. Первоначально деталь перегибается в противоположную сторону, при этом создается остаточная деформация (перегиб), в 2...3 раза превышающая первоначальный прогиб. Затем повторным усилием пресса, направленным в противоположную сторону, прогиб устраняется. Такой способ правки получил наибольшее распространение в практике авторемонтного производства, однако он имеет существенный недостаток, связанный с необходимостью создания значительных деформаций вала в процессе правки.

Качественное устранение деформации вала обеспечивается правкой наклепом. Правка осуществляется путем нанесения серий ударов специальным инструментом по нерабочим поверхностям вала, расположенным между опорными шейками и кулачками, начиная от середины вала. Правка наклепом имеет ряд преимуществ. Этот способ обеспечивает высокую точность правки (до 0,02 мм), высокую стабильность правленной детали, исключает необходимость значительных упругих и пластических деформаций, не снижает усталостную прочность вала, обеспечивает высокую производительность. Существенным недостатком является повышенный шум, что вынуждает проводить эту операцию в специальном помещении и применять индивидуальные средства шумозащиты.

В качестве отделочной обработки опорных шеек и кулачков может применяться алмазное выглаживание. При этом происходит смятие микро-

неровностей и изменение физико-механических свойств поверхностного слоя. За счет смятия микронеровностей происходит уменьшение размера на 0,015 мм. Обработка опорных шеек, имеющих на поверхности масляные отверстия, требует применения специальных державок с гидравлическими демпферами. Для обработки кулачков используются специальные устройства, обеспечивающие обкатку профиля кулачка.

Отделочная (финишная) обработка. Является завершающей фазой механической обработки детали и имеет своей целью обеспечить требуемую шероховатость поверхностей: для рабочих поверхностей опорных шеек распределительного вала – $Ra=0,32...0,25$ мкм, для кулачков – $Ra=0,5...0,32$ мкм. При шлифовании этих поверхностей обеспечивается припуск на последующее полирование до 0,005 мм.

Полирование опорных шеек, эксцентрика и кулачков выполняется шлифовальными шкурками на тканевой основе (ГОСТ 5009–82, ГОСТ 13344–79). В качестве абразивных материалов применяются белый электрокорунд марки 24А для стальных валов и карбид кремния марки 62С для чугунных. Зернистость абразива 8...4. Режим полирования: скорость ленты – 30...40 м/с; давление – 0,05 0,12 МПа. Полирование может проводиться войлочными или фетровыми кругами. Абразивным материалом служит паста ГОИ. Окружная скорость полировального круга – 30...35 м/с. Финишная обработка может выполняться также методом алмазного выглаживания.

11.4. Восстановление шатунов

Основными дефектами шатунов (рис. 11.15) являются: изгиб и скручивание, уменьшение расстояния между осями головок, износ торцов кривошипной головки, износ и деформация отверстий кривошипной и поршневой головок, износ опорных площадок крышки под болты, повреждение резьбы болтов гаек, сдвиг металла на поверхности отверстия кривошипной головки и трещины различного характера.

Частота появления указанных дефектов неодинакова: из общего числа деталей, поступивших на дефектацию, износ внутренней поверхности верхней головки составляет 5 %, нижней головки – 30 %, втулки верхней головки – 100 % и опорных поверхностей крышки под гайки шатунных болтов – 15 %.

Характеристики шатунов и допустимые без ремонта размеры их рабочих поверхностей приводятся в технических условиях на капитальный ремонт автомобилей.

Дефектацию шатунов начинают с внешнего осмотра. При отсутствии погнутости, скрученности и трещин калибром определяется уменьшение

расстояния между осями головок шатуна. Если это расстояние менее допустимого, то такой шатун бракуется.

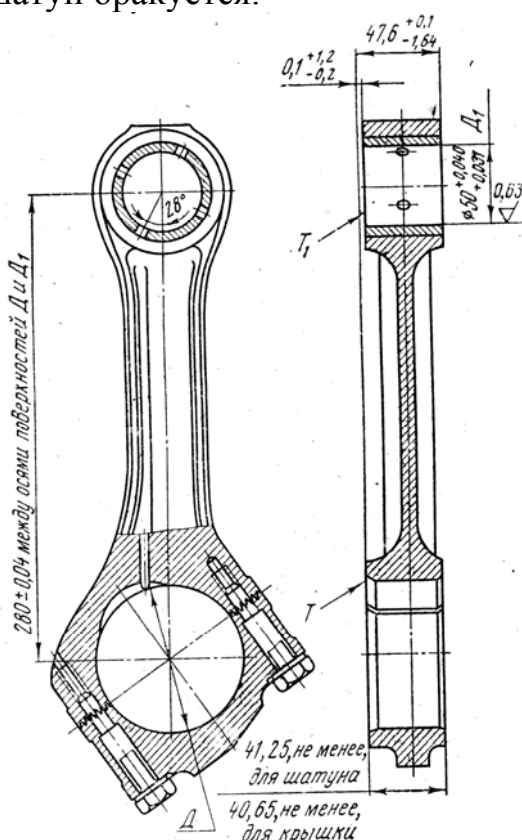


Рис. 11.5. Шатун двигателя ЯМЗ-240НБ

Следующей операцией дефектации является измерение ширины кривошипной головки. При ширине головки менее допустимой шатуны направляют по маршруту, включающему операции по восстановлению ширины головки, о чем делается соответствующая пометка краской.

С целью исключения искажения геометрии отверстия кривошипной головки шатуна при сборке в технологический процесс дефектации вводится операция по определению неплоскостности плоскостей разъема у шатуна и крышки. Операцию целесообразно выполнять на разметочных плитах, используя набор щупов. Если отклонение составляет более 0,02 мм на всей длине крышки или шатуна, то такие детали необходимо направлять на шлифование плоскостей разъема.

Состояние резьбы болтов и гаек проверяют осмотром и резьбовыми калибрами. При выкрашивании резьбы, заметном износе или срыве более двух ниток гайки и болты, имеющие такие дефекты, подлежат выбраковке. Резьбу, не выбракованную внешним осмотром, проверяют завертыванием нового болта или гайки. Они должны завертываться от руки без заметного ослабления посадки. Гайки, имеющие смятые и срубленные грани, выбраковывают. Измеряя диаметры болтов и отверстий под болты, осуществляют их подбор таким образом, чтобы зазор между ними не превышал 0,02 мм. Для измерения диаметра стержня болта целесообразно использовать

рычажную скобу с ценой деления 0,002 мм, а отверстия под болт – индикаторный нутромер с ценой деления 0,001 или 0,002 мм.

Перед измерением диаметра отверстия кривошипной головки с целью исключения смещения крышки относительно шатуна по плоскости разъема сборку можно проводить на специальной разжимной оправке. Предварительно собранный шатун устанавливают на оправку, разжимают ее и затягивают гайки динамометрическим ключом до номинального момента. Затем шатун снимают с оправки и измеряют диаметр отверстия кривошипной головки в трех направлениях и двух поясах по ГОСТ 14846–81. При диаметре отверстия, а также овальности и конусообразности более допустимого шатун направляют по маршруту, имеющему операции восстановления геометрических размеров.

При измерении отверстия кривошипной головки для сборки крышки с шатуном необходимо применять только динамометрический ключ с соблюдением установленного для каждого двигателя момента затяжки.

При дефектации отверстия поршневой головки предварительно впрессовывается бронзовая втулка (если таковая имеется) и затем нутромером измеряется диаметр отверстия, рассчитывается его овальность и конусообразность. При диаметре отверстия, овальности и конусообразности более допустимого шатун подлежит ремонту.

После дефектации шатуны, отмеченные краской соответствующего маршрута, комплектуются в группы и отправляются на участок восстановления деталей.

Шатуны, имеющие трещины и сдвиг металла на поверхности отверстия кривошипной головки, бракуются. Шатуны с прогибом или скручиванием, не поддающиеся правке, также бракуются.

Изношенные торцовые поверхности могут быть восстановлены железнением по общепринятой технологии (см. разд. 5) или газотермическим нанесением порошков типа ПГ-ХН8СР с последующим оплавлением.

Изношенные и деформированные внутренние отверстия кривошипных головок восстанавливают обычно вневанными железнением. С целью получения правильной геометрии отверстия перед железнением отверстие растачивают.

Если завод-изготовитель выпускает ремонтные шатунные вкладыши, увеличенные по наружному диаметру, то железнение отверстия шатунной головки не производится.

Геометрические параметры поршневых головок восстанавливают под ремонтный размер втулки. В расточенное отверстие запрессовывают бронзовую втулку ремонтного размера при помощи гидравлического или пневматического пресса. При этом необходимо обратить внимание на то, чтобы стык втулки был смещен на 90 °С от плоскости осей отверстий головок.

При механической обработке шатунов базой является торцовая поверхность кривошипной головки. При износе этой поверхности она должна быть восстановлена.

Растачивание отверстия кривошипной головки выполняется на алмазно-расточных станках 2А78П, 278Н и др. Рекомендуемые режимы растачивания: частота вращения шпинделя станка – 600 мин^{-1} , подача – $0,1 \text{ мм/об}$. Растачивание производится при помощи специального приспособления с обеспечением параллельности осей верхней и нижней головок и заданного межцентрового расстояния.

В зависимости от степени износа и деформации отверстия кривошипной головки растачивание следует производить до диаметра, предусмотренного конструкцией шатуна. Шатуны с расточенными отверстиями целесообразно разбивать по группам, имеющим одинаковый диаметр отверстия, что необходимо для получения слоя нужной толщины при железнении.

Хонингование отверстий кривошипных головок целесообразно проводить в две стадии: черновое и чистовое, используя при этом бруски из синтетических алмазов. Операция выполняется на хонинговальной станке, например 3Г833, при следующих режимах обработки: частота вращения хонинговальной головки – $30...40 \text{ мин}^{-1}$; скорость возвратно-поступательного движения – $8...12 \text{ м/мин}$; давление брусков на обрабатываемую поверхность $0,12... 0,15 \text{ МПа}$.

При рекомендуемых режимах продолжительность хонингования составит $20... 30 \text{ с}$, а шероховатость поверхности не превысит $Ra=0,5 \text{ мкм}$. Перспективным направлением является применение автоматических и полуавтоматических станков для хонингования с применением активного контроля. Использование таких станков в технологическом процессе позволит получить стабильные размеры при высокой производительности.

Кривошипную головку шатуна иногда восстанавливают снятием металла с опорных поверхностей крышки и стержня с последующим растачиванием отверстия до исходного размера и сохранением межцентрового расстояния за счет неконцентрической обработки втулки верхней головки. Однако такая технология затрудняет вторичное восстановление шатуна.

Растачивание отверстия поршневой головки можно выполнять также на станках 2А78П, 278Н и др. до диаметра, предусмотренного конструкцией шатуна. Шероховатость обработанной поверхности должна иметь $Ra < 1,6 \text{ мкм}$.

С целью улучшения посадки втулки в поршневой головке и уменьшения погрешностей, возникающих при ее механической обработке, возможна раздача втулки раскатыванием. Затем у втулки сверлится отверстие для смазывания и снимаются фаски с двух сторон на вертикально-сверлильном станке.

Восстановленные шатуны тщательно очищаются щелочными или синтетическими моющими растворами, подогретыми до 80...95 °С. Далее шатуны промываются в горячей воде и отправляются на следующую операцию технологического процесса – комплектование по массе. Эту операцию рекомендуется выполнять на приборе для раздельного взвешивания кривошипной и поршневой головок шатуна, сортируя шатуны по группам с разностью масс головок до 10 г.

Завершающая операция технологического процесса – контроль параметров шатуна, который начинают с проверки отверстий головок. Для контроля используют индикаторные нутромеры, снабженные многооборотными индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 или 0,002 мм. Кроме механических средств измерения возможно применение пневматических, имеющих ряд достоинств: простоту в обращении, высокую точность, отсутствие износов рабочей части и т.д. Применение пневматических измеряющих устройств существенно повышает производительность труда.

Восстановление шатунов по предлагаемому технологическому процессу обеспечивает получение геометрических параметров, требуемых нормативной документацией.

Конструктивно все шатуны двигателей внутреннего сгорания сходны, поэтому для их восстановления может быть использовано унифицированное оборудование и поточно-механизированная линия. Донецким филиалом ЦОПКТБ «Ремдеталь» разработана технология восстановления шатунов с использованием механизированной линии. По этой технологии шатуны после дефектации подаются к прессам для снятия втулки поршневой головки, затем на магнитном дефектоскопе проверяется наличие трещин, контролируются параметры рабочих поверхностей. Далее производится подготовка к железнению, железнение и все виды механической обработки после железнения. Затем проверка межосевого расстояния, параллельности и перекося осей отверстий верхней и нижней головок. Далее удаление технологических болтов, установка рабочих болтов и размагничивание шатуна. Процесс заканчивается консервированием отремонтированных шатунов, их упаковкой и направлением в склад готовой продукции.

11.5. Восстановление гильз цилиндров и блоков цилиндров

Гильзы цилиндров изготавливают у двигателей ЯМЗ и КамАЗ-740 из специального чугуна (42.. 50 HRC и 45...50 HRC соответственно), у двигателей ЗИЛ-130 – из серого чугуна СЧ-18 (НВ 179...229), у ЗМЗ – из серого чугуна СЧ-22. В верхней части гильз цилиндров ЗИЛ и ЗМЗ запрессованы вставки, изготовленные из легированного чугуна (нирезиста).

Основные дефекты гильз: износ внутренней поверхности цилиндра (зеркала цилиндра); изменение формы и взаимного расположения верхнего и нижнего установочных поясков относительно оси цилиндра; сколы и трещины любого размера и расположения; отложения накипи на поверхности, омываемой водой; отложения накипи на поверхностях посадочных поясков; коробление, отколы, глубокие задиры или потеря натяга вставки гильзы.

При наличии сколов или трещин любого размера и расположения гильзы выбраковывают. Эти дефекты обнаруживают визуально либо гидравлическим испытанием гильзы под давлением 0,4 МПа в течение 1...2 мин. При этом на наружной части гильзы не должно быть капель воды.

Коробление вставки гильзы, ослабление ее посадки в процессе эксплуатации обычно незначительны, и по этим дефектам гильзы цилиндров вполне ремонтпригодны. Отложения накипи на поверхностях, омываемых водой, и на посадочных поясах удаляются механическими или физико-химическими способами. К механическим относят ручную очистку, очистку чугуной дробью различных размеров, пневматическую очистку косточковой крошкой, очистку при помощи дисковых проволочных щеток («кранцевание»).

К физико-химическим методам относят электрохимическую и ультразвуковую, а также очистку с использованием специальных растворителей и моющих средств. Для очистки гильз цилиндров со вставками не рекомендуется очистка в растворе или расплаве каустической соды, так как при этом происходит некоторая потеря прочности посадки вставки в гильзе цилиндра. Для этих гильз можно использовать очистку косточковой крошкой, чугуной дробью и кранцевание.

Износ зеркала цилиндра устраняется растачиванием с последующим хонингованием под один из ремонтных размеров, постановкой дополнительных ремонтных деталей (ДРД), индукционной центробежной наплавкой, проточным хромированием.

Технологический процесс восстановления под ремонтный размер включает в себя расточную и хонинговальную операции. Растачивание проводится на вертикальных алмазно-расточных станках моделей 278, 278Н, 2А78Н и многошпиндельных полуавтоматах.

Базовыми поверхностями при установке блока для растачивания цилиндров служат нижняя привалочная плоскость и фаска в верхней части цилиндра. При установке гильз на расточку базовыми поверхностями служат наружный чисто обработанный пояс и верхний торец гильзы.

Блок цилиндров устанавливают непосредственно на столе расточного станка, для установки гильзы используется приспособление (рис. 11.16), которое крепится на столе.

Эксцентриситет осей шпинделя и цилиндра не должен превышать 0,03 мм. Для предварительной центровки приспособления или блока ци-

цилиндров применяют шариковую оправку 4 (рис. 11.17), а погрешность центровки проверяют индикаторным центроискателем. Центрирование приспособления ведется по посадочному отверстию под гильзу, а блока цилиндров – по неизношенной поверхности растачиваемого цилиндра на глубине 3 – 4 мм от верхнего торца. Оправку в шпиндель устанавливают так, чтобы шаровой конец ее находился от диаметрально противоположной стороны резцовой головки на расстоянии в миллиметрах:

$$l = (d + D) / 2, \quad (11.1)$$

где d – диаметр резцовой головки, мм;

D – диаметр цилиндра на глубине 3–4 мм от верхнего торца цилиндра, мм.

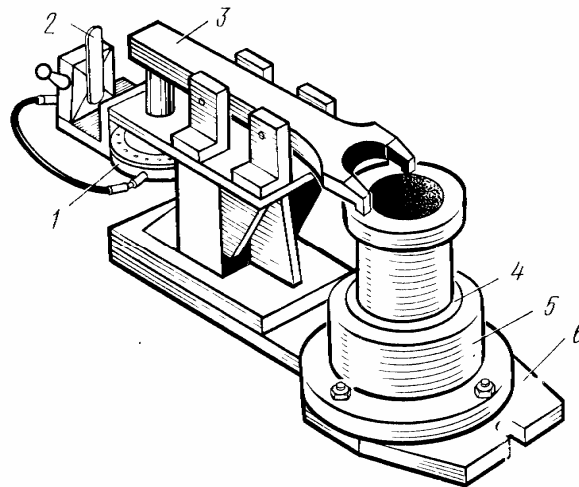


Рис. 11.16. Приспособление для установки и крепления гильз:
1 – привод; 2 – кран управления; 3 – прижим; 4 – центрирующее кольцо;
5 – корпус; 6 – основание

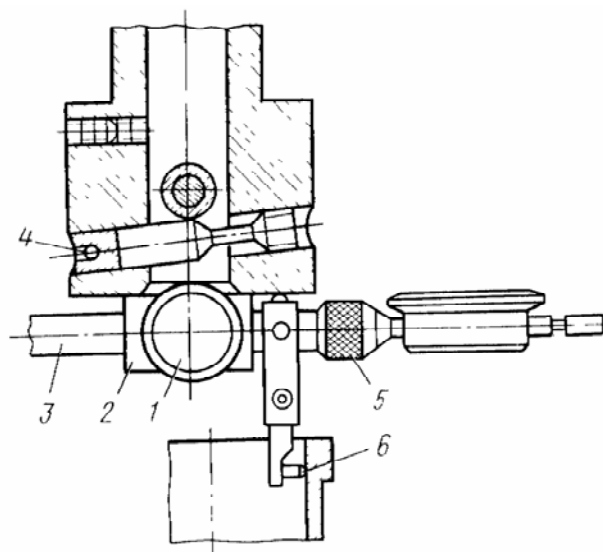


Рис. 11.17. Резцовая головка станка 2А78Н
с приспособлениями для центрирования гильз:
1 – винт; 2 – колодка; 3 – рычаг; 4 – шариковая оправка;
5 – гайка; 6 – упор рычага

После проверки микрометром значения l оправку закрепляют и опускают шпиндель на указанную глубину в цилиндр. При вращении резцовой головки шаровой конец оправки скользит по образующей цилиндра и устанавливает деталь (приспособление) по оси шпинделя.

Точность центровки проверяют при помощи индикаторного приспособления (центроискателя) (см. рис. 11.7), колодка 2 которого ввинчивается в торец резцовой головки шпинделя. Упор 6 рычага подводят к зеркалу цилиндра на глубине 3–4 мм, положение рычага 3 фиксируется винтом 1 и гайкой 5. Шкалу индикатора устанавливают на «0» и поворотом шпинделя на один оборот определяют погрешность центрирования. При необходимости корректируют положение детали.

Вылет l_1 резца регулируют при помощи винта 1 с лимбом, ввинчиваемого в торец резца 2.

Расстояние l_1 в миллиметрах от вершины резца до диаметрально противоположной стороны резцовой головки

$$l_1 = (d + D_1) / 2, \quad (11.2)$$

где D_1 – диаметр цилиндра, под который должно быть произведено растачивание, мм.

Положение резца фиксируют стопорным винтом.

Режим резания должен обеспечить следующее: выполнение требований чертежа по шероховатости зеркала цилиндра, точности размера, формы и расположения, наивысшую производительность и минимальную себестоимость работы. Режимы резания при растачивании приведены в табл. 11.12.

При растачивании цилиндров блока следят за сохранением расстояний между осями цилиндров и перпендикулярностью осей цилиндров к оси коленчатого вала. Отклонение от перпендикулярности допускается не более 0,05 мм на всей длине цилиндра. При растачивании гильз цилиндров следят за толщиной стенок гильзы. Разница в толщине стенок гильзы, измеренных по посадочным поясам в вертикальной плоскости, не должна превышать 0,06 мм.

Т а б л и ц а 11.12

Режимы формообразования при растачивании гильз цилиндров
под ремонтный размер

Обрабатываемый чугун	Глубина резания t , мм	Подача s , мм/об	Скорость резания v , м/мм	Материал инструмента
НВ 170-229	0,1...0,15	0,05...0,10	100...120	ВКЗМ
НВ 229-269	0,1...0,15	0,05...0,10	80...100	ВКЗМ

Проектирование расточной операции начинается с расчета припуска на растачивание. Для этого наводят максимальный размер изношенного от-

верстия D_u и устанавливают диаметр ближайшего ремонтного размера D_{pp} . Припуск на растачивание

$$Z = D_{pp} - D_u - Z_x, \quad (11.3)$$

где Z_x – припуск на хонингование, равный 0,03–0,05 мм.

Затем определяют глубину резания с учетом рекомендации и назначают число проходов i ; выбирают нормативную подачу s и уточняют ее по паспорту станка s_{ϕ} ; принимают нормативную скорость резания v и рассчитывают частоту вращения шпинделя.

Доводку цилиндров выполняют на вертикально-хонинговальных или вертикально-сверлильных станках специальными хонинговальными головками 3 (рис. 11.18) с подачей охлаждающей жидкости l в зону трения. На головке по окружности установлены четыре, пять или шесть сменных мелкозернистых абразивных брусков 2.

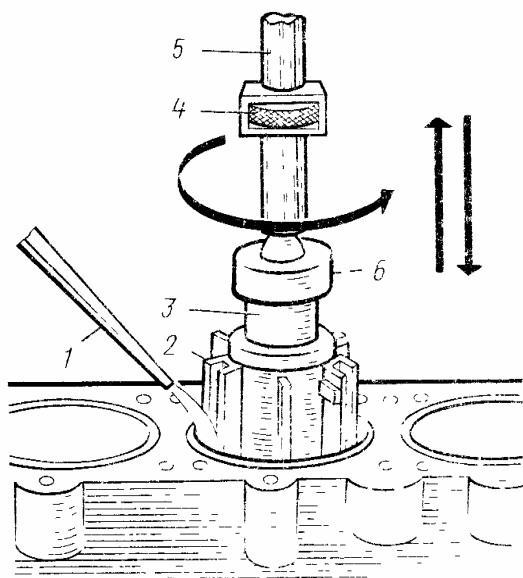


Рис. 11.18. Схема хонингования цилиндров блока

Головка, соединенная с хвостовиком 5 через шарнир 6, закрепляется в шпинделе станка. При хонинговании головка с абразивными брусками совершает вращательное и возвратно-поступательное движение по стенкам цилиндра. На необходимый размер бруски разжимают вручную при помощи кольца подачи 4.

На современных хонинговальных головках для отжатия брусков используют гидравлические и пневматические приводы. По мере снятия металла и изнашивания брусков при ручном механическом приводе радиальная подача выполняется автоматически спиральной пружиной, а при пневматическом

приводе бруски автоматически прижимаются с постоянным усилием.

В качестве охлаждающей жидкости при хонинговании используют керосин или смесь керосина (80–90 %) с машинным маслом. Ее обильно подают в цилиндр в течение всего процесса. Чтобы обеспечить высокую точность геометрических размеров, ход головки устанавливают таким, чтобы абразивные бруски выходили за верхний и нижний края цилиндра на 0,2 – 0,3 их длины (рис. 11.19).

Основными параметрами режима резания при хонинговании являются:

- скорость вращения хонинговальной головки в метрах в минуту (м/мин);
- скорость возвратно-поступательного движения головки в метрах в минуту;

- соотношение между скоростями вращательного и возвратно-поступательного движения хонинговальной головки.

Одним из путей повышения технико-эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания является формирование на цилиндрах при их обработке под ремонтный размер микропрофиля, который представляет собой чередующиеся плоские выступы с углублениями для размещения смазочного материала.

Такой процесс называется *плосковершинным хонингованием*. При этом увеличиваются маслосъемность и опорная площадь обработанной поверхности, в результате сокращается время приработки, уменьшается расход масла, повышается износостойкость цилиндров, увеличивается ресурс двигателей.

В Институте сверхтвердых материалов АН Украины разработана технология производства гильз цилиндров со специальным профилем обработанной поверхности с использованием алмазных хонинговальных и специальных антифрикционных брусков.

Неровности микропрофиля формируются на операции предварительного хонингования алмазными брусками зернистостью 125/100–250/200 на металлической связке. Затем они притупляются алмазными брусками меньшей зернистости на эластичной каучукосодержащей связке Р11. При этом на внутренней поверхности гильзы формируется микро-рельеф, состоящий из участков с малой высотой микронеровностей ($R_a=0,5\div 1,0$ мкм) – «плато» и впадин – рисок, глубина которых в 3–8 раз больше, чем высота микронеровностей на «плато» (рис. 11.20).

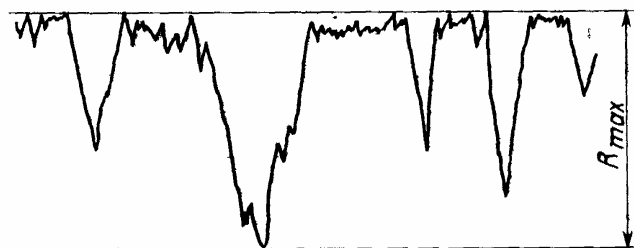


Рис. 11.20. Профиль участка гильзы при плоско-вершинном хонинговании

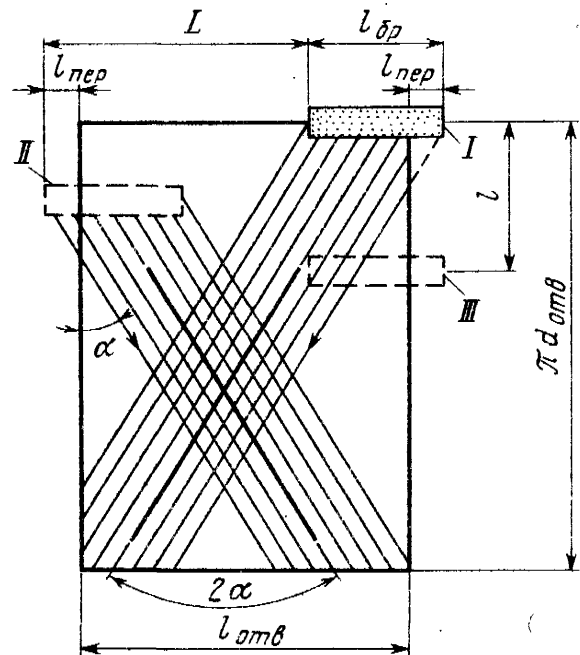


Рис. 11.19. Развертка сетки следов обработки при хонинговании цилиндров блока:

L – ход хонинговальной головки;
 $l_{отв}$ – длина цилиндра; $l_{обр}$ – длина абразивного бруска хонинговальной головки; $l_{пер}$ – перебеги абразивных брусков за края цилиндра; a – угол подъема следа; $2a$ – угол скрещивания следов; I, II, III – последовательные положения бруска за один двойной ход

Бруски на каучукосодержащей связке обладают локальной эластичностью, т.е. алмазные зерна, находящиеся на поверхности брусков, погружаются в связку под действием сил микрорезания и выступают из нее при отсутствии нагрузки (например, когда зерно расположено над впадиной исходного микропрофиля). Это позволяет при обработке делать края рисок микропрофиля овальными, без заусениц.

Маслоемкость такой поверхности весьма велика. В результате заполнения рисок маслом уменьшается трение, снижается вероятность появления задигов и возникновения гильз с поршнями и поршневыми кольцами.

При хонинговании антифрикционными брусками риски на поверхности детали частично заполняются менее твердыми металлами, антифрикционными веществами, входящими в состав хонинговальных брусков. Наличие на поверхности гильзы менее твердых металлов и антифрикционных материалов улучшает антифрикционные свойства детали.

Преимущества антифрикционного плосковершинного хонингования:

- исключаются прихваты поршневых колец, задиры, улучшается и сокращается время приработки цилиндропоршневой группы;
- снижаются механические потери, увеличивается частота вращения коленчатого вала на 200–500 мин⁻¹;
- увеличивается эффективная мощность;
- стабилизируется и снижается расход масла на 0,1–0,2 % от расхода топлива;
- снижается удельный расход топлива на 1,5...2,0 г/(кВт·ч);
- увеличивается долговечность двигателей на 30–40 %.

11.6. Восстановление деталей топливной аппаратуры двигателей

От исправности аппаратов топливной системы зависят надежность и экономичность работы двигателя, динамические качества автомобиля.

В процессе эксплуатации у дизельных двигателей от 20 до 50 % отказов приходится на систему питания (прецизионных плунжерных пар, распылителей, нагнетательных клапанов).

Топливная система карбюраторных двигателей включает в себя топливные баки и топливопроводы, топливные фильтры, бензонасос, воздушный фильтр, карбюратор и ограничитель максимальной частоты вращения коленчатого вала.

Основные дефекты топливной системы: нарушение герметичности соединений и утечка топлива, износ жиклеров, потеря упругости пружин, повреждение резьб, трещины и обломы корпусов карбюратора и насоса,

износ (разрыв) диафрагмы, засорение и снижение степени фильтрации топливных и воздушных фильтров.

Топливная система дизеля включает в себя топливные баки и топливопроводы низкого давления, топливные фильтры (грубой и тонкой очистки), топливоподкачивающий насос, насосы низкого и высокого давления, топливопроводы высокого давления, форсунки, воздушный фильтр и др.

Основные дефекты топливной системы: нарушение герметичности соединений, подтекание топлива и попадание воздуха в систему, износ прецизионных деталей насоса высокого давления и форсунки, потеря упругости пружин, повреждение резьб, трещины и обломы корпусных деталей насосов.

К прецизионным деталям относятся пары деталей: плунжер-гильза; нагнетательный клапан – гнездо; игла – корпус распылителя форсунки. К точности поверхности этих деталей предъявляются очень высокие требования, например овальность и конусообразность не должны превышать 2 мкм, диаметральный зазор между деталями – 2...3 мкм.

Т а б л и ц а 11.13

Основные дефекты карбюраторов и способы их устранения

Деталь, узел	Дефекты	Допускается без ремонта	Допускается для ремонта	Способ восстановления
Корпус карбюратора	Трещины или обломы в местах соединения частей корпуса, проходящие через отверстия крепления	-	-	-
	Трещины фланцев, не захватывающие отверстий крепления	-	Длиной не более 200 мм	Пайка, сварка
	Обломы фланцев, не захватывающие отверстия крепления	-	Любые	Наплавка
	Повреждение резьбы под распылитель ускорительного насоса, жиклеры, регулировочный винт холостого хода, винты, соединяющие части корпуса, и другие	Не более двух ниток	Более двух ниток	Нарезание резьбы ремонтного размера и торцевание бобышек и углубление резьбы
	Износ отверстий под оси воздушной и дроссельной заслонок	Не более 0,8 мм от номинального размера	Более 0,8 мм номинального размера	Постановка втулки или ремонтный размер
	Износ или неплоскостность соединительных фланцев	Не более 0,1 мм	Более 0,1 мм	Фрезерование
Поплавок в сборе	Трещины, вмятины на поверхности поплавка	-	До 5 мм длиной	Пайка, правка
Игольчатый клапан	Износ конуса иглы и седла	-	-	Притирка

По мере наработки двигателя диаметральный зазор в парах увеличивается, повышается утечка топлива. Уменьшение плотности плунжерных пар ухудшает равномерность подачи топлива по цилиндрам, происходит запаздывание момента начала впрыска.

Клапанные пары подвергаются изнашиванию по разгрузочному пояску и конусу, на конусе образуется кольцевая выработка. Недостаточная плотность в паре уменьшает количество впрыснутого топлива и угол опережения впрыска, вызывает подтекание и плохой распыл топлива.

В процессе длительной работы форсунки изнашиваются направляющие и конус иглы, седло иглы в корпусе распылителя. При износе увеличивается подъем иглы и, следовательно, увеличивается количество впрыснутого топлива в цилиндры. Если распылители сильно отличаются по суммарной площади сопловых отверстий, то резко увеличивается неравномерность подачи по цилиндрам. На практике применяют два способа восстановления деталей прецизионных пар: перекомплектовку (селективный метод), восстановление изношенных поверхностей нанесением покрытий и обработкой под исходный размер. Наибольшее распространение получил первый способ.

Регулировочные данные топливных насосов приведены в табл. 11.14.

Технологический процесс восстановления плунжерных пар хромированием состоит из следующих операций:

- промывка и дефектация деталей;
- механическая обработка плунжеров и гильз;
- хромирование плунжеров;
- обработка плунжеров после хромирования;
- подбор и взаимная притирка деталей;
- контроль и приемка пар.

Дефектация плунжерных пар заключается во внешнем осмотре деталей и испытании на плотность. При обнаружении коррозии и рисок детали подлежат ремонту. Плунжерные пары, имеющие гладкую рабочую поверхность, испытываются на плотность. Пары, плотность которых меньше нормы, раскомплектовывают, а плунжеры и гильзы подвергают ремонту.

Механическая обработка плунжеров производится с целью получения правильной геометрической формы и необходимой шероховатости, для чего осуществляется предварительная и чистовая обработка. Предварительная обработка рабочей поверхности плунжера производится чугуном притиром на специальной доводочной бабке (рис. 11.21).

Чистовую обработку (доводку) деталей с применением тонкой пасты окиси хрома или окиси алюминия производят на специальном плоскодоводочном станке между двумя взаимно притертыми чугунными дисками. Оптимальное давление верхнего диска равно 0,045...0,05 МПа на 1 см длины обрабатываемых деталей. Продолжительность обработки – 20...30 с.

Таблица 11.14

Регулировочные данные топливных насосов высокого давления

Двигатель	Номинальная частота вращения кулачкового вала, мин ⁻¹	Частота вращения начала действия регулятора, мин ⁻¹	Номинальная подача топлива		Подача топлива при максимальном крутящем моменте		Подача топлива в режиме пуска		Частота вращения топливного вала при начале подачи топлива 1-й секцией, мин ⁻¹	Угол кулачкового вала при начале подачи топлива 1-й секцией	
			Число циклов	Подача, см ³	Частота вращения кулачкового вала, мин ⁻¹	Число циклов	Подача, см ³	Частота вращения кулачкового вала, мин ⁻¹			Подача, см ³
ЯМЗ-236 ЯМЗ-238	1050	1065...1085	750	85...87	850 650 450	600 600 600	69...72 70...73 68...72	80...150	32...37	1120...1150	39°±30'
КамАЗ-740 КамАЗ-741	1300	1345...1365	1000	75,5...77 64,5...66	900+10 400+10	1000 1000	77...80 67,5...70,5	100...100 100...110	19,5...21,0 19,5...21,0	1120...1150	39°±30'

После механической обработки поверхность деталей должна быть блестящей, без рисок и штрихов. Отсечная кромка и кромка торца плунжера должны быть острыми.

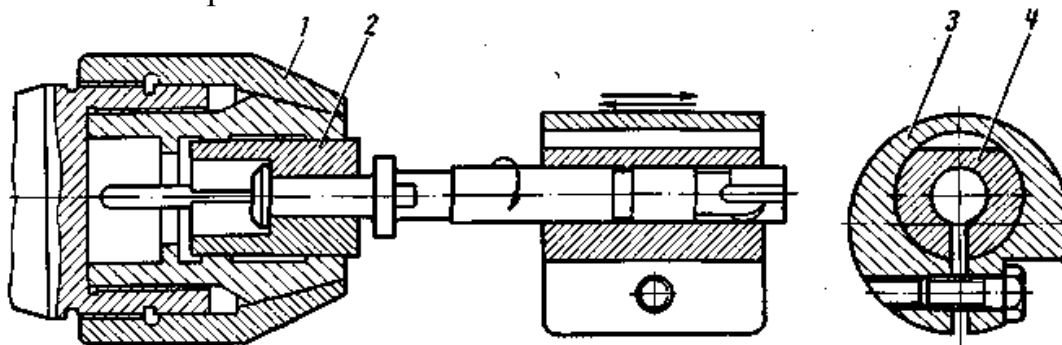


Рис. 11.21. Притирка (снятие оgranки) плунжера:
1 – цанговый зажим; 2 – сухари; 3 – оправка; 4 – притир

Механическая обработка гильз включает следующие операции:

- предварительную обработку отверстия;
- чистовую обработку отверстия;
- обработку торцевой поверхности;
- контроль и сортировку гильз на группы.

При предварительной обработке деталей необходимо получить правильную геометрическую форму отверстия и сохранить перпендикулярность оси отверстия к притертой торцевой поверхности с точностью 0,01 мм.

Конические поверхности нагнетательных клапанов и распылителей обеспечивают герметичность пар. При обработке конической фаски корпуса распылителя должна быть выдержана соосность фаски с направляющим отверстием с точностью 2 мкм.

Предварительную обработку конусной фаски корпуса распылителя производят электроискровым способом и окончательную обработку чугуном притиром. Обработку запорного конуса иглы производят шлифовальным камнем диаметром 150 мм, твердостью СМ1 и СМ2, зернистостью 150...200 при частоте вращения круга 3400 мин^{-1} и детали – 1200 мин^{-1} . Угол конуса обычно проверяют при помощи шаблона, расположение конуса иглы относительно заплечика – на индикаторном приспособлении.

После комплектации пар производят их взаимную притирку. Сначала доводят цилиндрические поверхности пар плунжер – гильза, игла и корпус распылителя, а затем конические поверхности пар запорный клапан и гнездо, игла и корпус распылителя.

Качество доводки поверхностей определяют путем осмотра, проверкой характера перемещения деталей притертой пары и испытанием на плотность.

После притирки и ультразвуковой очистки плунжер, выдвинутый из гильзы на 40...50 мм, должен под собственной массой опуститься до упора. Игла, выдвинутая на $\frac{1}{3}$ своей длины, при наклоне корпуса под углом 45° должна под действием собственной массы плавно опуститься на седло.

Окончательное качество обработки и притирки плунжерных пар, нагнетательных клапанов и распылителей определяют по их плотности и герметичности.

В процессе испытания распылителей проверяют герметичность конусов, плотность цилиндрических направляющих поверхностей пар, состояние сопловых отверстий конуса распылителя и качество распыления.

Герметичность уплотнительных конусов распылителя проверяют на приборе для испытания форсунок. Подтекания топлива в сопловые отверстия при равномерном повышении давления в аккумуляторе топлива до 19 МПа не допускается (при скорости нарастания давления 1 МПа за 10...12 с).

Чтобы определить плотность направляющих поверхностей пар, пружину форсунки затягивают на давление подъема иглы. В системе создают давление 37 МПа и по секундомеру определяют время падения давления от 35 до 30 МПа. Распылитель годен, если время падения давления находится в пределах 17...45 с.

11.7. Восстановление несущих деталей (рамы, остовы, платформы)

Рама грузового автомобиля состоит из лонжеронов, поперечин и кронштейнов, соединенных заклепками. Рамы изготавливают из углеродистых и низкоуглеродистых сталей, отличающихся способностью подвергаться холодной и горячей правке, сварке.

Наиболее характерными дефектами рам являются деформации различных элементов вследствие перегрузок, износ отверстий, ослабление заклепок, трещины. Особые требования при дефектации предъявляются к пространственной геометрии рамы. При горизонтальном расположении симметричных точек переднего конца рамы негоризонтальность аналогичных точек по всей длине не должна превышать 7 мм. Неперпендикулярность поперечин лонжеронам рамы не должна превышать 2 мм на длине 1 м. Отклонения от соосности симметричных отверстий не должны превышать 1,5 мм на длине 1 м. Кривизна верхней полки лонжерона не должна превышать 2 мм на длине 1 м, а на всей длине – 5 мм. Кривизна вертикальной стенки допускается не более 2 мм на длине 1 м, а на всей длине не более 10 мм.

Рамы восстанавливают при неполной или полной их разборке. Неполная разборка применяется для рам с небольшим количеством дефектов в виде трещин, ослаблений заклепочных соединений и износа отверстий.

Ремонт рам с полной разборкой производится в следующей последовательности: мойка и удаление старой краски, разборка рамы на детали, дефектация и восстановление деталей, сборка и окраска рамы.

Для разборки заклепочных соединений рамы применяют пневматические рубильные молотки, газовую резку и воздушно-дуговую резку угольными электродами. Газовая резка сопровождается значительным оплавлением основного материала и изменением его структуры в зоне термического влияния. Эти недостатки отсутствуют у воздушно-дуговой резки угольным электродом, выполняемой резаком РВД-4А-66 с подводом сжатого воздуха от сети давления 0,4...0,5 МПа. Резку выполняют при прямой полярности электродами диаметром 6 или 8 мм марки «Эффект» или «Экстра» на режиме: сила тока – 400...430 А; напряжение – 35...40 В; вылет электрода – 60... 70 мм; угол между электродом и горизонталью – 45...60°. После среза головки заклепку выбивают из отверстия пневмомолотком с оправками.

Критериями для выбраковки балок рамы являются деформации балок большего размера, чем предусмотрено в технических условиях на капитальный ремонт, а также наличие усталостных трещин при одновременном коррозионном разрушении мест расположения этих трещин. При наличии других дефектов на балках рамы они подлежат восстановлению.

Восстановление балок начинают с устранения их прогиба правкой в холодном состоянии на прессе. Контроль при правке балок осуществляется проверочными линейками и шаблонами. Перед устранением усталостных трещин на деталях рамы определяют их границы. Трещину перед сваркой прорезают, обеспечивая зазор 1...3 мм при сварке встык. Прорезь повышает качество сварного шва, а также обеспечивает разделку невидимого конца трещины. Если видимый конец трещины расположен на полке или сгибе профиля, то прорезь делают по всей полке и по стенке не менее 50 мм от полки, а если трещина распространилась на стенку, – на 50 мм дальше видимого конца трещины. При ремонте деталей рамы допускается заварка трещин, отрезка или вырезка поврежденной части и приварка дополнительной ремонтной детали. Все сварные соединения должны выполняться встык. Приварка корытообразных вставок и дополнительных ремонтных деталей внахлест не допускается. При трещинах, проходящих через отверстия для заклепок крепления поперечин, вырезают поврежденный участок и приваривают дополнительную ремонтную деталь, изготовленную из листовой стали Ст3. Рекомендуемые материалы электродов и режимы сварки при ремонте деталей рамы приведены в табл. 11.15 (для электродов диаметром 4 мм).

Перед сваркой электроды должны быть обязательно просушены в течение 1 ч при температуре 140...160 °С.

Таблица 11.15

Материалы электродов и режимы сварки деталей рам

Марка электрода	Ток	Сила тока при сварке, А	
		Нижний шов	Вертикальный шов
Э-46 ОЗС-6	Постоянный и переменный	170...240	130...170
Э-42 ВН-48	То же	160...190	130...150
Э-46 УОНИ-13/55У	Постоянный	130...160	130...140
Э-46 УОНИ-13/55	Постоянный	130...150	130...150

При заварке трещин или сварке стыков на прямых участках профиля деталей сварку выполняют нижним швом, а на сгибе профиля – вертикальным швом с уменьшением силы тока. Последовательность наложения участков шва должна исключать местный перегрев материала деталей. Сварочный шов и прилегающую к нему поверхность основного металла на ширине 20 мм по обе стороны очищают от шлака и загрязнений. Валик шва должен иметь ровную чешуйчатую поверхность. Подрезы, пористость, трещины, незаваренные кратеры не допускаются. Шов не должен возвышаться более чем на 2 мм над поверхностью основного металла. Несовпадение поверхностей сварочных деталей не должно превышать 0,5 мм. Сварочный шов и поверхность по обе стороны шва на расстоянии 3...4 мм упрочняют наклепом пневматическим молотком с бойком, имеющим рабочую сферу 4,5 мм. Отпечатки бойка не должны сливаться в сплошную полосу, и каждый должен быть перпендикулярен кромке шва.

Изношенные отверстия заваривают на медной подкладке. Затем шов зачищают, сверлят отверстия, диаметр которых меньше на 1 мм, чем у отверстий исходного размера, и раздают до требуемого. Кромки отверстий с двух сторон упрочняют шариком. Для раздачи и упрочнения применяют прессы с регулируемым усилием от 2000 до 60000 Н в зависимости от диаметра обжимаемого отверстия.

Окраска рамы осуществляется пневматическим распылением или методом окунания.

11.8. Восстановление деталей тормозных систем

Эффективность действия рабочей тормозной системы оценивают по тормозному пути и установившемуся замедлению ГОСТ Р 51709–2001. Изменение № 1. Функцию запасной тормозной системы может выполнять исправная часть рабочей тормозной системы или стояночная тормозная система.

Тормозные цилиндры. Основными дефектами цилиндров являются трещины, обломы фланцев, риски, раковины и износ рабочей поверхности цилиндра. При наличии трещин и обломов, захватывающих рабочую поверхность цилиндра, картер бракуется. В остальных случаях картер вос-

становливаются заваркой или наплавкой с последующей механической обработкой. Риски, раковины, задиры или износ рабочей поверхности цилиндра картера восстанавливаются хонингованием до устранения дефекта. При износе свыше допустимого размера картер выбраковывают.

Поршни тормозных цилиндров изготавливаются из алюминиевого сплава. При наличии окисления поверхности поршня и его износа по диаметру поршень бракуется.

Тормозные барабаны. Для колесных и трансмиссионных тормозов барабаны, как правило, изготавливаются из серого чугуна, но могут быть и составные из чугуна и стали, алюминиевого сплава и стали. Основные дефекты тормозного барабана: трещины и обломы, задиры, кольцевые риски и износ рабочей поверхности барабана, износ отверстий под шпильки, износ или повреждение центрирующих выступов по диаметру. При наличии трещин и обломов, захватывающих рабочую поверхность барабана, а также обломы бурта на длину более $1/3$ окружности барабан бракуется. При появлении задиров, кольцевых рисок, износа на рабочей поверхности она обрабатывается под соответствующий ремонтный размер.

У автомобиля ГАЗ-3710 для тормозного барабана диаметром $380^{+0,25}$ мм имеется три ремонтных размера с интервалом 1 мм.

У автомобиля ЗИЛ-130 для тормозного барабана диаметром $420^{+0,38}$ мм имеется шесть ремонтных размеров с таким же интервалом. Обработка рабочей поверхности производится в сборе со ступицей. Износ отверстий под шпильки крепления колеса устраняется наплавкой с последующей механической обработкой. Износ и повреждение центрирующих выступов по диаметру устраняются наплавкой.

Тормозные колодки. Основные дефекты тормозных колодок: износ фрикционных накладок, отверстий под эксцентрик опорного пальца, торца ребра под упорный стержень, площадки под разжимной кулак, разрушение сварных швов, деформация колодки. Деформация исправляется правкой, разрушенные швы – заваркой. Износ торца ребра под упорный стержень устраняется наплавкой. Износ отверстия под эксцентрик опорного пальца восстанавливается постановкой втулки, заваркой или осадкой. Фрикционные накладки заменяются на новые.

При появлении обломов и трещин на разжимном кулаке, износа профиля кулака более чем на 0,5 мм, а также среза или скручивания шлицев деталь бракуется. Износ опорных шеек восстанавливается наплавкой в среде защитного газа, железнением с последующей механической обработкой.

Пневно- и гидроприводы. Основным дефектом пневмо- и гидроприводов является нарушение герметичности. Потеря герметичности может произойти в трубопроводах (гибких и жестких) и аппаратах. Гибкие трубопроводы заменяются на новые, а жесткие могут быть восстановлены. Обломы и трещины на трубах завариваются, или заменяется дефектный

участок, если длина повреждения более 50 мм. Вмятины на трубке восстанавливаются заменой дефектного участка. Погнутость устраняется правкой. Смятие или повреждение развальцовки на трубе устраняется удалением поврежденного участка с последующей развальцовкой. Потеря герметичности в ресивере устраняется заваркой с последующей проверкой под давлением 1,18...1,2 МПа.

11.9. Восстановление кузовов и кабин

Повреждения кузовов легковых автомобилей, кабин грузовых автомобилей проявляются в изменении качества поверхности, геометрических размеров и формы. Характерными дефектами являются: механические повреждения в виде вмятин, обломов, разрывов; усталостные трещины; изменение размеров поверхностей деталей вследствие трения; старение материала; нарушение плотности заклепочных и сварных соединений; коррозионные повреждения.

Коррозионные разрушения являются основным видом износа металлического кузова. Здесь преобладает электрохимический тип коррозии, при котором происходит взаимодействие металла с раствором электролита, адсорбируемого из воздуха. Особенно сильно развивается коррозия в труднодоступных для очистки местах, где периодически попадающая в них влага может сохраняться длительное время. С повышением температуры окружающей среды скорость коррозии металла возрастет в связи с интенсификацией реакции окисления.

Коррозионные разрушения в кузовах и кабинах встречаются также в результате контакта стальных деталей с деталями, изготовленными из дюралюминия, пластмассы, влажной древесины и других материалов.

Технология устранения дефектов. Восстановление кузовов и кабин целесообразно выполнять в следующей последовательности: предварительная правка панелей кузова, имеющих аварийный характер; удаление поврежденных участков панелей; устранение имеющихся трещин и разрывов; приварка предварительно изготовленных и собранных панелей вместо удаленных; проковка и зачистка сварочных швов; окончательная правка и тонкая рихтовка поверхностей.

Предварительная правка осуществляется с помощью устройств, в которых растягивающие усилия создаются гидравлическими или пневмогидравлическими механизмами с автоматическим или ручным приводом. Устройство имеет большое количество головок, которые быстро заменяются в зависимости от геометрии поврежденной части.

Удаление поврежденных участков корпуса выполняется пневматическим резцом или газовым резаком. Производительность резца – 0,1 м/с, га-

зовой резки – 0,02 м/с. Пневматические резцы работают при давлении сжатого воздуха 0,5...0,6 МПа.

Устранение трещин, разрывов и приварка ремонтных деталей выполняются электродуговой сваркой в среде углекислого газа, ацетиленокислородной, пропан-бутановой и точечной сваркой.

Сварка кузовов и кабин в среде углекислого газа выполняется током обратной полярности («плюс» – на электроде) проволокой Св-08ГСА или Св-08Г2СА. Режим сварки зависит от толщины свариваемого металла и ориентировочно определяется из табл. 11.16

Качество шва зависит от расстояния между соплом горелки и деталью. При сварке силой тока до 100 А и напряжением 20 В оптимальное расстояние от сопла до детали составляет 8...10 мм, а наклон электрода от вертикали не должен превышать 20°.

Т а б л и ц а 11.16

Режимы сварки деталей кузовов

Параметры процесса	Толщина свариваемого металла, мм	
	0,6...1,0	1,2...2,0
Диаметр проволоки, мм	0,5...0,8	0,8...1,0
Сила тока, А	50...60	70...110
Напряжение дуги, В	18...20	18...20
Скорость сварки, м/ч	25...35	18...24
Расход газа, л/ч	360...420	600...720

Чтобы обеспечить горение дуги и минимальное разбрызгивание жидкого металла, сварку осуществляют на дуге 1,5...2,0 мм при быстром перемещении горелки.

Точечная сварка предусматривает соединение деталей внахлестку. На авторемонтных заводах для точечной сварки применяют универсальные стационарные аппараты с пневматическим механизмом сжатия. Переносными аппаратами являются сварочные клещи пневматического или пневмогидравлического действия типа МТПГ-75 и однополюсные пистолеты для соединения деталей кузовов, которые невозможно сваривать двусторонним подводом тока.

Для обеспечения высокой производительности и качества точечной сварки необходимо определить оптимальные ее режимы, к которым относятся: диаметр контактной поверхности электродов d_3 (мм); сила сварочного тока $I_{св}$ (А); усилие на электродах $P_{св}$ (Н); продолжительность импульса сварочного тока $t_{св}$ (с). Ориентировочно указанные параметры можно рассчитать по формулам:

$$d_3 = 2S + 3, \quad (11.4)$$

где S – толщина более тонкой из свариваемых деталей;

$$I_{св} = 0,25i\pi d_3, \quad (11.5)$$

где $i=200...500$ А/мм² – номинальная плотность тока;

$$P_{св}=2,5 \cdot 10^{-3} \pi d_s^2 p, \quad (11.6)$$

где p – контактное давление электродов.

Продолжительность импульса сварочного тока принимается в пределах 0,1...0,24 с.

Отдельные элементы каркаса автобусного кузова соединяются заклепками, которые изготовляют из стали или алюминиевых сплавов. Стальные заклепки подвергают термической обработке. Длину заклепок L определяют по формуле

$$L=S+(1,3...1,5)d, \quad (11.7)$$

где S – суммарная толщина склепываемых деталей;

d – диаметр заклепки.

Диаметр сверла для отверстия под заклепку принимается на 0,2...0,5 мм больше, чем диаметр заклепки. Диаметр замыкающей головки заклепки определяется из расчета $(1,45 \pm 0,1)d$, а высота плоской замыкающей головки $0,4d$.

Склепывание элементов кузова производится пневматическими молотками, гидравлическими скобами или на прессах. Клепкой на прессах соединяются детали в сборочные единицы, а молотки и скобы используются при ремонте каркаса кузова.

Сборка кузовов и кабин при ремонте автомобилей выполняется в два этапа: до окраски и после нанесения лакокрасочного покрытия. До окраски на кузова и кабины устанавливаются все детали и сборочные единицы, подлежащие окраске вместе с кузовом (двери, капот, оперение, крышка багажника и пр.). При сборке выдерживают требуемые зазоры между соединяемыми деталями.

При окончательной сборке выполняется установка потолка, боковин и панелей внутренней отделки дверей, стекол, сидений, шумо- и теплоизоляционных прокладок, уплотнителей дверей, электрооборудования, панели приборов, деталей системы вентиляции и обогрева салона и др. Сборка кабин производится с таким расчетом, чтобы на склад комплектовки для сборки автомобилей она поступала в окончательно укомплектованном виде.

При контроле качества ремонта кузовов используется контрольно-измерительная оснастка для проверки геометрических отклонений размеров расположения групп отверстий, связанных между собой функционально. Проемы кузовов и кабин и места соединений контролируют шаблонами по форме соединяемой детали.

12. ТЕХНОЛОГИЯ БЕСТОРМОЗНОЙ ОБКАТКИ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

12.1. Нагрузочные режимы обкатки с динамическим нагружением

В соответствии с требованиями нормативно-технической документации каждый двигатель, выходящий из капитального ремонта, должен пройти стендовую обкатку (приработку) и подвергнут приемочному контролю.

Стендовая обкатка проводится в три этапа: холодная, горячая на холостом ходу и горячая под нагрузкой с постепенным возрастанием нагрузки и частоты вращения коленчатого вала дизеля. Режимы традиционной тормозной обкатки нормируются соответствующей технической документацией, и поэтому установление времени её продолжительности не вызывает затруднений.

Сложнее обстоит дело с альтернативной технологией обкатки ДВС, в основе которой лежит метод разгона и выбега частоты вращения коленчатого вала двигателя, широко используемый при диагностировании для определения эффективной мощности и мощности механических потерь. Отличие от традиционной тормозной обкатки заключается в том, что горячая обкатка под нагрузкой осуществляется с использованием динамического метода нагружения сопряжений и деталей двигателей инерционными силами, возникающими при работе на бестормозных неустановившихся скоростных режимах (БНР).

Данный метод реализуется при обкатке двигателей под нагрузкой на циклических режимах увеличения и уменьшения частоты вращения коленчатого вала в определенном интервале с постепенным ростом углового ускорения. Это достигается управлением топливоподачей по определенной закономерности, обеспечивающей её включение на такте разгона, фиксирование для каждой ступени обкатки и отключение при выбеге. По мере приработки ДВС увеличивают скорость перемещения органа управления подачей топлива и количество циклов изменения частоты вращения в единицу времени, что приводит к увеличению нагрузки на детали и сопряжения.

При разработке методик определения режимов новых способов обкатки целесообразно максимально использовать результаты ранее проведенных исследований обкатки ДВС традиционными способами. Установленная идентичность процессов нагружения сопряжений дизелей на тормозных и динамических режимах и нагрузочные модели циклов динамического нагружения (ЦДН) позволили разработать универсальную методику назначения нагрузочных режимов обкатки с динамическим нагружением (ДН), основанную на равенстве нагрузок ступеней, рекомендованных для тормозных способов обкатки и действующих при обкатке с ДН, т.е.

$$\bar{M}_{\tau i} = \bar{M}_{\text{ни}}^{\text{дб}}, \quad (12.1)$$

где $\bar{M}_{\tau i}$ – нагрузочный момент, рекомендованный для i -й ступени обкатки данного дизеля тормозным способом;

$\bar{M}_{\text{ни}}^{\text{дб}}$ – динамический нагрузочный момент, рекомендованный для i -й ступени обкатки данного дизеля бестормозным способом.

Учитывая, что нагрузочные моменты ступеней обычно задаются в долях от номинального момента, выражение (12.1) можно записать в виде

$$\bar{M}_{\text{ни}}^{\text{дб}} = k_i \cdot \bar{M}_{\text{ен}}, \quad (12.2)$$

где $\bar{M}_{\text{ен}}$ – номинальный крутящий момент дизеля;

k_i – коэффициент для i -й ступени, определяющий величину нагрузки.

Величина углового ускорения при разгоне с номинальным крутящим моментом ε_p^3 является эталонной для дизеля в штатной комплектации и приводится в инструкциях по диагностированию дизелей динамическим методом (например, прибором ИМД-Ц). В случае обкатки дизеля с другой комплектацией величина эталонного ускорения разгона может быть скорректирована.

Тогда с учетом уравнения (12.1)

$$\bar{M}_{\text{ни}}^{\text{дб}} = k_i \cdot \bar{\varepsilon}_p^3 \cdot \bar{I}, \quad (12.3)$$

где \bar{I} – приведенный к коленчатому валу ДВС момент инерции движущихся масс,

или

$$\bar{\varepsilon}_{pi} \cdot \bar{I} = k_i \cdot \bar{\varepsilon}_p^3 \cdot \bar{I},$$

откуда

$$\bar{\varepsilon}_{pi} = k_i \cdot \bar{\varepsilon}_p^3,$$

т.е. нагрузочный режим на такте разгона обкатки с ДН определяется величиной углового ускорения разгона для данной ступени, которое может оперативно контролироваться приборами типа ИМД-Ц.

При управлении процессом ДН путем воздействия на рейку ТНВД, вследствие стабильности углового ускорения и интервала изменения УСКВ ($\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$), нагрузочный режим на такте разгона можно контролировать и задавать по времени такта разгона t_{pi} , которое можно определить из уравнения

$$\varepsilon_{pi} = k_i \cdot \varepsilon_p^3 \quad \text{или} \quad \frac{\Delta\omega}{t_{pi}} = k_i \cdot \frac{\Delta\omega}{t_p^3},$$

откуда

$$t_{pi} = \frac{t_p^3}{k_i}, \quad (12.4)$$

где t_p^3 – эталонное время разгона в данном интервале УСКВ $\Delta\omega$ и при эталонном ускорении разгона ε_p^3 ($\varepsilon_p^3 = \frac{\Delta\omega}{\varepsilon_p^3}$).

В этом случае контроль нагрузки (НДМ) может осуществляться с помощью электронных секундомеров, вводимых в состав систем управления бестормозной обкаткой (СУБО).

Данный способ контроля НДМ особенно целесообразен при обкатке дизелей с большим приведенным моментом инерции, вследствие снижения точности контроля пониженных угловых ускорений приборами типа ИМД-Ц, имеющими рабочий диапазон от 30 до 300 с⁻², тогда как величины угловых ускорений ступеней обкатки, например, дизеля Д-160 в составе стенда КИ-5541, составляют 8; 16; 23 и 26 с⁻².

Учитывая, что максимальные значения давлений конца сжатия при выбеге с дросселированием на последних ступенях обкатки с ДН не превышают максимальных давлений цикла при разгоне ($P_c < P_z$), а также сложность их оперативного контроля, определение нагрузочного режима работы сопряжений основано на равенстве средних индикаторных нагрузок при разгоне и выбеге с дросселированием газов на выпуске $\bar{M}_i = |-\bar{M}_i|$. В этом случае угловое ускорение выбега i -й ступени ($\bar{\varepsilon}_{Bi}^d$) с учетом уравнений (12.2) и (12.3) определится как

$$\bar{\varepsilon}_{Bi}^d = \bar{\varepsilon}_{Bi} + k_i \cdot \bar{\varepsilon}_p^3, \quad (12.5)$$

где $\bar{\varepsilon}_{Bi}$ – среднестатистическое угловое ускорение свободного выбега на i -й ступени обкатки данного дизеля.

Таким образом, величина углового ускорения выбега при использовании индикаторной нагрузки равна сумме ускорений разгона для этой ступени и ускорения выбега.

Нагрузочные режимы обкатки дизеля Д-240 после текущего ремонта, определенные с помощью приведенной выше методики при эталонных значениях ускорения разгона – 180 с⁻², выбега – 75 с⁻², коэффициенте ступеней $k_i = 0,25; 0,5; 0,7; 0,9$, представлены в табл. 12.1.

Т а б л и ц а 1 2 . 1

Расчетные нагрузочные режимы обкатки дизеля Д-240
после текущего ремонта

Номер ступени	Угловое ускорение разгона, с ⁻²	Угловое ускорение выбега с дросселированием газов, с ⁻²
1	45	120
2	90	165
3	126	201
4	162	237

12.2. Скоростной режим при обкатке дизелей с динамическим нагружением

Скоростной режим работы ДВС при обкатке также оказывает существенное влияние на протекание процесса приработки. Так, при увеличении частоты вращения возрастают относительные скорости скольжения сопряжений, увеличивается частота и уменьшается время контактирования микронеровностей поверхностей, увеличиваются путь и работа трения в единицу времени. Уменьшение времени контактирования приводит к снижению длительности упругого передеформирования шероховатостей поверхностей трения и пластического течения металла, а также к возрастанию трения с проскальзыванием. Кроме этого скоростной режим оказывает влияние на толщину масляной пленки в подшипниковых узлах, которая возрастает при увеличении частоты вращения. Несмотря на использование эффективных систем смазки, некоторые сопряжения дизелей работают в условиях граничного (полугидродинамического) трения – поршневой палец – втулка верхней головки шатуна, поршневой палец – бобышки поршней, поршень – гильза. Кратковременные режимы граничного трения могут возникать и в подшипниках коленчатого вала и в шатунных подшипниках в условиях переходных режимов разгона и наброса нагрузки, сопровождаемых резким изменением скоростного и нагрузочного режимов.

Традиционные технологии обкатки автотракторных дизелей на этапе горячей обкатки под нагрузкой рекомендуют её проведение при максимальной частоте вращения, что упрощает управление процессом и создает возможность в ряде случаев увеличить количество отдаваемой в сеть электроэнергии, однако, по мнению ряда авторов, увеличивает продолжительность приработки и начальный износ. Тем не менее, данные технологии обеспечивают достаточно надежные результаты в условиях массового производства и ремонта и широко используются.

Особенности реализации рассматриваемого способа обкатки не позволяют проводить её при постоянной частоте вращения вследствие необходимости её циклического изменения. В связи с этим скоростной режим будет определяться средним значением УСКВ, которое может быть любым из рабочего интервала УСКВ.

Для реализации максимальных скоростных режимов при обкатке с ДН следует в качестве верхнего предела частоты вращения принимать значения, близкие к максимальной частоте вращения холостого хода.

Максимальное использование нагрузочных возможностей ЦДН можно обеспечить при ω_{2i} , соответствующей точке начала действия РЧВ на данной нагрузочной ступени (рис. 12.1). Для определения верхнего предела УСКВ в ЦДН для i -й ступени обкатки необходимо найти точку пересечения кривой НДМ для данной ступени (M_{ni}^D) с регуляторной ветвью харак-

теристики и опустить перпендикуляр на ось абсцисс. Точка пересечения определит оптимальное для данной ступени значение угловой скорости ω_{2i} , при которой целесообразно выключать подачу топлива. Из рис. 12.1 видно, что значения ω_{2i} для различных ступеней обкатки будут лежать в интервале от ω_H до $\omega_{xx\max}$, величина которого определяется степенью неравномерности РЧВ δ :

$$\delta = \frac{\omega_{xx\max} - \omega_H}{\omega_{cp}}, \quad (12.6)$$

где ω_{cp} – средняя УСКВ на регуляторном участке характеристики.

Для дизелей $\delta = 0,06-0,08$ и для дизеля Д-240Л, имеющего $\delta = 0,08$, интервал $(\omega_{xx\max} - \omega_H)$ равен $18,8 \text{ с}^{-1}$. Таким образом, для получения максимальной эффективности ЦДН на всех ступенях обкатки необходимо для каждой ступени задавать свое значение верхнего предела УСКВ (ω_{2i}), что усложняет управление процессом обкатки и целесообразно при автоматизации процесса задания режимов обкатки в условиях массового производства. В других случаях возможно принятие постоянного для всех ступеней обкатки верхнего предела УСКВ, например, близкого к ω_H , что несколько снизит эффективность ЦДН первых ступеней обкатки, но упростит задание скоростного режима.

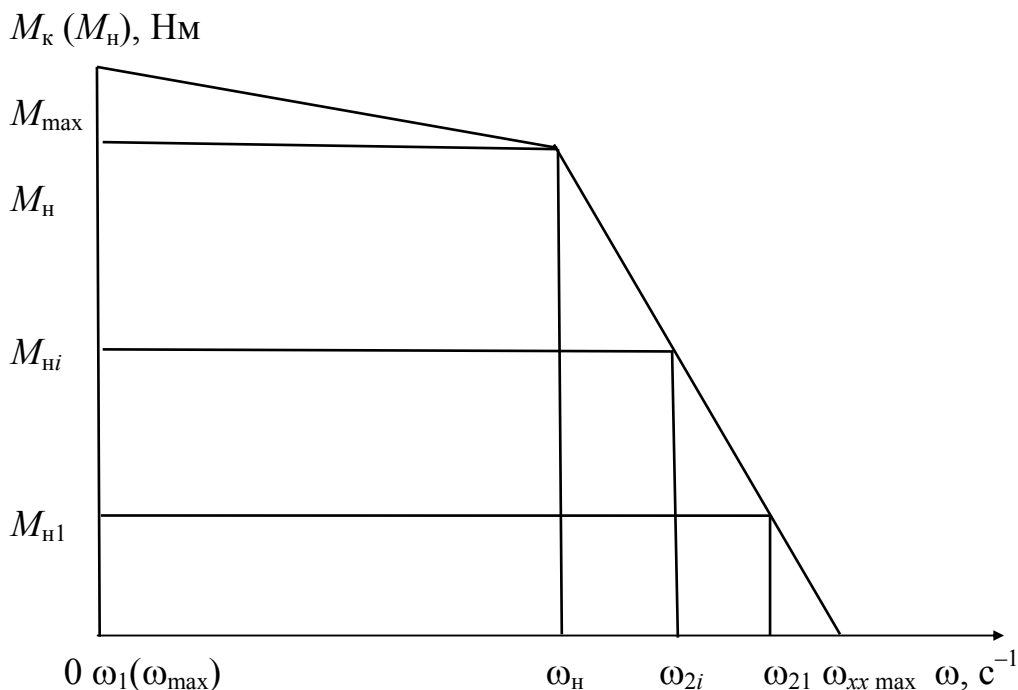


Рис. 12.1. Определение пределов изменения УСКВ при обкатке с ДН (на примере ЦДН с постоянным крутящим моментом при разгоне)

Интервал изменения УСКВ в рассматриваемом способе обкатки в принципе может быть любым в пределах от минимальной до максимальной УСКВ холостого хода. Такой интервал используется, например, при ручном управлении диагностическим ЦДН с максимальной подачей топлива, однако для целей обкатки целесообразно сдвинуть этот интервал в область максимальных частот вращения, где процесс приработки происходит более эффективно. С другой стороны, исходя из гипотезы о большей эффективности осуществления обкатки на режимах, характерных эксплуатационным, значения УСКВ, используемых при обкатке, должны охватывать весь рабочий интервал изменения УСКВ для данного дизеля от ω_{xxmax} до УСКВ, соответствующей максимальному крутящему моменту (ω_{max}), что понижает среднее за ЦДН значение УСКВ (ω_{cp}). Расширение интервала изменения УСКВ целесообразно из соображений уменьшения влияния на эффективность ЦДН времени переходных процессов включения и выключения подачи топлива, определяемого быстродействием исполнительного механизма (ИМ) и характеристиками РЧВ. Особенно данный вывод актуален при обкатке дизелей с небольшим приведенным моментом инерции вследствие малых значений времени тактов разгона на последних ступенях обкатки. Однако расширенный интервал изменения УСКВ при обкатке дизелей с наддувом приводит к значительному снижению частоты вращения ротора турбокомпрессора в конце такта выбега и ухудшению наполнения цилиндров.

Таким образом, обоснование оптимального интервала изменения УСКВ должно проводиться с учетом типа дизеля, конструкции и алгоритма работы ИМ, момента инерции системы, требований к продолжительности и качеству приработки сопряжений, а также используемого варианта ЦДН.

С учетом вышесказанного в общем случае в качестве верхнего предела УСКВ следует принять значения, близкие к номинальной УСКВ, т.е.

$$\omega_2 \approx (0,95 \dots 1,00) \cdot \omega_n, \quad (12.7)$$

а в качестве нижнего предела УСКВ значения, близкие к УСКВ при максимальном крутящем моменте (ω_{max}) $\omega_1 \approx (1,00 \dots 1,05) \omega_{\text{max}}$ или с учетом $\omega_{\text{max}} = (0,55 \dots 0,70) \omega_n$ имеем $\omega_1 \approx (0,55 \dots 0,75) \cdot \omega_n$.

Для дизелей с турбонаддувом при их обкатке с пониженным моментом инерции необходимо повышать нижний предел УСКВ. Для сокращения продолжительности обкатки в стационарных условиях с повышенным моментом инерции системы также можно повысить ω_1 .

12.3. Нормирование времени ступеней обкатки с динамическим нагружением

Интенсивность процесса приработки сопряжений ДВС зависит от оптимальности нагрузочно-скоростного режима для каждого момента времени, определяющего условия контактирования поверхностей сопряжений и толщину масляной пленки. Вследствие цикличности работы ДВС при определении нагрузочного режима обкатки рассматривают средние удельные нагрузки, действующие на сопряжения в зоне их максимальных значений (обычно 330–420 град п.к.в.). По мере приработки на данном режиме ее интенсивность снижается и для ее повышения переходят на следующий повышенный нагрузочно-скоростной режим. Длительность ступеней обкатки определяют, как правило, экспериментальным путем, на основе контроля показателей, характеризующих интенсивность приработочных процессов, что требует проведения трудоемких исследований для каждого типа ДВС. При разработке новых способов обкатки, в случае обеспечения нагрузочно-скоростных режимов ступеней, близких к рекомендованным типовыми технологиями, длительности ступеней можно определить исходя из длительности типовых.

Рассматривая процесс приработки с энергетической точки зрения, можно считать, что он определяется работой сил трения ($A_{тр}$), которая равна

$$A_{тp_i} = M_{пi} \cdot \omega_i \cdot t_i, \quad (12.8)$$

где $M_{пi}$ – момент механических потерь на данной ступени;

ω_i – УСКВ на данной ступени;

t_i – время ступени, мин.

Величина момента механических потерь определяется в основном (на 70–80 %) силами трения в сопряжениях КШМ, на которые оказывают влияние значения сил давления газов в цилиндре, однако прирост сил трения и $M_{п}$ на рабочих режимах по сравнению с режимами прокрутки вала ДВС в тех же условиях незначителен и не превышает 4 %.

Таким образом, работа сил трения на рабочих режимах и режимах прокрутки в одинаковых условиях (при равных УСКВ, температурных и других режимах) будет примерно равной. Отличия в интенсивности приработки на рабочих режимах будут в основном касаться зон действия максимальных газовых нагрузок, превышающих давление сжатия и имеющих небольшую продолжительность по сравнению со временем рабочего цикла дизеля.

При реализации рассматриваемого метода обкатки с ДН на такте разгона на детали и сопряжения ДВС действуют расчетные газовые нагрузки, обеспечивающие приработку соответствующих зон сопряжений. На такте выбега без дросселирования по мере увеличения номера ступени прира-

ботка данных зон будет снижаться, при примерно одинаковой интенсивности приработки остальных зон сопряжений, по сравнению с тактом разгона, вследствие идентичности нагрузок (в основном инерционных) и УСКВ. Таким образом, в процессе обкатки под нагрузкой главной задачей является приработка зон действия максимальных газовых нагрузок, а остальные зоны прирабатываются за счет инерционных и других сил на данном скоростном режиме.

Цикличность действия тактов нагружения (разгона) в рассматриваемом способе обкатки и колебания УСКВ при постоянном в пределах такта значении НДМ обуславливают переменность толщины масляной пленки и ее уменьшение в начале тактов разгона, способствующее увеличению пластического деформирования поверхностей и интенсивности процесса приработки. Данное обстоятельство определяет возможность сокращения времени приработки и работы сил трения по сравнению с обкаткой на типовых установившихся режимах (УР). С другой стороны, пониженные газовые нагрузки при выбеге снижают интенсивность приработки нагруженных зон на последних ступенях обкатки, что предопределяет увеличение продолжительности приработки по сравнению с типовыми УР. Кроме этого на продолжительность обкатки с ДН оказывает влияние быстрое действие исполнительных механизмов и РЧВ, увеличивающих время ЦДН по сравнению с теоретически возможным, что тоже увеличивает время обкатки, а также пониженное значение средней УСКВ цикла (ω_{cp}) по сравнению с УСКВ при типовой обкатке.

Определить примерное время ступеней обкатки с ДН можно, исходя из условия равенства работы силы трения на данной ступени при обкатке рассматриваемым и базовым способом, т.е.

$$A_{tpi}^d = A_{tpi}^t \quad (12.9)$$

Работа сил трения других составляющих момента механических потерь ДВС ($M_{п}$) при обкатке тормозным способом ($A_{п}^t$) будет равна

$$A_{пi}^t = \bar{M}_{пi} \cdot \bar{\omega}_i \cdot t_i \quad (12.10)$$

Известно, что $M_{п}$ линейно зависит от УСКВ, т.е.

$$M_{п} = A + b\omega, \quad (12.11)$$

поэтому при обкатке с ДН вследствие изменения УСКВ в пределах ЦДН $M_{п}$ также будет изменяться по линейному закону, при этом его среднее значение будет равно

$$\bar{M}_{п,ср} = \frac{\bar{M}_{п2} + \bar{M}_{п1}}{2}, \quad (12.12)$$

где $\bar{M}_{п2}$, $\bar{M}_{п1}$ – моменты потерь при ω_1 , ω_2 .

Тогда работа сил трения при обкатке с ДН и ЦДН без такта стабилизации будет равна

$$A_{\text{ни}}^{\text{д}} = M_{\text{п.ср}} \cdot \omega_{\text{ср}} \cdot t_{\text{ц}} \cdot n = M_{\text{п.ср}} \cdot \omega_{\text{ср}} \cdot t_i^{\text{д}}, \quad (12.13)$$

где $\omega_{\text{ср}}$ – средняя УСКВ ЦДН, с^{-1} :

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{\omega_2 + \omega_1}{2}; \quad (12.14)$$

$t_{\text{ц}}$, n – время и количество ЦДН соответственно;

$t_i^{\text{д}}$ – время ступени обкатки с ДН, с.

Тогда время обкатки с ДН будет равно

$$t_i^{\text{д}} = \frac{\bar{M}_{\text{ни}} \cdot \bar{\omega}_i \cdot t_i}{\bar{M}_{\text{п.ср.рi}} \cdot \bar{\omega}_{\text{срi}}} = k_y \cdot t_i, \quad (12.15)$$

где k_y – коэффициент увеличения времени обкатки с ДН по сравнению с временем тормозной обкатки.

Анализ уравнения показывает, что время обкатки с ДН увеличивается по сравнению с тормозной обкаткой вследствие пониженных средних значений момента механических потерь и УСКВ. Это расхождение может быть уменьшено сужением интервала изменения УСКВ.

Так, расчетное время четвертой ступени обкатки с ДН дизеля Д-240 после текущего ремонта при $t_i = 5$ мин, $M_{\text{п.ср.рi}} = 75$ Н·м, $\omega_{\text{ср}} = (230+162)/2 = 196 \text{ с}^{-1}$, $M_{\text{ни}} = 90$ Н·м, $\omega_i = 230 \text{ с}^{-1}$ составит 7 мин (увеличивается на 40 % по сравнению с тормозной обкаткой), однако фактическое значение коэффициента увеличения времени обкатки с ДН по сравнению с временем тормозной необходимо уточнить экспериментально для различных вариантов ЦДН.

12.4. Технология бестормозной обкатки автотракторных дизелей после капитального ремонта

Технологический процесс бестормозной обкатки дизелей с использованием разработанной с участием авторов системы управления бестормозной обкаткой, в основу которой заложены основополагающие принципы управляемого воздействия на топливоподачу (на орган подачи топлива – задатчик скоростного режима – параметры топливоподачи – цикловую подачу и параметры энергетического состояния топлива – теплосодержание), содержит выполнение основных операций в следующей последовательности.

От рычага РЧВ отсоединяют продольную тягу механизма управления подачей топлива, устанавливают ось-рукоятку и закрепляют в ней тросик исполнительного механизма СУБО. В отверстие картера маховика или на выходной конец ВОМ, согласно инструкции по эксплуатации прибора ИМД-ЦМ, устанавливают индуктивный датчик частоты вращения, а блок управления и исполнительный механизм размещают вблизи дизеля в удобном для оператора месте. Блок управления подключают к бортовой сети машины 12 В или к переменной сети 220 В через выпрямитель. Настройку и калибровку СУБО осуществляют в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора ИМД-ЦМ.

Холодная обкатка дизелей проводится путем прокручивания коленчатого вала электродвигателем обкаточного стенда (приводной электростанции или серийного обкаточно-тормозного) с повышением частоты вращения на последующих ступенях обкатки по рекомендованным нормативно-технической документацией (НТД) режимам.

Горячую обкатку дизеля на холостом ходу также проводят на рекомендованных НТД режимах. Управление подачей топлива осуществляется вручную с помощью ручки исполнительного механизма СУБО, соединенной тросиком с рычагом РЧВ, и установки последнего на определенный скоростной режим дизеля. Кулачок исполнительного механизма при этом устанавливают в положение « R_{\max} ». Для чего сначала включают блок управления путем нажатия на кнопку «Настройка», а затем повторным нажатием на кнопку выключают блок управления.

Так как данный этап горячей обкатки необходим для проверки работоспособности системы питания и прогрева деталей дизеля перед проведением горячей обкатки под нагрузкой, то путем внешнего визуального осмотра убеждаются в отсутствии течей топлива и паровоздушных пузырьков в топливной системе дизеля, а на слух – в его стабильной бесперебойной работе. Температурное состояние двигателя и давление моторного масла в смазочной системе контролируют по штатным указателям температуры охлаждающей жидкости и давления масла в главной масляной магистрали. Температуру топлива на входе в топливный насос высокого давления (ТНВД) контролируют по специальному указателю и обеспечивают автоматически электромагнитным переключателем в пределах 25 ± 5 °С.

Горячую обкатку дизеля с динамическим нагружением проводят в составе обкаточного стенда или непосредственно на мобильных агрегатах по режимам, приведенным в табл. 12.2. и 12.3. Управление подачей топлива осуществляется автоматически с помощью СУБО, обеспечивающей создание переходных режимов разгона и выбега коленчатого вала дизеля путем периодически повторяющихся воздействий на рычаг РЧВ по определенному закону в сторону увеличения или выключения подачи топлива. Температуру охлаждающей жидкости и давление моторного масла контролируют по штатным указателям. Температуру топлива на входе в ТНВД кон-

тролируют по специальному указателю и обеспечивают автоматически электромагнитным переключателем в пределах 25 ± 5 °С. Подогрев впрыскиваемого топлива до 80 °С рекомендуется только для обкатки, проводимой в стендовых условиях.

При измерении ускорений разгона необходимо установить клавишу «Число цилиндров $\frac{1-4}{6-12}$ » на передней панели блока управления СУБО в положение, соответствующее числу цилиндров дизеля (при числе цилиндров 1–4 клавиша должна находиться в исходном положении, а при числе 6–12 нажата) и нажать клавишу « $\frac{n}{\varepsilon}$ ». При измерении ускорения выбега дополнительно нажать клавишу « $-\varepsilon$ ».

Затем установить интервал изменения УСКВ путем поворота ручки «Нагрузка» в положение, соответствующее 1/4 поворота по часовой стрелке, а ручки «Пауза» – в максимальное положение.

Тумблер установить в положение «Вкл»; вал мотор-редуктора исполнительного механизма при своем вращении за счет кулачка будет осуществлять маятниковое перемещение рычага РЧВ и, как следствие, изменение динамической нагрузки в соответствии со знакопеременным законом изменения углового ускорения разгона и выбега в интервале изменения УСКВ от ω_n до ω_b и от ω_b до ω_n .

Величина динамической нагрузки контролируется по показаниям СУБО величины углового ускорения разгона и регулируется изменением скорости перемещения рычага РЧВ ручкой «Нагрузка».

Время паузы, необходимой для выбега дизеля от конечной УСКВ (ω_b – верхнего предела) до начальной УСКВ (ω_n – нижнего предела) и для ее стабилизации, корректируется с помощью ручки «Пауза». Проводить обкатку без стабилизации УСКВ запрещается.

Таблица 12.2

Режимы горячей обкатки дизелей с динамическим нагружением
в составе обкаточно-тормозного стенда КИ-5543

Марка дизеля	Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	Эталонное ускорение разгона, с ⁻²	Нижний предел УСКВ, мин ⁻¹	Верхний предел УСКВ, мин ⁻¹	Интервал изменения УСКВ, мин ⁻¹	Номер ступени	Ускорение разгона ступени, с ⁻²	Время ступени, мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Д-144	44,1	2000	182	1400	2000	600	1	31	13
							2	75	13
							3	105	13
							4	143	40
Д-240	55,1	2200	180	1600	2200	600	1	33	11
							2	44	11
							3	69	17
							4	116	23
							5	141	23
							6	155	5
СМД-62	121,6	2100	116	1650	2100	450	1	15	18
							2	39	18
							3	57	25
							4	86	49
А-41	66,2	1750	167	1200	1750	550	1	37	7
							2	79	7
							3	120	14
							4	148	27
Д-65Н	44,1	1750	132	1300	1750	450	1	74	13
							2	101	13
							3	115	13
							4	130	13
А-01	81	1600	119	1330	1600	270	1	20	6
							2	60	6
							3	96	12
							4	111	23
ЯМЗ-238	158,2	1700	168	1300	1700	400	1	57	25
							2	68	25
							3	115	25
							4	142	25
ЯМЗ-240	220,8	1900	273	1500	1900	400	1	47	24
							2	74	37
							3	93	37
							4	133	37
							5	179	24
							6	224	24
							7	237	18

Таблица 12.3

Режимы горячей обкатки дизелей с динамическим нагружением
непосредственно на машинах (при штатном моменте инерции)

Марка дизеля	Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	Эталонное ускорение разгона, с ⁻²	Нижний предел УСКВ, мин ⁻¹	Верхний предел УСКВ, мин ⁻¹	Интервал изменения УСКВ, мин ⁻¹	Номер ступени	Ускорение разгона ступени, с ⁻²	Время ступени, мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Д-144	44,1	2000	101	1400	2000	600	1	17	13
							2	41	13
							3	58	13
							4	80	40
Д-240	55,1	2200	100	1600	2200	600	1	18	13
							2	25	13
							3	38	19,5
							4	65	26
							5	78	26
							6	86	6,5
СМД-62	121,6	2100	64,4	1650	2100	450	1	8	18
							2	22	18
							3	31	25
							4	48	49
А-41	66,2	1750	92,8	1200	1750	550	1	21	7
							2	44	7
							3	67	14
							4	82	27
Д-65Н	44,1	1750	73,3	1300	1750	450	1	41	13
							2	56	13
							3	64	13
							4	72	13
А-01	81	1600	66,1	1330	1600	270	1	11	6
							2	33	6
							3	53	12
							4	61	23
ЯМЗ-238	158,2	1700	92,2	1300	1700	400	1	31	25
							2	37	25
							3	63	25
							4	78	25
ЯМЗ-240	220,8	1900	151,7	1500	1900	400	1	26	24
							2	41	37
							3	52	37
							4	74	37
							5	100	24
							6	124	24
							7	132	18

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены основные этапы технологического процесса ремонта автомобилей. Основное внимание уделено способам и методам восстановления деталей, так как в современных условиях капитальный ремонт на практике не применяется. К сожалению, ограниченный объем пособия не позволил рассмотреть целый ряд вопросов, связанных с ремонтом автомобилей. Поэтому в ряде случаев необходимо обратиться к специальной литературе, более подробно освещающей ряд вопросов. В частности, при изучении особенностей технологических процессов восстановления и упрочнения деталей автомобилей рекомендуется пользоваться пособием [73], вопросы механической обработки восстановленных деталей хорошо изложены в [66], управление качеством при ремонте автомобилей и безопасность производственных процессов и экология рассмотрено в [70], технико-экономическая эффективность восстановления и упрочнения деталей изложена в [9].

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Раздел 1

1. В чем сущность «исправного» и «работоспособного» состояния деталей?
2. Причины достижения деталью предельного состояния.
3. В чем сущность абразивного изнашивания?
4. В чем сущность усталостного изнашивания?
5. Физическая сущность гидро-, газоабразивного изнашивания.
6. Сущность окислительного изнашивания.
7. Назовите способы восстановления деталей.
8. В чем заключается процесс дефектации деталей и какие способы дефектации существуют?
9. Назначение и характеристика моющих средств.
10. Методы и способы очистки деталей.

Раздел 2

1. Методы восстановления и упрочнения деталей пластическим деформированием.
2. Сущность электромеханической пластической обработки.
3. Методы восстановления формы деталей правкой.
4. Цель и сущность обработки деталей ППД.

Раздел 3

1. Сущность сварки металлов, сплавов, других материалов.
2. Сущность электродуговой сварки, прямая и обратная полярность.
3. Положительные и отрицательные процессы при дуговой электро-сварке и наплавке.
4. Назначение и типы покрытий электродов.
5. Образование и роль неметаллических включений при сварке и наплавке.
6. Выбор режимов сварки.
7. Сущность и способы газовой сварки и наплавки.
8. Классификация металлов (сплавов) по свариваемости.
9. Особенности сварки чугунов.
10. Особенности сварки сплавов на основе алюминия.
11. Сварка цветных металлов.
12. Характеристика сварки и наплавки под слоем флюса.
13. Характеристика вибродуговой наплавки.
14. Особенность наплавки в среде защитных газов.
15. Какие преимущества и недостатки наплавки деталей порошковыми проволоками?

16. В чем сущность плазменной наплавки?
17. Характеристика и область применения электрошлаковой наплавки.
18. Сущность электроконтактной приварки ленты как способа восстановления деталей машин.
19. Индукционная наплавка – сущность и способ осуществления.
20. Характеристика электромагнитной наплавки.
21. Сущность лазерной наплавки.
22. Техническая характеристика и способ осуществления наплавки деталей намораживанием.

Раздел 4

1. Назовите основные способы восстановления деталей напылением.
2. Какие основные операции технологического процесса напыления?
3. Сущность процесса металлизации.
4. Объясните схему газопламенного напыления порошком, проволокой.
5. Сущность детонационного напыления.
6. Принцип осуществления вакуумного напыления.
7. Преимущества газодинамического напыления при восстановлении деталей машин.

Раздел 5

1. В чем сущность процесса электролиза в водных растворах?
2. Какова связь между количеством электричества, прошедшего через раствор, и массой вещества, выделившегося на электродах?
3. Как определяется выход веществ по току на электродах?
4. Что характеризует рН раствора?
5. Перечислите и охарактеризуйте операции типового технологического процесса нанесения гальванических покрытий.
6. С какой целью проводится операция обезжиривания деталей перед нанесением покрытий?
7. Назначение операции анодного травления деталей перед нанесением покрытий.
8. Что называется поляризацией электрода и как она определяется?
9. Как влияет величина поляризации катода на характер кристаллизации осадка?
10. Какие факторы приводят к повышению поляризации электрода?
11. Что следует понимать под рассеивающей способностью электролита?
12. Как определяется время электролиза, необходимое для осаждения определенной толщины покрытия?
13. Какими основными свойствами обладают железные покрытия при восстановлении деталей машин?
14. Какие детали могут быть восстановлены железнением и почему?
15. Какие факторы обуславливают высокую прочность сцепления железных покрытий с деталью?

16. Почему при железнении применяют растворимые аноды?
17. Какие преимущества имеют хромовые покрытия перед железными?
18. Чем отличается саморегулирующийся электролит хромирования от обычного (по составу раствора, по выходным параметрам, по свойствам покрытия)?
19. Каким образом получают химические покрытия?
20. Получение неметаллических покрытий.
21. Сущность микродугового оксидирования.

Раздел 6

1. Какие полимерные материалы используют для ремонта машин?
2. Технология заделки трещин и пробоин в деталях эпоксидными композициями.
3. Нанесение покрытий из полимерных материалов.
4. Как наносятся покрытия из порошкообразных полимеров?
5. Область применения газопламенного напыления пластмасс.
6. Сущность восстановления деталей машин анаэробными составами пластмасс (герметиками).
7. Область применения клеевых составов и технология их применения.
8. Сущность холодной молекулярной сварки.

Раздел 7

1. Сущность процесса электроискровой обработки.
2. Область применения электроискровой обработки при восстановлении и упрочнении деталей машин.
3. Технологические и технические возможности электроискровой обработки.

Раздел 8

1. Сущность химико-термической обработки деталей.
2. Какими методами осуществляет химико-термическую обработку?
3. Какие параметры деталей улучшаются при химико-термической обработке?

Раздел 9

1. Какие виды ремонта и восстановления деталей машин осуществляют слесарно-механическими методами.
2. Какова сущность метода восстановления сопряжений способом ремонтных размеров?
3. Преимущество и недостатки метода ремонтных размеров.
4. Каковы отличительные черты способа дополнительной ремонтной детали?
5. Что собой представляет пластинирование и области его применения.

Раздел 10

1. Сущность пайки деталей.
2. Виды и свойства припоев.
3. Особенности пайки и пропоев для пайки алюминия и его сплавов.
4. Технологический процесс пайки низкотемпературными припоями.
5. Особенности пайки деталей высокотемпературными припоями.

Раздел 11

1. Какие основные дефекты может иметь блок цилиндров двигателей?
2. Каким методом устраняются износы под вкладыши коренных подшипников?
3. Как обеспечивается соосность отверстий под шейки распределительного вала?
4. Как устраняются трещины в стенках блока цилиндров?
5. Каким образом восстанавливаются поврежденные резьбы?
6. Каким образом устраняются неплоскостности привалочных плоскостей блока?
7. Наиболее характерные дефекты коленчатого вала ДВС.
8. Как определяют наличие трещин на шейках коленчатого вала?
9. Какие способы наращивания шеек коленчатого вала рекомендуются для их восстановления?
10. Перечислите основные дефекты распределительных валов ДВС.
11. Какие существуют методы восстановления распределительных валов?
12. Дефекты шатунов и способы их устранения.
13. Способы восстановления гильз цилиндров.
14. Способы восстановления деталей топливной аппаратуры дизелей.
15. Способы ремонта кабины кузова.

Раздел 12

1. В чем отличие альтернативной технологии обкатки от традиционной тормозной?
2. Каким образом определяется величина нагрузочного момента для конкретной ступени обкатки?
3. Назовите наиболее приемлемый интервал изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя при бестормозной обкатке.
4. В чем заключается целесообразность применения дросселирования газов на такте выбега?
5. По какой формуле определяется время проведения ступеней обкатки?
6. Назовите преимущества бестормозной обкатки двигателей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. Карагодин, В. И. Ремонт автомобилей и двигателей [Текст] / В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – М. : Высшая школа, 2001. – 469 с.
2. Дюмин, И.Е. Ремонт автомобилей [Текст] / И.Е. Дюмин, Г.Г. Трегуб; под ред. И.Е. Дюмина. – М.: Транспорт, 1999. – 280 с.
3. Восстановление автомобильных деталей: Технология и оборудование [Текст]: учебник для вузов / В.Е. Канарчук, А.Д. Чигринец, О.Л. Голяк, П.М. Шоцкий. – М.: Транспорт, 1995. – 303с.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 [Текст] / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 [Текст] [Текст] / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М : Машиностроение, 1986. – 496 с.
6. Российская автотранспортная энциклопедия. В 3-х т. Т.3. Техническая эксплуатация и ремонт автотранспортных средств: справочное и научно-практическое пособие для специалистов отрасли «Автомобильный транспорт» для студентов и научных сотрудников профильных учебных заведений, НИИ [Текст]. – М.: Междунар. центр труда; Изд-во «Региональная общественная организация инвалидов и пенсионеров», 2000. – 456 с.
7. Надежность и ремонт машин [Текст] / В.В. Курчаткин [и др.]; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
8. Ремонт автомобилей [Текст]: учебник для вузов / под ред. Л.В. Дехтеринского. – М.: Транспорт , 1992. – 295 с.
9. Капитальный ремонт автомобилей [Текст]: справочник / Л.В. Дехтеринский [и др.]; под ред. Р.Е. Есинберлина. – М. : Транспорт, 1989. – 335 с.
10. Васильев, В.С. Ремонт дорожных машин, автомобилей и тракторов [Текст] / В.С. Васильев [и др.]; под ред. В.А. Зорина. – М.: Мастерство, 2001. – 512 с.
11. Молодых, Н.В. Восстановление деталей машин [Текст]: справочник / Н.В.Молодых, А.С. Зенкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.

Дополнительная литература

1. Технологические методы обеспечения эксплуатационных свойств деталей транспортных средств [Текст]: учеб. пособие / под общ. ред. В.М. Приходько. – М.: Изд-во МАДИ, 2012. – 220 с.
2. Зорин, В.А. Надежность машин [Текст]: учебник для вузов / В.А. Зорин, В.С. Бочаров. – Орел: ОрелГТУ, 2003. – 549 с.

3.Новиков, А. Н. Технология ремонта машин [Текст]: учеб. пособие / А.Н. Новиков, Н.В. Бакаева, А.В. Коломейченко. – Орел: ОрелГТУ, 2003. – 59 с.

4.Новиков, А.Н. Ремонт деталей из алюминия и его сплавов [Текст]: учеб. пособие / А.Н. Новиков. – Орел: Орловская государственная сельскохозяйственная академия, 1997. – 57 с.

5.Новиков, А.Н. Техничко-экономическое обоснование инженерных решений в дипломных проектах по надежности, ремонту и эксплуатации машин [Текст]: учеб. пособие / А.Н. Новиков, А.Н. Батищев, Ю.А. Кузнецов, А.В. Коломейченко. – Орел: ОрелГТУ, 2002. – 103 с.

6.Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) [Текст] / А.В. Чичинадзе [и др.]; под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

7.Хромов, В.Н. Упрочнение и восстановление деталей машин термоупруго-пластическим деформированием [Текст] / В.Н. Хромов, И.К. Сенченков. – Орел: Изд-во ОГСХА, 1999. – 21 с.

8.Материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для студентов машиностроит. спец. вузов / Г.П. Фетисов [и др.]; под ред. Г.П. Фетисова. – М.: Высш. шк., 2001. – 638 с.

9.Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин [Текст] / В.Д. Зозуля. Е.Л. Шведков, Д.Я. Ровинский, Э.Д. Браун; отв. ред. И.Н. Федорченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наук. думка, 1990. – 264 с.

10.Сварка и свариваемые материалы. В 3-х т. Т. 2. Технология и оборудование [Текст]: справ. изд. / под ред. В. М. Ямпольского. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 574 с.

11.Асиновская, Г.А. Газовая сварка и наплавка цветных металлов и сплавов [Текст] / Г.А. Асиновская, П.М.Любанин, В.И. Колычев. – М.: Машиностроение, 1974. – 275 с.

12.Рабкин, Д.М. Сварка алюминия и его сплавов со сталью и медью [Текст] / Д.М. Рабкин, В.Р. Рябов. – М. : Машиностроение, 1963. – 93с.

13.Батищев, А.Н. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники / А.Н. Батищев, И.Г. Голубев, В.П. Лялякин. – М.: Информагротех, 1995. – 296 с.

14.Батищев, А.Н. Монтаж, эксплуатация и ремонт технологического оборудования перерабатывающих отраслей АПК / Т.В. Чижикова [и др.]: справочник. – М. : Информагротех, 1997. – 228 с.

15.Антонов, И.А. Газопламенная обработка металлов [Текст] / И.А. Антонов. – М.: Машиностроение, 1976. – 264 с.

16.Современное оборудование и технологические процессы для восстановления изношенных деталей машин [Текст] // Тез. докл. на науч.-техн. конф. Ремдеталь-83. – М., 1983. – С.158

17. Хасуй, А. Наплавка и напыление [Текст] / А. Хасуй, О. Моригани. – М.: Машиностроение, 1985. – 297 с.
18. Кудинов, В.В. Нанесение покрытий плазмой [Текст] / В.В. Кудинов [и др.]. – М.: Наука, 1990. – 408 с.
19. Кудинов, В.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование [Текст] / В.В. Кудинов, Г.В. Бобров. – М.: Metallurgia, 1992. – 432 с.
20. Аношин, Е.В. Газотермическое нанесение покрытий [Текст] / Е.В. Аношин. – М.: Машиностроение, 1974. – 96 с.
21. Черноиванов, В.И. Восстановление деталей машин [Текст] / В.И. Черноиванов. – М.: ГОСНИТИ, 1995. – 278 с.
22. Черноиванов, В.И. Методика и рекомендации по восстановлению деталей способами газотермического напыления [Текст] / В.И. Черноиванов. – М.: ГОСНИТИ, 1983. – 62 с.
23. Сидоров, А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой [Текст] / А.И. Сидоров. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
24. Линник, В.А. Современная техника газотермического нанесения покрытий [Текст] / В.А. Линник, П.Ю. Пекшев. – М.: Машиностроение, 1985. – 165 с.
25. Упрочнение быстроизнашивающихся деталей машин оборудования мясной промышленности способами борирования [Текст] // Мясная промышленность: Обзор. информ. – М., 1985. – 28 с.
26. Суслов, А.Г. Технология машиностроения [Текст]: учебник для вузов / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2005. – 397 с.
27. Технологические основы проектирования операций механической обработки [Текст]: учеб. пособие / Ю.Н. Федоров [и др.]. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2004. – 272 с.
28. Эдельсон, А.М. Применение металлизации для восстановления изношенных деталей машин [Текст] / А.М. Эдельсон. – М.: Машгиз. 1960. – 73 с.
29. Восстановление деталей гальваническими покрытиями [Текст]: учеб. пособие / Всесоюзн. с.-х. ин-т заоч. образования. – М., 1991. – 72 с.
30. Плеханов, И.Ф. Расчет и конструирование устройств для нанесения гальванических покрытий [Текст] / И.Ф. Плеханов. – М.: Машиностроение, 1988. – 244 с.
31. Гальванические покрытия в машиностроении. В 2-х т. [Текст] / под ред. М.А. Шулера. – М.: Машиностроение, 1985. Т.1. – 240 с.; Т.2. – 248 с.
32. Балтер, М.А. Упрочнение деталей машин [Текст] / М.А. Балтер. – М.: Машиностроение, 1988. – 196 с.
33. Горленко, О.А. Износостойкость поверхностей упрочненных лазерной обработкой [Текст] / О.А. Горленко // Трение и износ. – 1981. – №1. – С.27-31.

34. Семенов, А.П. О перспективе применения в машиностроении вакуумных ионно-плазменных и газотермических покрытий [Текст] / А.П. Семенов, Н.А.Воронин // Вестник машиностроения. – 1982. – №1. – С.42-44.
35. Методы и средства упрочнения поверхностей деталей машин концентрированными потоками энергии [Текст] / А.П. Семенов [и др.]. – М.: Наука, 1972. – 404 с.
36. Полевой, С.Н. Упрочнение металлов: Справочник [Текст] / С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. – М.: Машиностроение. 1986. – 320 с.
37. Никитин, М. Д. Теплозащитные и износостойкие покрытия деталей дизеля [Текст] / М.Д. Никитин, А.Я.Кулик, Н.И.Захаров. – Л.: Машиностроение, 1977. – 168 с.
38. Бородин, И.Н. Упрочнение деталей композиционными покрытиями [Текст] / И.Н. Бородин. – М.: Машиностроение, 1982. – 141 с.
39. Композиционные покрытия при восстановлении деталей: обзорная информация / Госагропром СССР. АгроНИИТЭИИТО ; сост. М.И. Черновол, И.Г. Голубев. – М.,1989. – Сер.: Восстановление деталей машин и оборудования АПК.
40. Композиционные материалы [Текст]: справочник / В.В. Васильев [и др.]. – М.: Металлургия, 1991. – 688 с.
41. Вартелеев, С.С. Детонационные покрытия в машиностроении [Текст] / С.С. Вартелеев, Ю.П. Федько, А.И. Гиргоров. – М.: Машиностроение, 1982. – 215 с.
42. Ольховатский, А.К. Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки при восстановлении деталей машин [Текст] / А.К. Ольховатский, В.П. Лялякин; под ред. В.П. Лялякина. – М., 1996. – 40 с.
43. Челюбеев, В.В. Разработка и оптимизация режимов фрикционного латунирования для улучшения приработки гильз цилиндров двигателей в условиях ремонтного производства [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.В. Челюбеев. – М., 1997. – 14с.
44. Кодинцев, Н.П. Восстановление плунжерных пар топливного насоса УТН-5 нанесением карбидохромового покрытия [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.П. Кодинцев. – М., 1997. – 14 с.
45. Миронов, В.В. Восстановление плунжеров рядных топливных насосов дизелей нанесением гальванофазового хрома [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.В. Миронов. – Рязань, 2001. – 21 с.
46. Технологические процессы восстановления деталей плазменным напылением порошков и проволокой [Текст]. – М., 1989. – 48 с.
47. Абдуллаев, Б.М. Восстановление нагнетательных клапанов рядных топливных насосов диффузионным хромированием [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б.М. Абдуллаев. – М., 1989. – 16 с.
48. Микродуговое оксидирование [Текст]. – М.: Знание, 1981. – 341 с. – (Наука и человечество).

49. Черновол, М.И. Контактная наварка композиционных покрытий [Текст] / М.И. Черновол, Ю.В. Мачок // Сварочное производство. – 1991. – №2. – С.23-25.

50. Шамко, В.К. Механическая прочность газотермических покрытий [Текст] / В.К. Шамко, А.А. Ковричко // Сварочное производство. – 1991. – №12. – С.13-15.

51. Лившиц, А.С. Наплавочные материалы и технология наплавки для повышения износостойкости и восстановления деталей машин [Текст] / А.С. Лившиц // Сварочное производство. – 1991. – № 1. – С.15-17.

52. Верстак, А.А. Особенности взаимодействия напыляемых частиц с шероховатой поверхностью основы [Текст] / А.А. Верстак, И.А. Куприянов, А.Ф. Ильющенко // Сварочное производство. – 1987. – №2. – С.5-6.

53. Определение расходных характеристик при нанесении газотермических покрытий (на детали оборудования пищевой промышленности) [Текст] / Н.А. Амельченко [и др.] // Сварочное производство. – 1990. – №11. – С.19.

54. Григор, З.В. Плазменное напыление алюминиевых деталей при ремонте импортной строительной техники [Текст] / З.В. Григор, А.И. Комаров, А.И. Куликов // Сварочное производство. – 1990. – №9. – С.18-19.

55. АПСИН, В.П. Специальный курс ремонта автотранспортных средств [Текст]: учеб. пособие / В.П. АПСИН [и др.]. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2008. – 172 с.

56. Бондаренко, Е.В. Курсовое проектирование по технологии восстановления деталей [Текст]: учеб. пособие. В 2-х ч. / Е.В. Бондаренко, Ж.А. Шахаев. – Оренбург: Изд-во ОГУ, 2007. Ч. 1 – 757 с., Ч. 2 – 618 с.

57. ЕМЕЛИН, В.И. Восстановление деталей и узлов машин [Текст]: учеб. пособие / В.И. ЕМЕЛИН. – 3-е изд., перераб. и доп. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – 408 с.

58. Жуков, В.Т. Технология и организация восстановления деталей и сборочных единиц при сервисном сопровождении [Текст]: учеб. пособие / В.Т. Жуков, И.Г. Амрахов, А.К. Скворцов. – Воронеж: Изд-во НОУ ВПО «Институт экономики и права», 2008. – 222 с.

59. Новиков, А.Н., Бакаева, Н.В. Восстановление и упрочнение деталей машин, изготовленных из алюминиевых сплавов, электрохимическими способами [Текст]: учеб. пособие. – Орел: Изд-во Орловского ГТУ, 2004. – 170 с.

60. Новиков, А.Н. Восстановление и упрочнение деталей автомобилей [Текст]: учеб. пособие / А.Н. Новиков, М.П. Стратулат, А.Л. Севостьянов. – Орел: Изд-во Орловского ГТУ, 2006. – 332 с.

61. Новиков, А.Н. Охрана и безопасность труда при техническом обслуживании и ремонте автомобилей [Текст]: учеб. пособие / А.Н. Новиков, А.П. Лапин, Б.М. Тюриков. – Орёл: Изд-во ОрёлГТУ, 2008. – 244 с.

62. Новиков, А.Н. Окраска автомобилей в условиях сервисных предприятий [Текст]: учеб. пособие / А.Н. Новиков, А.С. Бодров. – Орёл: Изд-во ОрёлГТУ, 2009. – 192 с.

63. Родионов, Ю.В. Ремонт автомобилей: Техническое нормирование труда [Текст]: учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Ю.В. Родионов. – Пенза: ПГУАС, 2005. – 220 с.

64. Родионов, Ю.В. Введение в специальность «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования» [Текст]: учеб. пособие / Ю.В. Родионов. – Пенза, ПГУАС, 2004. – 220 с.

65. Севостьянов, А.Л. Основы технологии производства и ремонт автомобилей: Курс лекций [Текст]: учеб. пособие / А.Л. Севостьянов. – Орёл: Изд-во ОрёлГТУ, 2006. – 183 с.

66. Улашкин, А.П. Курсовое проектирование по восстановлению деталей [Текст]: учеб. пособие / А.П. Улашкин, Н.С. Тузов. – Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 2003. – 116 с.

67. Шахаев, Ж.А. Курсовое проектирование по основам технологии производства автомобилей [Текст]: учеб. пособие / Ж.А. Шахаев, Е.В. Бондаренко. В 2-х ч. – Оренбург: Изд-во ИПК ГОУ Оренбургский ГУ, 2002. Ч.1 – 231 с.; Ч.2 – 455 с.

68. Воронов, В.П. Инструментальное обеспечение процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей [Текст]: учеб. пособие / В.П. Воронов, В.А. Егоров, П.С. Кузьменко, А.А. Хазиев. – М.: Издание МАДИ (ГТУ), 2004. – 124 с.

69. Зотов, Н.М. Основы механической обработки деталей транспортных средств [Текст]: учеб. пособие / Н.М. Зотов, Е.В. Балакина. – Волгоград: РПК «Политехник», 2004. – 119 с.

70. Крылов, В.Ф. Электрохимические технологии в авторемонтном производстве [Текст]: учеб. пособие / В.Ф. Крылов. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2004. – 191 с.

Учебное издание

Родионов Юрий Владимирович
Севостьянов Александр Леонидович

ОСНОВЫ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ
Учебное пособие

Редактор В.С. Кулакова
Верстка Н.В. Кучина



Подписано в печать 22.04.14. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 17,44. Уч.-изд.л. 18,75. Тираж 300 экз. 1-й завод 100 экз.
Заказ № 109.

Издательство ПГУАС.
440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28.