

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО ГОРСКИЙ ГАУ)

Кафедра «Техника и технологии наземного транспорта»

ЛЬЯНОВ М.С., ПИЦХЕЛАУРИ Ш.Н.

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА И РЕМОНТА
ТРАНСПОРТНЫХ И
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Направление подготовки 23.03.03 Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов

Учебное пособие

Владикавказ, 2023

УДК 629.113.004.5
ББК 39.3
Л91

Составители:

Льянов М.С., Пицхелаури Ш.Н.

Рецензент:

Тавасиев Р.М. – д.т.н., профессор кафедры «Технические системы в агробизнесе» ФГБОУ ВО Горский ГАУ

Основы технологии производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования: учебное пособие / Составители: Льянов М.С., Пицхелаури Ш.Н. – Владикавказ: ФГБОУ ВО Горский ГАУ, 2023. – 84с.

В учебном пособии изложены и проанализированы причины возникновения износа, рассмотрены этапы технологического процесса ремонта автомобилей, приведены способы восстановления изношенной поверхности детали, применяемые при ремонте автомобилей, приведен пример расчета.

Для студентов автотранспортных специальностей высших учебных заведений направления подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

Рекомендовано УМС ФГБОУ ВО Горский ГАУ в качестве учебного пособия по дисциплине «Основы технологии производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования» от 29 марта 2024 г. протокол №4.

© Издательство ФГБОУ ВО Горский ГАУ, 2023
© Льянов М.С., Пицхелаури Ш.Н., 2023

РАЗДЕЛ 1. ИЗНАШИВАНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1.1. Причины снижения работоспособности машин в процессе эксплуатации

В процессе эксплуатации машины подвергаются различным внешним (*эксплуатационным*) и внутренним воздействиям, в результате чего изменяется их техническое состояние, что ухудшает технико-эксплуатационные показатели машин: увеличивается расход топлива и масла; уменьшаются рабочие скорости и мощность, тяговое усилие; снижается производительность.

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.

К внешним факторам, влияющим на надежность машин, относятся климатические условия, свойства почвы и растений, уровень технического обслуживания (*в том числе и при хранении*), ремонта, квалификации обслуживающего персонала и др.

Климатические условия характеризуются температурой, влажностью, запыленностью воздуха и др. При эксплуатации машин в зимний период, особенно во время пуска двигателей, поступление загустевшей смазки к трущимся поверхностям затруднено, что приводит к ускоренному изнашиванию деталей. Повышенная температура воздуха в летний период вызывает перегрев двигателя, а следовательно, уменьшение вязкости смазочного материала и толщины масляной пленки на трущихся поверхностях, что ведет к появлению задиров. Высокая влажность воздуха, наличие в нем паров ядохимикатов и удобрений ускоряют коррозионные процессы. Значительная запыленность воздуха увеличивает опасность проникновения абразивных частиц в цилиндры двигателя, в топливо и смазочные материалы, что может увеличить скорость изнашивания деталей.

К внешним (*эксплуатационным*) факторам, влияющим на техническое состояние машин, относится *уровень технического*

обслуживания и ремонта. Несвоевременное или неправильное регулирование соединений, несвоевременная замена смазочного материала или изношенных деталей, ослабление крепления сборочных единиц машины вызывают повышенный износ деталей, сокращают ресурс составных частей машины в 2–3 раза. Закрытая заправка машин топливно-смазочными материалами в целях предотвращения попадания пыли, качественное техническое и технологическое регулирование, исключение перегрузок и нарушения теплового режима работы – все это создает благоприятные условия для уменьшения числа отказов.

При длительном хранении от коррозии, структурных превращений и остаточной деформации от собственной массы машины качество материала деталей изменяется. Под действием атмосферных осадков, резких перепадов температур, солнечного излучения материалы стареют. У полимерных и резинотекстильных материалов снижается эластичность, уменьшается сопротивление на удар, сжатие и изгиб, повышается твердость. При совместном воздействии озона и солнечных лучей резина разрушается наиболее интенсивно. Смазочные материалы, попавшие на детали из резинотекстиля, вызывают разбухание резины. Поэтому неподготовленные к хранению резиновые шины, прорезиненные ремни, гидрошланги и другие детали быстро выходят из строя. Из-за нарушения правил хранения срок службы пневматических шин может снижаться в среднем на 10–15 % в год. Вредное воздействие на неработающие машины оказывают длительные статические нагрузки. Именно поэтому в некоторых случаях наблюдают деформацию рам, платформ, пальцевых брусьев режущих аппаратов у машин, не установленных в горизонтальное положение на подставки. Статические нагрузки испытывают также различные пружинные механизмы. При длительном хранении пружины необходимо ослабить, чтобы они не потеряли своей упругости. Надежность машин и их составных частей в значительной мере зависит от силы вибрации, которая возникает в процессе работы. Причина повышенной вибрации – дисбаланс (*неуравновешенность*) быстровращающихся деталей и сборочных единиц (*карданных и коленчатых валов, маховиков, шкивов, дисков сцепления колес и т. д.*). Неуравновешенность деталей возникает вследствие неравномерной плотности материала, погрешностей обработки деталей, неточностей сборки сборочных единиц

(*перекосы, смещения и т. д.*), появления износов и деформаций в процессе эксплуатации машин. Вибрация создает дополнительные нагрузки на детали, в том числе и на подшипники, в результате чего они изнашиваются интенсивнее.

К внутренним факторам, вызывающим изменение исходных характеристик машины, относят несовершенство конструкции машин (*физико-механические свойства материалов, используемых для изготовления деталей*), технологии их изготовления или ремонта. Рассматривают пять состояний объекта (*машин*) в период его эксплуатации.

Исправное состояние (*исправность*) – состояние машины, при котором она соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Неисправное состояние (*неисправность*) – состояние машины, при котором она не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Работоспособное состояние (*работоспособность*) – состояние машины, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Неработоспособное состояние (*неработоспособность*) – состояние машины, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Предельное состояние – состояние машины, при котором ее дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление ее исправного или работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Переход машины из исправного в неисправное, но работоспособное состояние называют повреждением – явление, заключающееся в нарушении исправного состояния машины при сохранении работоспособного состояния. Восстанавливают работоспособность машины и обеспечивают ее нормальное функционирование в ходе технического обслуживания и ремонта. Эффективность этих мероприятий в значительной мере зависит от одного из свойств надежности – ремонтпригодности. Под ремонтпригодностью машины понимают

приспособленность ее к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания (ТО) и ремонтов.

1.2. Теории трения и изнашивания

Основная причина потери работоспособности машин в процессе эксплуатации – механическое истирание их составных элементов.

Для объяснения природы трения и изнашивания при механическом истирании существуют три теории, дополняющие и уточняющие друг друга. Их исходные положения сводятся в основном к механическому, молекулярному и молекулярно-механическому взаимодействиям между трущимися поверхностями. Отсюда и эти теории называют механической, молекулярной и молекулярно-механической.

Механическая теория. Изнашивание представляет собой процесс деформации и разрушения поверхностных слоев, происходящий в результате механического взаимодействия микронеровностей при скольжении одного тела по-другому.

Сближение шероховатых поверхностей приводит как к контакту микронеровностей, так и к взаимному проникновению микровыступов одной из поверхностей во впадины другой. В связи с различной высотой микронеровностей контактирующие микровыступы нагружаются по-разному, поэтому одни из них испытывают упругие деформации, другие – пластические. При относительном перемещении трущихся поверхностей имеют место все известные виды деформаций – смятие, сдвиг, изгиб.

Трущиеся детали соприкасаются не всей видимой поверхностью, а лишь микровыступами, пятнами касания. Фактическая площадь касания составляет 0,01–0,001 видимой поверхности (*в зависимости от класса шероховатости*). В силу этого удельные нагрузки на отдельные микровыступы достигают больших значений. Так, если в подшипниках коленчатых валов автотракторных двигателей среднее расчетное давление составляет 4 МПа, то фактическое давление на микровыступах может достигать 400–4000 МПа. При таком давлении в контактных точках возникают температурные вспышки локального характера (около 1000 °С) и происходит сваривание микровыступов с почти мгновенным разрывом мостиков сварки (рис. 1.1).

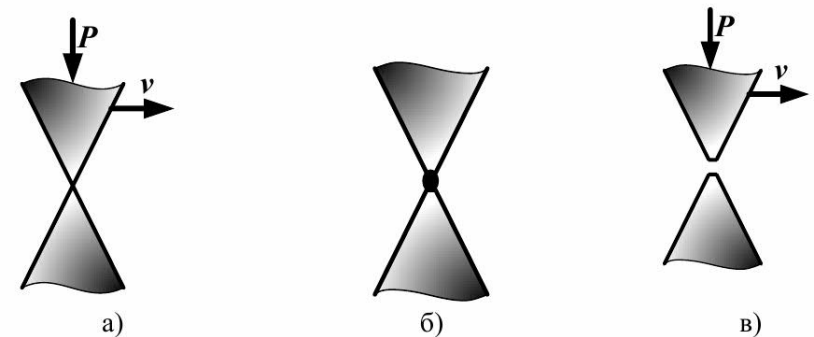


Рис. 1.1. – Схемы образования и разрушения мостиков сварки: а – контакт микровыступов; б – мостик сварки; в – разрыв мостика сварки; P – нагрузка; v – скорость относительного перемещения

Молекулярная теория. Эта теория исходит из допущения существования молекулярных сил взаимодействия между контактирующими микровыступами. Факт существования молекулярной адгезии можно увидеть из эмпирической формулы Кулона, полученной им в 1799 г.,

$$F = A + \mu N, \quad (1.1)$$

где F – сила трения;

A – молекулярная составляющая силы трения;

μ – коэффициент трения;

N – нормальная нагрузка.

Из этой формулы следует, что даже при отсутствии нагрузки, когда $N = 0$ поверхности трения взаимодействуют, так как сила трения при этом $F > 0$ ($F = A$).

В соответствии с молекулярной теорией трения и изнашивания на отдельных участках трущихся поверхностей молекулы настолько сближаются, что начинает проявляться взаимодействие молекулярных сил, аналогичное притяжению разноименных зарядов. Результат молекулярного взаимодействия между трущимися телами – износ чисто обработанных поверхностей.

Более полно физическую сущность явлений трения и изнашивания отражает молекулярно-механическая теория, предложенная И. В. Крагельским.

Молекулярно-механическая теория. Эта теория исходит из предположения, что трение имеет двойственную природу и обусловлено как взаимным внедрением микровыступов трущихся поверхностей, так и силами молекулярного взаимодействия. Молекулярное взаимодействие поверхностей трения невозможно без их тесного сближения. При этом неизбежны внедрение и разрушение микровыступов.

Эта теория с учетом влияния на процесс изнашивания вида трения является общепризнанной.

Виды трения. По ГОСТ 23.002 различают два основных вида трения: трение без смазочного материала и трение со смазочным материалом. Особенно опасным считают трение ювенильных (*обнаженных*) поверхностей. Оно относится к трению без смазочного материала и характеризуется непосредственным взаимодействием между твердыми телами при отсутствии между ними третьей фазы (например, оксидной пленки), способной выполнять смазочную функцию.

Ювенильная поверхность несет значительный запас свободной поверхностной энергии и, следовательно, характеризуется высокой адсорбционной способностью. Коэффициент трения при взаимодействии ювенильных поверхностей достигает 6–7 единиц и сопровождается схватыванием поверхностей (*заеданием*).

Металлическая поверхность может сохранять ювенильные свойства лишь в условиях высокого вакуума или в атмосфере инертного газа, что встречается при износе деталей в случаях, когда отделяются оксидные пленки и твердые тела вступают в непосредственный контакт. Такое явление наиболее часто имеет место при трении деталей из однородных материалов, например, сталь по стали.

Различают жидкостное и граничное трение со смазочным материалом.

Жидкостное трение имеет место при наличии промежуточного слоя смазки, полностью разделяющего трущиеся поверхности. Процессы трения и изнашивания характеризуются при этом не материалом трущихся деталей, а вязкостью смазочного слоя, конструкцией и режимом работы соединения.

При уменьшении толщины масляного слоя, трущиеся поверхности сближаются. Когда в процессе сближения достигается такое положение, при котором они разделяются не слоем смазки, а масляной

пленкой молекулярной толщины, наступает граничное трение.

Граничное трение возникает под действием молекулярных сил трущихся поверхностей, смазочное вещество прочно адсорбируется на поверхностях трения. Полярные концы молекул смазочного вещества образуют на поверхностях трения «молекулярный частокол».

Граничная фаза масляной пленки, находясь под двусторонним воздействием молекулярных сил, приобретает квазитвердое состояние с расклинивающим давлением, оказывающим сильное сопротивление образованию металлического контакта.

Указанные свойства предохраняют трущиеся поверхности разрушения.

1.3. Виды и основные закономерности изнашивания

Изнашивание – процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела при трении и (или) увеличении его остаточной деформации, проявляющейся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела.

Износ – результат изнашивания, определяемый в единицах длины, объема, массы. Износ деталей и соединений приводит к ухудшению функциональных показателей машины и, как правило, регламентирует их ресурс. В результате износа нарушается кинематическая точность механизмов, снижается производительность, уменьшается прочность деталей, увеличиваются расходы на ремонт машин, затраты энергии на производство конечной продукции, появляются не предусмотренные расчетом дополнительные нагрузки, вибрация, шум.

Под **износостойкостью** понимают свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости или интенсивности изнашивания.

Ввиду сложности процессов, протекающих в поверхностных слоях твердых тел при изнашивании, различия условий и режимов работы соединений и причин изнашивания предложить строгие единые классификационные признаки всего многообразия процессов изнашивания невозможно.

Наиболее распространена следующая классификация видов изнашивания по воздействию на поверхность трения и протекающих на ней процессов при эксплуатации машин:

механическое изнашивание – абразивное, гидроабразивное (*газоабразивное*), гидроэрозионное (*газоэрозионное*), кавитационное, усталостное, изнашивание при фреттинге, изнашивание при заедании;

коррозионно-механическое – окислительное, изнашивание при фреттинг-коррозии; электроэрозионное.

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

Электроэрозионное изнашивание происходит при прохождении через контакт трущихся поверхностей электрического тока.

Характерные причины образования различных видов изнашивания и примеры изнашивания приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1
Вид изнашивания и причина его образования

Вид изнашивания	Причина	Пример
1	2	3
Механическое изнашивание		
Абразивное	Изнашивание материала в результате режущего или царапающего действия на него твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии	Рабочие органы и ходовая часть сельскохозяйственной, строительно-дорожной техники
Гидроабразивное	Абразивное изнашивание в результате действия твердых частиц, взвешенных в жидкости (газе) и перемещающихся относительно изнашиваемого тела	Элементы топливной аппаратуры двигателя, объемного гидропривода, детали компрессоров и пневматического инструмента, выхлопные коллекторы, трубы
Гидроэрозионное (газоэрозионное)	Изнашивание поверхности тела под воздействием потока жидкой или газовой среды	Золотники гидравлических и топливных агрегатов, детали глубинных насосов, перекачивающих глинистые растворы или нефть

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3
Кавитационное	Изнашивание при движении твердого тела относительно жидкости, при котором пузырьки воздуха захлопываются вблизи поверхности, что создает местное высокое ударное давление	Крыльчатка и корпус водяного насоса, наружные поверхности гильз цилиндров, подшипники скольжения, лопасти турбин, гребных винтов
Усталостное	Изнашивание в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемных участков материала поверхности трения	Питтинг, возникающий при трении качения в шариковых и роликовых подшипниках, опорно-поворотных устройствах, катках.
Изнашивание при фреттинге	Изнашивание соприкасающихся тел при колебательном относительном микросмещении	Шлицевые соединения
Изнашивание при заедании	Изнашивание в результате схватывания, глубинного вырывания материала, переноса его с одной поверхности трения на другую и воздействия возникающих неровностей на сопряженную поверхность	Втулка опорного колеса плуга, зубчатые передачи, гипоидные и винтовые передачи, тяжело нагруженные опоры качения
Коррозионно-механическое изнашивание		
Окислительное изнашивание	Изнашивание, при котором преобладает химическая реакция материала с кислородом или окисляющей средой	Чугунные гильзы и поршневые кольца, образующие между собой гальваническую пару
Изнашивание при фреттинг-коррозии (фреттинг-коррозия)	Изнашивание соприкасающихся тел при малых колебательных относительных перемещениях	Посадки с запрессовкой колец подшипников качения, поршневые пальцы, колесные бандажи, болтовые, клиновые и штифтовые соединения
Электроэрозионное изнашивание		
Электроэрозионное	Изнашивание поверхности в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока	Скользящие контакты электрических машин и сварочных аппаратов, токосъемы подъемно-транспортных машин

1. Адгезионный износ возникает в условиях трения, когда два гладких тела скользят друг по другу и частицы материала, вырванные с одной поверхности, прилипают к другой (рис. 1.1). Этот вид износа имеет место, когда атомы контактирующих поверхностей входят в близкий контакт. На площадях контакта при скольжении поверхностей всегда существует вероятность того, что из-за адгезионных сил разрушение этого контакта происходит не по первоначальной поверхности раздела одного материала, а внутри него.

2. Абразивный износ возникает в условиях трения, когда более твердые шероховатые поверхности скользят по более мягким, царапают или «пропахивают» их, образуя свободные частицы. Абразивный износ может возникнуть и тогда, когда твердые частицы попадают между поверхностями трения и изнашивают их.

Абразивное изнашивание – наиболее распространенный вид изнашивания деталей автомобильной техники, вызываемый воздействием на них абразивных (*твердых*) частиц.

Твердые (абразивные) частицы могут образовываться и в самой машине в виде закаленных частиц металла – продуктов износа соединенных пар трения.

Абразивное изнашивание длительное время связывали лишь с режущим действием абразивных частиц. С этим представлением связан и сам термин «абразивный», происходящий от латинского слова «abrasio» – соскабливание.

При таком подходе процесс изнашивания соединения вал-подшипник можно представить в виде схемы, показанной на рисунке 1.2.

Абразивные частицы 1 и 2 по-разному ведут себя в зависимости от твердости поверхностей соединенных деталей. Когда одна из трущихся поверхностей (А) изготовлена из мягкого материала, абразивные частицы 1 поглощаются этой поверхностью, что при малой концентрации абразивных частиц в смазочном материале предохраняет твердую поверхность (В) от износа. С течением времени мягкая поверхность насыщается абразивными частицами и превращается в своеобразный абразивный инструмент, который царапает соединенный с ней вал.

Если обе соединенные поверхности (В) имеют значительную твердость, то абразивные частицы 2, попадая в зазор между ними, или царапают их, или разрушаются, не повреждая ни ту, ни другую. Все

зависит от соотношения твердостей соединенных поверхностей и абразива.

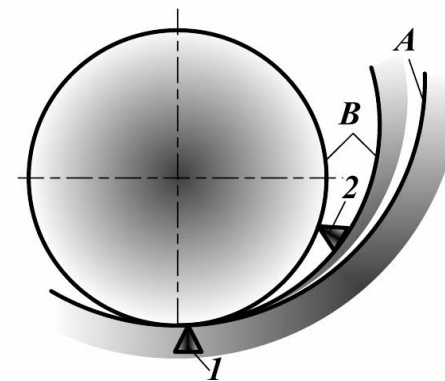


Рисунок 1.2 – Схема абразивного изнашивания соединения вал-подшипник:

А – мягкая поверхность; В – твердые поверхности;
1 и 2 – абразивные частицы

3. Коррозионный износ имеет место, когда контакт поверхностей происходит в коррозионных средах. В процессе скольжения, образующиеся на поверхности пленки разрушаются, и коррозионное воздействие распространяется вглубь материалов.

Основная причина, вызывающая коррозионное разрушение металлов, протекание на их поверхностях реакций взаимодействия металла с окружающей средой. Если последняя способна проводить электрический ток, то коррозию называют электрохимической.

Электрохимическая коррозия сопровождается упорядоченным движением ионов, то есть появлением электрического тока

4. Поверхностная усталость наблюдается во время многократного скольжения или качения по одним и тем же поверхностям с непрерывно повторяющимися циклами нагружения и разгрузки.

Установлено два наиболее решающих фактора, влияющих на процесс схватывания трущихся тел: их температура и нагрузка.

Начало процесса заедания может быть вызвано изменением различных факторов, например, увеличением скорости скольжения, нагрузки, температуры контактируемых поверхностей, уменьшением вязкости смазывающего материала и других факторов. В процессе

заедания резко возрастает интенсивность изнашивания поверхностей, что приводит к росту динамических нагрузок и выходу из строя деталей машины. В обоих случаях заедания прекращается относительное перемещение и происходит заклинивание узла механизма. Однако в настоящее время отсутствует единое мнение о природе процесса заедания, что связано со сложностью явления и трудностями прямого экспериментального наблюдения за началом его возникновения и развития.

Признаки, или критерии, по которым устанавливают предельное состояние машины или ее составных частей, подразделяют на экономические, качественные и технические.

Экономическими критериями оценивают снижение производительности машины, повышение расхода топлива, смазочных материалов, себестоимости выполнения работ. Их удобно применять при оценке экономической целесообразности дальнейшего использования машины по назначению.

Качественными критериями оценивают качество работы машины или агрегата. Предельные значения в этом случае устанавливают в зависимости от выполнения машиной агротехнических требований и соответствии требованиям безопасности и экологичности.

Техническими критериями оценивают износы деталей машин, зазоры в подвижных и натяги в неподвижных соединениях. Технические критерии устанавливают с учетом прочности значений действующих нагрузок, условий трения и смазки, тепловой напряженности, интенсивности изнашивания, свойств поверхностных слоев.

Предельное состояние машины определяют по предельному состоянию ее основных и дополнительных составных частей. Например, колесный трактор с шарнирной рамой и гидромеханической коробкой передач считают в предельном состоянии, если в предельном состоянии находятся его основные составные части: двигатель, коробка перемены передач, передний и задний мосты с колесными редукторами и дополнительные составные части: управление поворотом с гидросистемой, рама, кабина в сборе, раздаточная коробка.

Двигатель находится в предельном состоянии, если в предельном состоянии находятся блок цилиндров (*требуется его замена или восстановление с полной разборкой двигателя*) и коленчатый вал,

имеющий предельный износ коренных и шатунных шеек или механические повреждения, требующие его замены или шлифовки, расход масла на угар или прорыв газов в картер равны или превышают предельные значения и не устраняются после замены комплекта поршневых колец.

За предельное состояние сварной рамы или полурамы трактора принимают такое состояние, при котором длина трещины лонжеронов или поперечных брусьев и их сварных соединений, в том числе с несущими кронштейнами, превышает 40 % периметра сечения.

В процессе ремонта машин износы деталей или зазоры в соединениях измеряют при дефектации. По значению износов или величине зазоров судят о целесообразности дальнейшего использования детали или соединения.

1.4. Способы уменьшения интенсивности изнашивания в соединениях

Материаловедческие методы включают направленный синтез износостойких конструкционных и смазочных материалов, выбор рациональных конструкционных и смазочных материалов в соединениях, изучение и управление процессами, протекающими в материалах при изнашивании. При этом важно помнить, что износостойкость не является постоянным свойством материала, а проявляется в конкретных условиях и режимах эксплуатации. Материалы деталей и соединений помимо износостойкости должны обладать комплексом других свойств, обеспечивающих надежную работу конструкции в целом. Данные методы применяются на стадии разработки конструкции машин и основными направлениями повышения износостойкости машин при этом являются: выбор долговечных материалов деталей и их рациональное сочетание в парах трения; выбор надежной смазки трущихся поверхностей.

Технологические методы предупреждения износа основаны на больших технологических возможностях управления износостойкими свойствами деталей на этапе их производства. Основными технологическими направлениями повышения надежности являются: обеспечение необходимой точности изготовления деталей; обеспечение оптимального качества рабочих поверхностей (*шероховатость, волнистость и др.*); повышение износостойкости, статической и циклической прочности деталей термической обработкой; упроч-

нение деталей химико-термической обработкой (*цементация, азотирование и др.*): упрочнение деталей поверхностным пластическим деформированием (*обкатка или раскатка шариками и роликами, алмазное выглаживание, чеканка, дробеструйная обработка*); нанесение на рабочие поверхности деталей машин износостойких покрытий (*наплавка твердых сплавов, нанесение хромовых покрытий гальваническим методом и др.*); установка втулок, колец и вставок из износостойких материалов; проведение искусственного старения чугунных деталей (*блоки цилиндров, головки цилиндров, корпуса задних мостов и коробок передач*); статическая и динамическая балансировка деталей и сборочных единиц; повышение точности сборки и качества окраски агрегатов и машин в целом.

Конструкционные методы обеспечивают износостойкость на этапе проектирования машин, они направлены:

- на смягчение режимов работы материалов в деталях и узлах трения (уменьшение температуры, нагрузки, скорости);
- защиту трущихся деталей от контакта с абразивной и агрессивной средой;
- исключение режимов трения без смазочного материала или в условиях недостаточной смазки; компенсацию износа деталей; обеспечение равномерного изнашивания деталей;
- исключение катастрофических видов изнашивания деталей при схватывании и задире;
- обеспечение ремонтпригодности деталей и агрегатов.

Этого достигают: оптимизацией конструктивных схем машин (*снижение числа составных частей и повышение вероятности их безотказной работы*); обеспечением надлежащей конфигурации деталей (*особенно в местах расположения галтелей, канавок и надрезов с целью снижения концентрации напряжений при воздействии динамических и циклических нагрузок*) и достаточной жесткости и устойчивости к вибрациям базовых деталей машин; обеспечением надлежащей герметизации подвижных и неподвижных соединений деталей машин; создание оптимальных условий работы пар трения (*нагрузка, скорость*) для наименьших потерь на трение; обеспечением оптимальных температурных режимов работы соединений и агрегатов; создание эффективных устройств очистки возду-

ха, топлива и масел; заменой опор скольжения на опоры качения; применением разных способов смазки, различного рода уплотнений, затворов, фильтров, отстойников; доступностью и простотой обслуживания, ремонта и замены деталей и узлов.

Производственные и эксплуатационные методы обеспечения износостойкости реализуют в процессе производства и эксплуатации. На этапе создания техники необходимо обеспечить точное соблюдение технологии изготовления деталей и соединений в соответствии с заложенными в проект требованиями. В процессе изготовления контролируют следующие параметры: качество поверхностей трения; отклонение формы деталей; твердость поверхностей; точность сборки; биение; регламентированные зазоры.

С целью контроля износостойких показателей проводят стендовые ускоренные испытания отдельных деталей, соединений, агрегатов. Опытные образцы техники проходят полигонные и эксплуатационные испытания. На этих этапах устраняют возможные недоработки в износостойкости деталей, рабочих органов машины и регламентируют их режимы и условия эксплуатации.

Контрольные вопросы

1. Основные положения механической теории изнашивания.
2. Основные положения молекулярной теории изнашивания.
3. Основные положения молекулярно-механической теории изнашивания.
4. Виды трения и их особенности
5. Причины абразивного износа. Методы снижения абразивного износа.
6. Причины коррозионного износа. Методы снижения коррозионного износа.

РАЗДЕЛ 2. СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЕЙ

2.1. Классификация способов восстановления изношенных деталей

Большое количество деталей автомобилей и агрегатов, поступающих в капитальный ремонт (КР), в результате износа, усталости материала, механических и коррозионных повреждений утрачивает свою работоспособность. Однако лишь некоторые из этих деталей – наиболее простые и недорогие в изготовлении – утрачивают работоспособность полностью и требуют замены. Большинство деталей имеет остаточный ресурс и может быть использовано повторно после проведения сравнительно небольшого объема работ по их восстановлению.

В среднем около 20% деталей утильных, 25 – 40% годных, а остальные 40– 55% можно восстановить. Если сравнивать с изготовлением новых деталей, технологии восстановления деталей относятся к разряду наиболее ресурсосберегающих (сокращаются затраты на 70%). Средние затраты на материалы при восстановлении составляют 6,6% от общей себестоимости, а при изготовлении деталей – 38% (рис 2.1) По сравнению с изготовлением новых деталей для восстановления работоспособности изношенных деталей требуется в 5 – 8 раз меньше технологических операций.

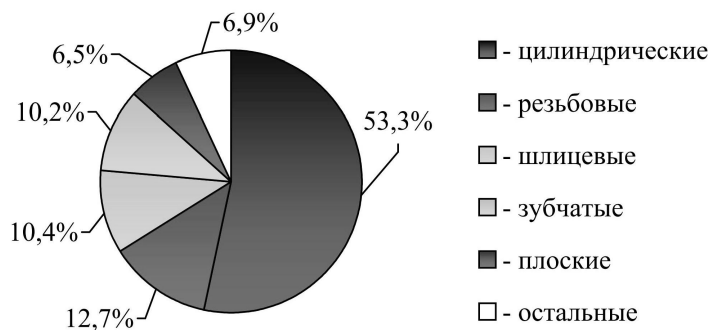


Рис. 2.1. Доля восстанавливаемых поверхностей

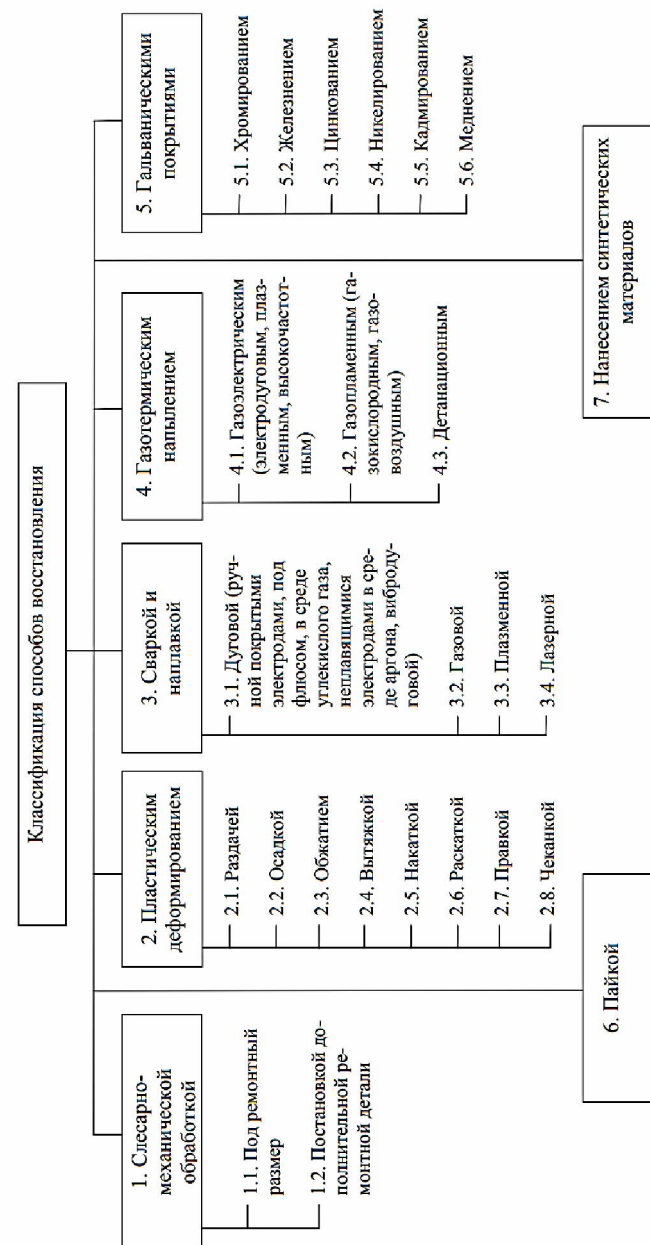


Рис. 2.2. Классификация способов восстановления деталей

При износе не более 0,3 мм примерно 85% деталей возможно подвергнуть восстановлению, т.е. при нанесении покрытия незначительной толщины их работоспособность восстанавливается.

Деталь становится возможно использовать неоднократно. Многократно использовать деталь дает возможность нанесение металла на несущие поверхности с дальнейшей их механической обработкой.

2.2. Восстановление деталей слесарно-механической обработкой

2.2.1. Обработка деталей под ремонтный размер

Если термически обработанный поверхностный слой детали при механической обработке детали во время изменения ее размера не будет утрачен, то обработка поверхностей детали под ремонтный размер может считаться эффективной. Дефекты поверхности у дорогостоящей детали соединения ликвидируются механической обработкой до заданного ремонтного размера (к примеру, шейки коленчатого вала), а другую (более простую и менее дорогостоящую деталь) замещают новой надлежащего размера (вкладыши). При этом поверхности детали, образующие посадку, будут обладать размерами, отличными от первоначальных, а соединению будет придана первоначальная посадка (зазор или натяг). При сохранении качества исправленных блоков цилиндров и шатунов использование вкладышей ремонтного размера (увеличенных на 0,5 мм) даст возможность уменьшить трудоемкость и цену ремонта.

Завод-изготовитель определяет ремонтные размеры детали и допуски на них.

Восстановление деталей под ремонтные размеры характеризуется:

- простотой и доступностью;
- малой трудоемкостью (в 1,5 – 2,0 раза меньше, чем при сварке и наплавке);
- значительной экономической эффективностью;
- сохранением взаимозаменяемости деталей в пределах ремонтного размера.

Недостатки способа восстановления деталей под ремонтные размеры:

- увеличение номенклатуры запасных частей;
- усложнение организации процессов хранения деталей на складе;
- усложнение комплектования и сборки.

Очередной ремонтный размер (рис. 2.3.) для вала (знак «-») и отверстия (знак «+») определяют по формуле

$$D_i = D_n \pm 2 \cdot i \cdot (\beta \cdot I_{\max} + Z), \quad (2.1)$$

где D_i – i -й ремонтный размер, мм; D_n – номинальный размер, мм; i – номер ремонтного размера; β – коэффициент неравномерности износа; I_{\max} – максимальный односторонний износ, мм; Z – припуск на механическую обработку на сторону, мм.

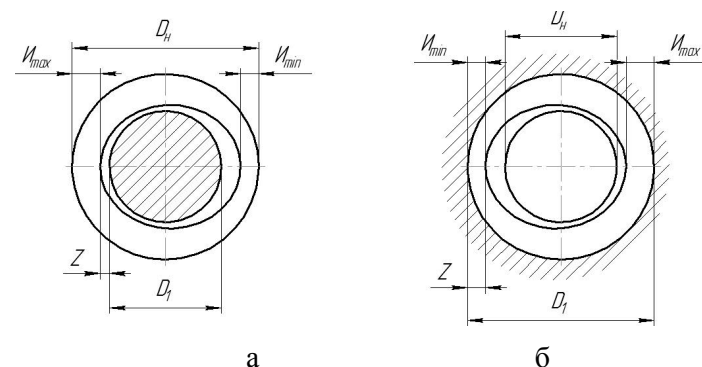


Рис. 2.3. Схема к расчету ремонтных размеров:
а – для вала; б – для отверстия

$$\beta = \frac{I_{\max}}{I_{\max} - I_{\min}}, \quad (2.2)$$

где I_{\min} – минимальный односторонний износ, мм.

Число ремонтных размеров:

• для вала
$$n = \frac{D_n}{I_{\max} - I_{\min}}, \quad (2.3)$$

• для отверстия
$$n = \frac{D_{\max} - D_n}{\gamma}, \quad (2.4)$$

где D_{\min} , D_{\max} – соответственно минимально допустимый диаметр для вала и максимально допустимый диаметр для отверстия, определяемые из условия прочности или нарушения толщины термообработанного слоя; γ – ремонтный интервал.

Ремонтный интервал зависит:

- от величины износа поверхности детали за межремонтный пробег автомобиля;
- от допуска на механическую обработку.

Соответствующими руководствами по ремонту и техническими условиями должны быть регламентированы значения ремонтных интервалов.

2.2.2. Постановка дополнительной ремонтной детали

Для восстановления резьбовых и гладких отверстий в корпусных деталях, шеек валов и осей, зубчатых зацеплений, изношенных плоскостей применяют способ дополнительных ремонтных деталей (ДРД).

Изношенная поверхность при восстановлении детали обрабатывается под больший (*отверстие*) или меньший (*вал*) размер и на нее устанавливается специально изготовленная ДРД: ввертыш, втулка, насадка, компенсирующая шайба или планка (рис. 2.4).

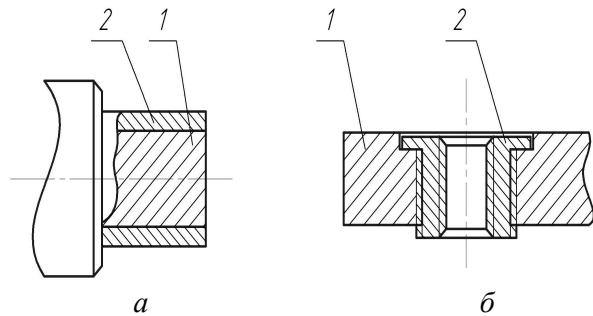


Рис. 2.4. Восстановление изношенных шеек цапф (а), резьб (б) постановкой дополнительных деталей:
1 – изношенная деталь; 2 – дополнительная деталь

Крепление ДРД на основной детали производится напрессовкой с гарантированным натягом, приваркой, стопорными винтами, клевыми композициями, на резьбе. При выборе материала для дополни-

тельных деталей следует учитывать условия их работы и обеспечить срок службы до очередного ремонта. После установки рабочие поверхности дополнительных деталей обрабатываются под номинальный размер с соблюдением требуемой точности и шероховатости.

2.3. Восстановление деталей пластическим деформированием

Способ пластического деформирования основан на способности деталей изменять форму и размеры без разрушения путем перераспределения металла под давлением, т.е. основан на использовании пластических свойств металла деталей. Особенность способа – это перемещение металла с нерабочих поверхностей детали на изношенные рабочие поверхности при постоянстве ее объема. Пластическому деформированию могут подвергаться детали в холодном или нагретом состоянии в специальных приспособлениях на прессах.

Классификация способов восстановления деталей пластической деформацией представлена на рис. 2.5.

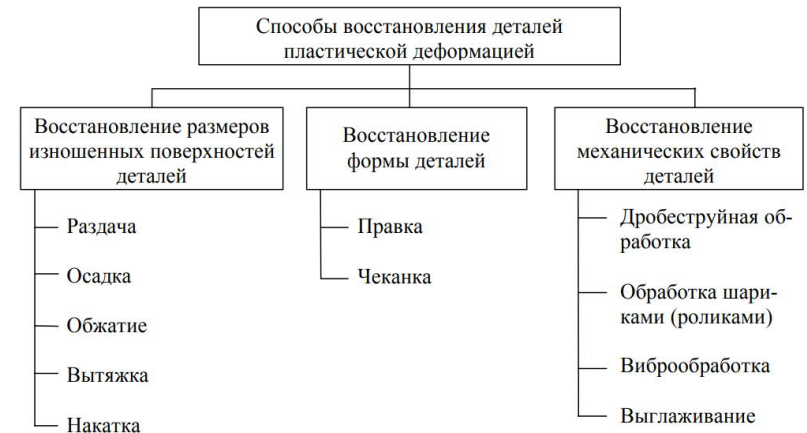


Рис. 2.5. Классификация способов восстановления деталей пластической деформацией

Процесс восстановления размеров деталей состоит из операций:

- подготовка – отжиг или отпуск обрабатываемой поверхности перед холодным или нагрев их перед горячим деформированием;

- деформирование – осадка, раздача, обжатие, вытяжка, правка, электромеханическая обработка и др.;
- обработка после деформирования – механическая обработка восстановленных поверхностей до требуемых размеров и при необходимости термическая обработка;
- контроль качества.

2.3.1. Восстановление размеров изношенных поверхностей деталей

Раздачу (рис. 2.6, а) применяют для увеличения наружного диаметра пустотелых деталей (втулки, поршневые пальцы) при практически неизменяемой ее высоте. Изменение наружного диаметра детали происходит за счет увеличения ее внутреннего диаметра. При раздаче через отверстие детали продавливают шарик (рис. 2.6, б) или специальную оправку (рис. 2.6, в). На увеличение диаметра влияют материал детали, температура раздачи, величина износа и размеры. При этом возможны укорочение детали и появление в ней трещин.

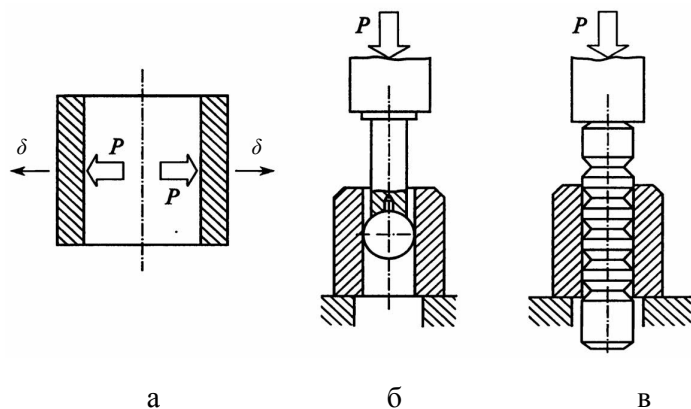


Рис. 2.6. Пластическое деформирование раздачей: а – принципиальная схема; б – объемная раздача шариком; в – объемная раздача оправкой

Осадку (рис. 2.7, а) используют для увеличения наружного диаметра сплошных и полых деталей, а также для уменьшения внутреннего диаметра полых деталей за счет сокращения их высоты

(бронзовые втулки и др.). Допускается уменьшение высоты втулок на 8 – 10%.

При осадке направление действия внешней силы P перпендикулярно к направлению деформации δ . Для сохранения формы отверстий, канавок и прорезей перед осадкой в них вставляют стальные вставки. Осадку втулок из цветных металлов производят в специальных приспособлениях гидравлическими прессами (рис. 2.7 б). В специальных штампах при нагреве до температурыковки осадкой восстанавливают шейки, расположенные на концах стальных валов.

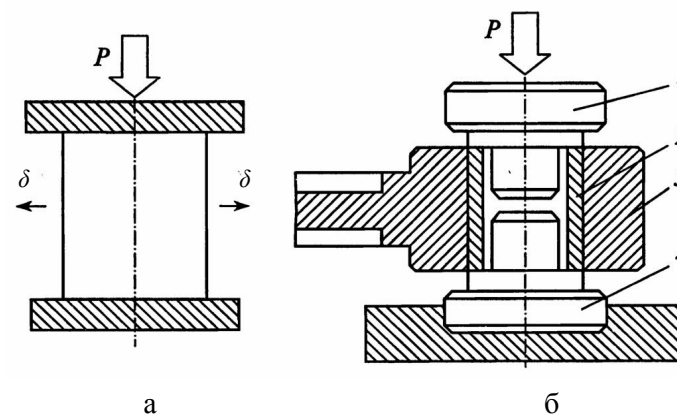


Рис. 2.7. Пластическое деформирование осадкой: а – принципиальная схема; б – осадка давлением втулки верхней головки шатуна; 1, 4 – оправки; 2 – втулка; 3 – шатун

Обжатием (рис. 2.8, а) восстанавливают детали с изношенными внутренними поверхностями за счет уменьшения наружных размеров, которые не имеют для них значения (корпуса насосов гидросистем, проушины рычагов, вилок). Обжатие осуществляют в холодном состоянии под прессом в специальном приспособлении (рис. 2.8. б). Втулку проталкивают через матрицу, которая имеет сужающее входное отверстие под углом $7 - 8^\circ$, калибрующую часть и выходное отверстие, расширяющееся под углом $18 - 20^\circ$. Калибрующая часть матрицы позволяет уменьшить внутренний диаметр детали на величину износа с учетом припуска на развертывание до требуемого размера. Наружный размер восстанавливают одним из способов наращивания.

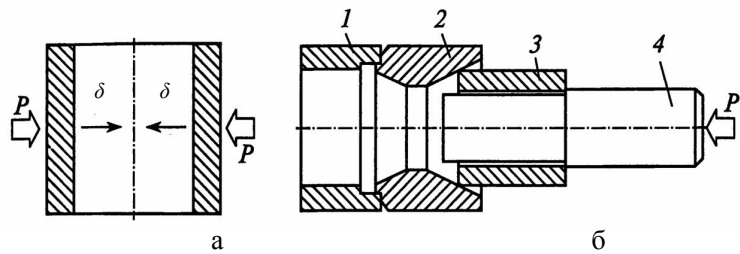


Рис. 2.8. Пластическое деформирование обжатием:
 а – принципиальная схема; б – приспособление для обжатия втулок;
 1 – опорная втулка; 2 – матрица; 3 – восстанавливаемая втулка;
 4 – оправка

Вытяжка (рис. 2.9) применяется для увеличения длины детали за счет местного сужения ее поперечного сечения на небольшом участке. Вытяжку применяют для удлинения на небольшую величину различных тяг, рычагов, стержней в горячем состоянии. Технологический процесс вытягивания включает: нагрев, ударное (на молотах) или статическое деформирование (на прессах), термическую и механическую обработку.

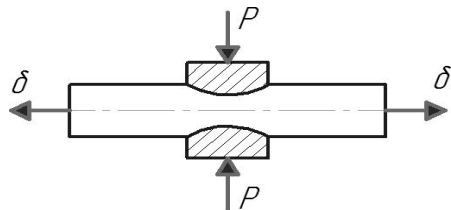


Рис. 2.9. Пластическое деформирование вытяжкой

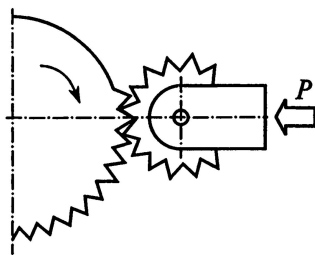


Рис. 2.10. Принципиальная схема пластического деформирования накаткой

Накатка основана на вытеснении рабочим инструментом материала с отдельных участков изношенной поверхности детали (рис.2.10). Способ позволяет увеличивать диаметр накатываемой поверхности детали на 0,3...0,4 мм и применяется для восстановления изношенных посадочных мест под подшипники качения. К типовым деталям, подлежащим ремонту объемной накаткой, относятся чашка коробки дифференциала, валы коробки передач, поворотные цапфы и т. п. Накатке подвергаются детали без термической обработки с обильной подачей индустриального масла. В качестве инструмента для накатки используют рифленый цилиндрический ролик или обойму с шариками, устанавливаемые на суппорте токарного станка.

2.3.2. Восстановление формы деталей

Во время эксплуатации у многих деталей появляются остаточные деформации: изгиб, скручивание, коробление и вмятины (*валы, оси, рычаги, рамы, балки и др.*). Для устранения этих дефектов используют правку. В зависимости от степени деформации и размеров детали применяют механический, термомеханический и термический способы правки.

При механической правке используют два способа: давлением и наклепом.

Механическая правка давлением может производиться в холодном состоянии или с нагревом. Правку в холодном состоянии осуществляют у валов диаметром до 200 мм в том случае, если величина (*стрела*) прогиба не превышает 1 мм на 1 м длины вала (рис. 2.11).

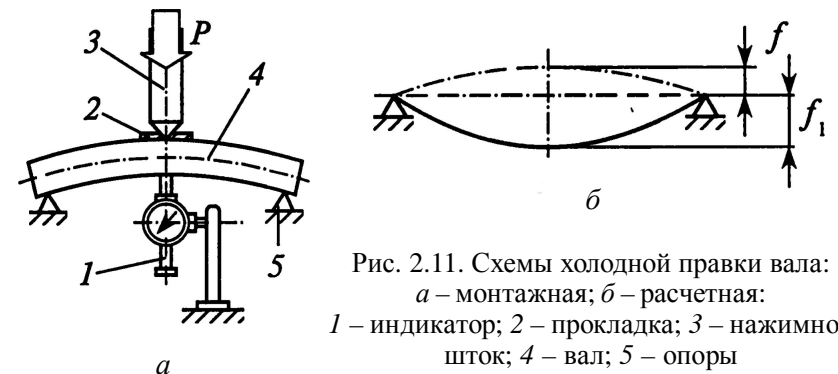


Рис. 2.11. Схемы холодной правки вала:
 а – монтажная; б – расчетная;
 1 – индикатор; 2 – прокладка; 3 – нажимной шток; 4 – вал; 5 – опоры

Для правки вал 4 ставят на призмы или опоры 5 винтового или гидравлического пресса выпуклой стороной вверх и перегибают нажимом штока 3 пресса через прокладку 2 из цветного сплава так, чтобы обратная величина прогиба f_1 была в 10...15 раз больше того прогиба f , который имел вал до правки. Точность правки контролируют индикатором 1.

Пресс выбирают по усилию правки, которое рассчитывают по формуле

$$P = \frac{6 = 6,8 \cdot \sigma_m \cdot d^3}{10^3 \cdot l}, \quad (2.5)$$

где P – усилие правки, кН; σ_m – предел текучести материала вала, МПа; d – диаметр сечения вала, м; l – расстояние между опорами, м.

Недостатки механической холодной правки – это опасность обратного действия, снижения усталостной прочности и несущей способности детали. Для повышения качества холодной правки применяют следующие способы: выдерживание детали под прессом в течение длительного времени; двойная правка детали, заключающаяся в первоначальном перегибе детали с последующей правкой в обратную сторону; стабилизация правки детали последующей термообработкой.

Механическая горячая правка производится при необходимости устранения больших деформаций детали и осуществляется при температуре 600...800 °С.

Правка наклепом (*чеканкой*) не имеет недостатков, присущих правке давлением. Она обладает простотой и небольшой трудоемкостью. При правильной чеканке достигаются: высокое качество правки детали, которое определяется стабильностью ее во времени; высокая точность правки (до 0,02 мм); отсутствие снижения усталостной прочности детали; возможность правки за счет ненагруженных участков детали (рис. 2.12).

В качестве инструмента для чеканки применяются пневматические или ручные молотки. От наносимых ударов в поверхностном слое детали возникают местные напряжения сжатия, которые вызывают устойчивую деформацию детали. Продолжительность правки зависит от материала детали, энергии удара и конструкции ударного бойка.

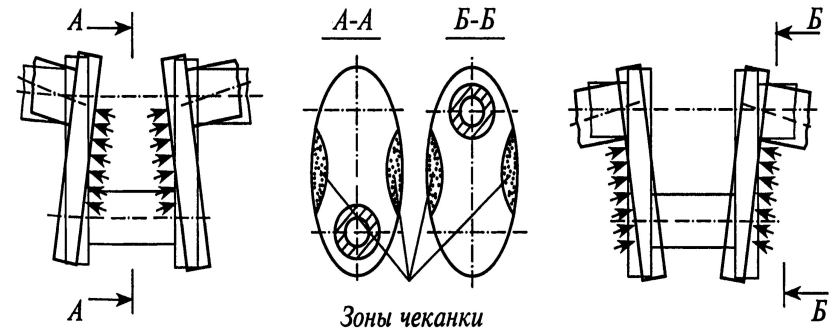


Рис. 2.12. Правка коленчатого вала наклепом (*чеканкой*)

2.3.3. Восстановление механических свойств деталей

Многие детали автомобилей при их восстановлении различными методами компенсации износа утрачивают свою первоначальную усталостную прочность и износостойкость. Восстановить эти утраченные свойства можно путем поверхностного пластического деформирования металла (наклепа).

Наклеп повышает твердость поверхностного слоя металла и создает в нем благоприятные остаточные напряжения. Благодаря такой обработке повышаются усталостная прочность деталей и износостойкость.

К числу наиболее распространенных способов упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием относятся: обкатка рабочих поверхностей деталей роликами и шариками, чеканка, алмазное выглаживание, дробеструйная обработка и др.

Обкатка роликами и шариками применяется для упрочнения наружных и внутренних поверхностей деталей. Обкатывание наружных поверхностей производится на токарных станках при помощи специального инструмента – накатки, который устанавливается на суппорте станка и прижимается к детали за счет поперечной подачи. При такой обработке достигаются требуемая точность размеров деталей, высокое качество обработки с шероховатостью не ниже $Ra = 0,16...0,32$ мкм и повышается на 20...30% усталостная прочность.

К числу весьма эффективных методов упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием относится алмазное выглаживание. Сущность процесса алмазного выглаживания заклю-

чается в обработке поверхностного слоя детали инструментом, рабочей частью которого является сферическая поверхность алмазного кристалла с радиусом закругления 1...3 мм. Алмаз устанавливается в наконечнике, который входит в пружинную оправку, закрепленную в резцедержателе суппорта токарного станка.

При восстановлении пружин, рессор, торсионных валов с целью повышения их усталостной прочности применяют дробеструйную обработку механическими или пневматическими дробеметами.

2.4. Восстановление деталей сваркой и наплавкой

Сварка – способ получения неразъемного соединения с помощью сварного шва. Сваркой устраняют механические повреждения (трещины, пробоины) и закрепляют ДРД. Соединяемые поверхности заготовок при большинстве видов сварки нагревают до плавления.

Наплавка – способ нанесения покрытий, включающий нагрев до плавления присадочного металла и восстанавливаемой поверхности пламенем, дугой или другим источником тепла, перенос жидкого металла на оплавленную поверхность и его кристаллизацию.

На сварку и наплавку приходится от 40 до 80% всех восстановленных деталей.

Такое широкое распространение этих способов обусловлено:

- простотой технологического процесса и применяемого оборудования;
- возможностью восстановления деталей из любых металлов и сплавов;
- высокой производительностью и низкой себестоимостью;
- получением на рабочих поверхностях деталей наращиваемых слоев практически любой толщины и химического состава (*антифрикционные, кислотно-стойкие, жаропрочные и т.д.*).

Нагрев до температуры плавления материалов, участвующих при сварке и наплавке, приводит к возникновению вредных процессов, которые оказывают негативное влияние на качество восстанавливаемых деталей. К ним относятся металлургические процессы, структурные изменения, образование внутренних напряжений и деформаций в основном металле деталей.

В процессе сварки и наплавки происходит окисление металла, выгорание легирующих элементов, насыщение наплавленного металла азотом и водородом, разбрызгивание металла.

Соединение наплавленного металла с кислородом воздуха является причиной его окисления и выгорания легирующих элементов (углерода, марганца, кремния и др.). Кроме этого, из воздуха в наплавленный металл проникает азот, который является источником снижения его пластичности и повышения предела прочности. Для защиты от этих отрицательных явлений при сварке и наплавке используют электродные обмазки, флюсы, которые при плавлении образуют шлак, предохраняющий возможный контакт металла с окружающей средой. С этой же целью применяют и защитные газы.

В технологический процесс восстановления деталей сваркой и наплавкой входят следующие операции: подготовка деталей к сварке или наплавке, выполнение сварочных или наплавочных работ, обработка деталей после выполнения сварочных или наплавочных работ.

2.4.1. Ручная сварка и наплавка плавящимися электродами

Процесс восстановления детали посредством ручной наплавки представлен на рис. 2.13.

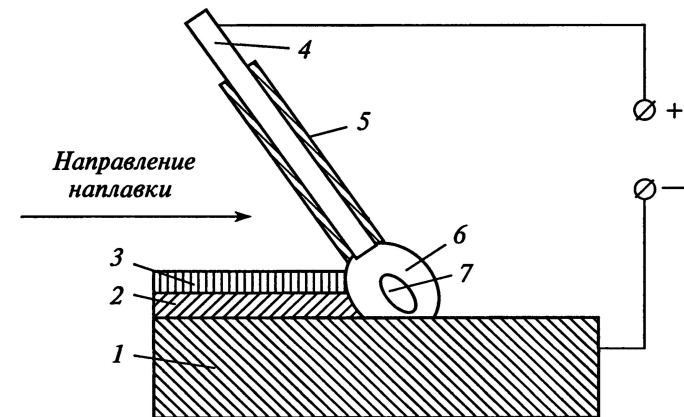


Рис. 2.13. Схема ручной наплавки:

- 1 – основной металл; 2 – наплавленный валик; 3 – шлаковая корка;
4 – электродный стержень; 5 – покрытие электродного стержня;
6 – газшлаковая защита; 7 – сварочная ванна

Параметры наплавки – это сила тока, напряжение и скорость наплавки. Для получения минимальной глубины проплавления основно-

го металла электрод наклоняют в сторону, обратную направлению наплавки.

Ручная сварка и наплавка используются для устранения трещин, вмятин, пробоин, изломов и т.д.

Для сварки используют электроды, обозначаемые буквой «Э» с двузначной цифрой через дефис, например: Э-42. Цифра показывает прочность сварочного шва на разрыв.

Наплавочные электроды обозначают двумя буквами «ЭН» и цифрами, которые показывают гарантированную твердость наплавленного данным электродом слоя.

Каждому типу электрода соответствует несколько марок составов обмазок. По входящим в них веществам все электродные покрытия разделяют на:

- рудно-кислородное – Р;
- рутиловое – Т;
- фтористо-кальциевое – Ф;
- органическое – О.

2.4.2. Газовая сварка и наплавка

Сущность процесса – это расплавление свариваемого и присадочного металла пламенем, которое образуется при сгорании горючего газа в смеси с кислородом. В качестве горючего газа используют ацетилен, что позволяет обеспечить температуру пламени 3100 – 3300 °С. Ацетилен получают с помощью ацетиленовых генераторов, а кислород сохраняют и транспортируют в стальных баллонах вместимостью 40 л под давлением 15 МПа.

Сварку и наплавку осуществляют сварочными горелками. Мощность пламени характеризуется массовым расходом ацетилена, зависящим от номера наконечника горелки. Расход кислорода на 10 – 20% больше, чем ацетилена.

При ручной сварке пламя направляют на свариваемые кромки так, чтобы они находились в восстановительной зоне на расстоянии 2–6 мм от конца ядра. Конец присадочной проволоки также держат в восстановительной зоне или в сварочной ванне.

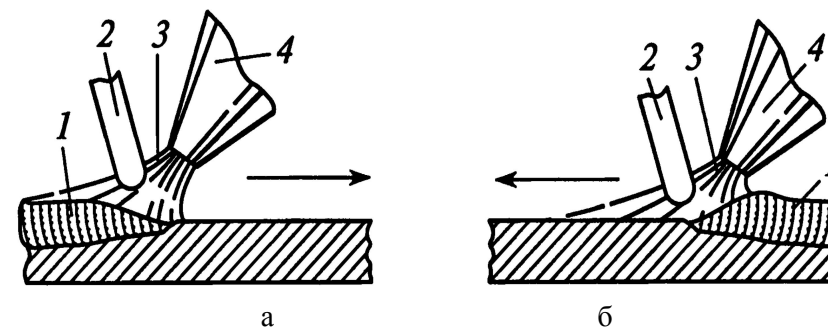


Рис. 2.14. Основные способы газовой сварки: а – правый способ сварки; б – левый способ сварки; 1 – формирующий шов; 2 – присадочный пруток; 3 – пламя горелки; 4 – горелка

Существуют два основных способа газовой сварки (рис. 2.14):

1. Правый. Процесс сварки ведется слева направо, горелка перемещается впереди присадочного прутка, а пламя направлено на формирующийся шов. В результате происходит хорошая защита сварочной ванны от воздействия атмосферного воздуха и замедленное охлаждение сварного шва. Такой способ позволяет получить швы высокого качества. Применяют при сварке металла толщиной более 5 мм. Этим способом легче сваривать потолочные швы.

2. Левый. Процесс сварки выполняют справа налево, горелка перемещается за присадочным прутком, а пламя направляется на несваренные кромки и подогревает их, подготавливая к сварке. Пламя свободно растекается по поверхности металла, что снижает опасность его пережога. Этим способом осуществляют сварку вертикальных швов снизу-вверх.

2.4.3. Дуговая наплавка под флюсом

Способ широко применяется для восстановления цилиндрических и плоских поверхностей деталей. Это механизированный способ наплавки, при котором совмещены два основных движения электрод – его подача по мере оплавления к детали и перемещение вдоль сварочного шва (рис. 2.15).

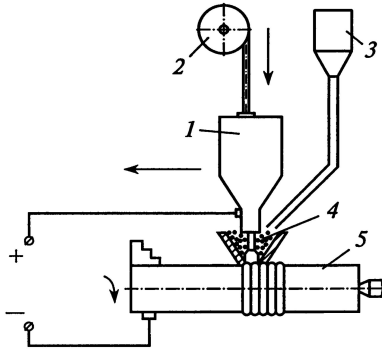


Рис. 2.15. Схема автоматической дуговой наплавки под флюсом:
1 – патрон; 2 – кассета; 3 – бункер; 4 – флюс; 5 – деталь

Сущность способа наплавки под флюсом заключается в том, что в зону горения дуги автоматически подаются сыпучий флюс и электродная проволока. Под действием высокой температуры образуется газовый пузырь, в котором существует дуга, расплавляющая металл. Часть флюса плавится, образуя вокруг дуги эластичную оболочку из жидкого флюса, которая защищает расплавленный металл от окисления, уменьшает разбрызгивание и угар. При кристаллизации расплавленного металла образуется сварочный шов.

Преимущества способа:

- возможность получения покрытия заданного состава, т. е. легирования металла через проволоку и флюс и равномерного по химическому составу и свойствам;
- защита сварочной дуги и ванны жидкого металла от вредного влияния кислорода и азота воздуха;
- выделение растворенных газов и шлаковых включений из сварочной ванны в результате медленной кристаллизации жидкого металла под флюсом;
- возможность использования повышенных сварочных токов, которые позволяют увеличить скорость сварки, что способствует повышению производительности труда в 6...8 раз;
- экономичность в отношении расхода электроэнергии и электродного металла;
- отсутствие разбрызгивания металла благодаря статическому давлению флюса;

- возможность получения слоя наплавленного металла большой толщины (1,5...5 мм и более);
- независимость качества наплавленного металла от квалификации исполнителя;
- лучшие условия труда сварщиков ввиду отсутствия ультрафиолетового излучения;
- возможность автоматизации технологического процесса.

Недостатки способа:

- значительный нагрев детали;
- невозможность наплавки в верхнем положении шва и деталей диаметром менее 40 мм из-за стекания наплавленного металла и трудности удержания флюса на поверхности детали;
- сложность применения для деталей сложной конструкции, необходимость и определенная трудность удаления шлаковой корки;
- возможность возникновения трещин и образования пор в наплавленном металле.

При наплавке сварку обычно ведут постоянным током обратной полярности. Напряжение сварочной дуги задают в пределах 25...35 В, скорость наплавки составляет 20...25 м/ч, подачи проволоки – 75...180 м/ч.

Для наплавки используют электродную проволоку: для низкоуглеродистых и низколегированных сталей – из малоуглеродистых (Св-08, Св-08А), марганцовистых (Св-08Г, Св-08ГА, Св-15Г) и кремний-марганцовистых (Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС) сталей; с большим содержанием углерода – Нп-65Г, Нп-80, Нп-30ХГСА, Нп-40Х13 и др.

В зависимости от способа изготовления флюсы для автоматической наплавки делят на плавленые, керамические и флюсы-смеси. Из плавленых флюсов наиболее распространены АН-348А, АН-60, ОСу-45, АН-20, АН-28.

Керамические флюсы (АНК-18, АНК-19, АНК-30, КС-Х14Р, ЖСН-1), кроме стабилизирующих и шлакообразующих элементов, содержат легирующие добавки, главным образом в виде ферросплавов (*феррохрома, ферротитана и др.*), дающие слою, наплавленному малоуглеродистой проволокой, высокую твердость без термобработки и износостойкость.

Флюсы-смеси состоят из плавленого флюса АН-348 с порошками феррохрома, графита, а также жидкого стекла.

2.4.4. Наплавка в среде углекислого газа

Этот способ восстановления деталей отличается от наплавки под флюсом тем, что в качестве защитной среды используется углекислый газ.

Сущность способа наплавки в среде углекислого газа заключается в том, что электродная проволока из кассеты непрерывно подается в зону сварки (рис. 2.16). Ток к электродной проволоке подводится через мундштук и наконечник, расположенные внутри газозащитной горелки. При наплавке металл электрода и детали перемешивается. В зону горения дуги под давлением 0,05 – 0,2 МПа по трубке подается углекислый газ, который, вытесняя воздух, защищает расплавленный металл от вредного действия кислорода и азота воздуха.

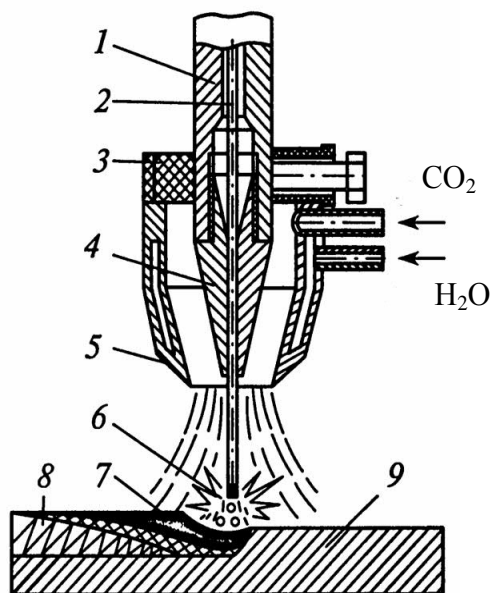


Рис. 2.16. Схема наплавки в среде углекислого газа:

1 – мундштук; 2 – электродная проволока; 3 – горелка;
4 – наконечник; 5 – сопло горелки; 6 – электрическая дуга;

7 – сварочная ванна; 8 – наплавленный металл; 9 – наплавляемая деталь

При наплавке используют токарный станок, в патроне которого устанавливают деталь 8, на суппорте крепят наплавочный аппарат 2

(рис. 2.17). Углекислый газ из баллона 7 подается в зону горения. При выходе из баллона 7 газ резко расширяется и переохлаждается. Для подогрева его пропускают через электрический подогреватель 6. Содержащуюся в углекислом газе воду удаляют с помощью осушителя 5, который представляет собой патрон, наполненный обезвоженным медным купоросом или силикагелем. Давление газа понижают с помощью кислородного редуктора 4, а расход его контролируют расходомером 3.

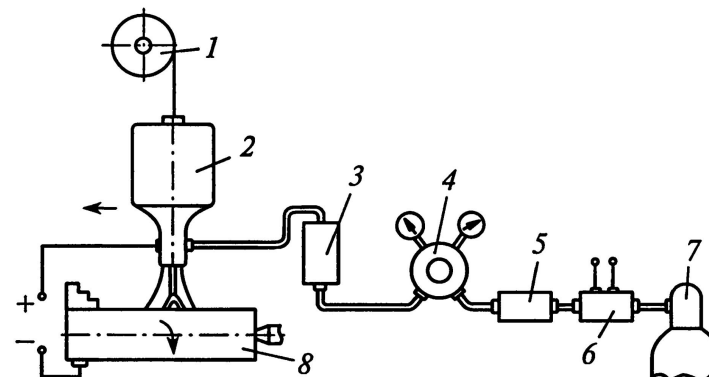


Рис. 2.17. Схема установки для дуговой наплавки в углекислом газе:
1 – кассета с проволокой; 2 – наплавочный аппарат; 3 – расходомер;
4 – редуктор; 5 – осушитель; 6 – подогреватель; 7 – баллон с углекислым газом; 8 – деталь

К **достоинствам** способа относятся:

- меньший нагрев деталей;
- возможность наплавки при любом пространственном положении детали;
- более высокая по площади покрытия производительность процесса (на 20 – 30%);
- возможность наплавки деталей диаметром менее 40 мм;
- отсутствие трудоемкой операции по отделению шлаковой корки.

К **недостаткам** способа относятся:

- повышенное разбрызгивание металла (5–10%);
- необходимость применения легированной проволоки для получения наплавленного металла с требуемыми свойствами;
- открытое световое излучение дуги.

2.4.5. Электродуговая наплавка неплавящимся электродом (вольфрамовым) в среде аргона

Этот способ наплавки широко используется для восстановления алюминиевых сплавов и титана. Сущность способа – электрическая дуга горит между неплавящимся вольфрамовым электродом и деталью. В зону сварки подается защитный газ – аргон, а присадочный материал – проволока (так же, как при газовой сварке). Аргон надежно защищает расплавленный металл от окисления кислородом воздуха. Наплавленный металл получается плотным, без пор и раковин. Добавление к аргону 10-12% углекислого газа и 2-3% кислорода способствует повышению устойчивости горения дуги и улучшению формирования наплавленного металла. Благодаря защите дуги струями аргона (внутренняя) и углекислого газа (наружная) в 3-4 раза сокращается расход аргона при сохранении качества защиты дуги.

К **преимуществам** способа относятся:

- высокая производительность процесса (в 3 – 4 раза выше, чем при газовой сварке);
- высокая механическая прочность сварного шва;
- небольшая зона термического влияния;
- снижение потерь энергии дуги на световое излучение, так как аргон задерживает ультрафиолетовые лучи.

К **недостаткам** способа относятся:

- высокая стоимость процесса (в 3 раза выше, чем при газовой сварке);
- использование аргона.

Режим сварки определяется двумя основными параметрами: силой тока и диаметром электрода. Силу сварочного тока выбирают исходя из толщины стенки свариваемой детали.

2.4.6. Вибродуговая наплавка

Этот способ наплавки является разновидностью дуговой наплавки металлическим электродом. Процесс наплавки осуществляется при вибрации электрода с подачей охлаждающей жидкости на наплавленную поверхность (рис. 2.18).

К **преимуществам** способа относятся:

- небольшой нагрев деталей;
- небольшая зона термического влияния;
- высокая производительность процесса;
- возможность получать наплавленный слой без пор и трещин; минимальная деформация детали, которая не превышает полей допусков посадочных мест.

К **недостаткам** способа относят снижение усталостной прочности деталей после наплавки на 30 – 40%.

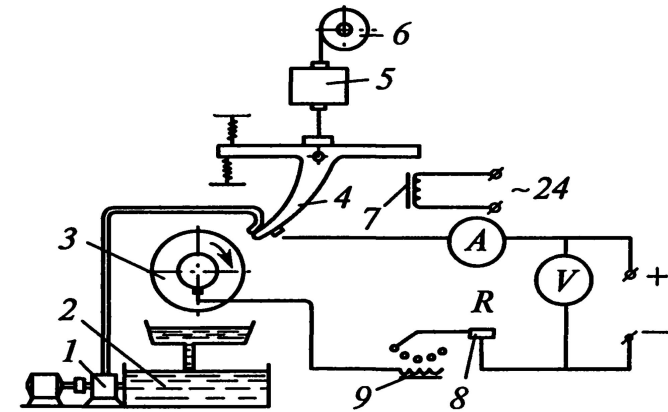


Рис. 2.18. Схема установки для вибродуговой наплавки: 1 – насос; 2 – бак; 3 – деталь; 4 – мундштук; 5 – механизм подачи; 6 – кассета; 7 – вибратор; 8 – реостат; 9 – дроссель

2.4.7. Плазменно-дуговая сварка и наплавка

Плазменная струя представляет собой частично или полностью ионизированный газ, обладающий свойствами электропроводности и имеющий высокую температуру. Она создается дуговым разрядом, размещенным в узком канале специального устройства, при обдуве электрической дуги потоком плазмообразующего газа. Устройства для получения плазменной струи получили название плазмотронов или плазменных горелок (рис. 2.19).

Для получения плазменной струи между катодом и анодом возбуждают электрическую дугу от источника постоянного напряжения 80–100 В. Электрическая дуга, горящая между катодом и анодом,

нагревает подаваемый в плазматрон газ до температуры плазмы, т. е. до состояния электропроводности. В поток нагретого газа вводится материал для сварки и наплавки. Образующиеся расплавленные частицы материала выносятся потоком горячего газа из сопла и наносятся на поверхность изделия.

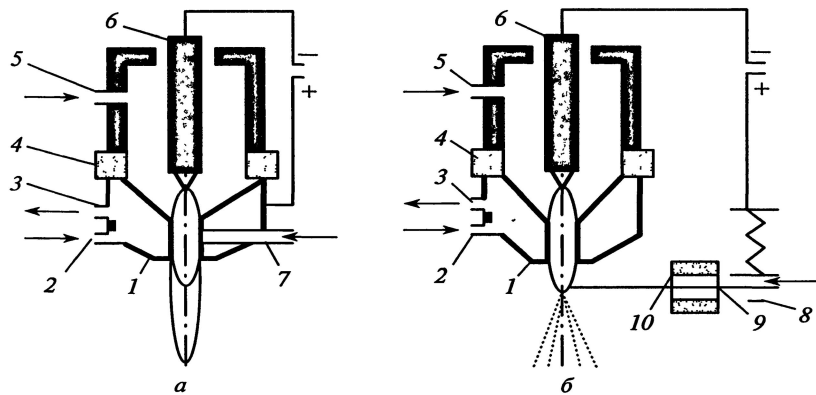


Рис. 2.19. Схема плазматрона:

а – для работы на порошках; *б* – для работы на проволоке; 1 – сопло плазменной струи (анод); 2, 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

В качестве плазмообразующих газов используют аргон и азот. Аргонная плазма имеет более высокую температуру – 15 000 – 30 000 °С, температура азотной плазмы ниже – 10 000 – 15 000 °С.

2.5. Восстановление деталей напылением

Напыление материала включает его нагрев, дробление, перенос и удар частиц о восстанавливаемую поверхность или покрытие, их деформирование и закрепление. При напылении частицы материала нагреваются за счет теплообмена с высокотемпературной средой, разгоняются струей движущегося газа, достигают поверхности заготовки, имея большой запас тепловой и кинетической энергии. Эта энергия расходуется на деформирование и закрепление частиц

покрытия. Соединение металлических частиц с поверхностью заготовки в основном механическое, за специально подготовленный профиль, например, в виде «рваной» резьбы. Имеются силы молекулярного взаимодействия и металлической связи.

Достоинства процесса: высокая производительность, небольшой нагрев заготовки (150...200 °С), высокая износостойкость покрытий, возможность регулирования в широких пределах химического и фазового составов материала покрытий, возможность нанесения покрытий из металлов, сплавов, оксидов, нитридов, карбидов и пластмасс необходимой толщины на различные материалы (в том числе на неметаллы).

К **недостаткам** процесса относят невысокую адгезионную и когезионную прочность покрытий по сравнению с прочностью монолитного металла.

Процесс напыления применяют для восстановления, упрочнения и коррозионной защиты поверхностей. При восстановлении деталей напыляют коренные опоры блоков цилиндров, плоскости головок цилиндров из алюминиевого сплава, шейки коленчатых валов из высокопрочного чугуна, юбки поршней и другие элементы. Процесс включает в себя: очистку, предварительную обработку резанием и дробеструйную обработку восстанавливаемой поверхности, закрытие невозстанавливаемых поверхностей экранами и нанесение покрытия. В зависимости от вида энергии, расходуемой на нагрев и перемещение частиц материала, различают напыление следующих видов: электродуговое, индукционное, газопламенное, плазменное, детонационное и др.

2.5.1. Электродуговое напыление

Электродуговое напыление (рис. 2.20) основано на плавлении двух проволок электрической дугой, ускорении и дроблении капель расплавленного металла струей сжатого воздуха, который подают в зону электродугового разряда.

Покрытия наносят ручными аппаратами ЭМ-3, ЭМ-9 и ЭМ-14 и станочными ЭМ-6, МЭС-1 и ЭМ-12. В ручных аппаратах проволоку подают в зону плавления воздушной турбиной, в станочных – электродвигателем.

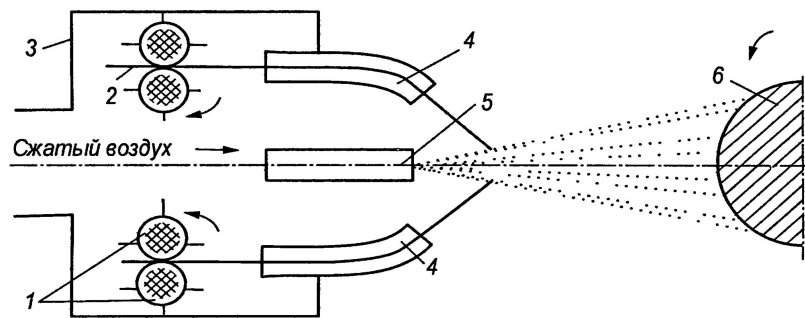


Рис. 2.20. Схема аппарата для электродугового напыления: 1 – ролики подающие; 2 – проволока; 3 – электрические провода; 4 – направляющие; 5 – сопло; 6 – заготовка

Электродуговое напыление отличается большой производительностью. Температура электрической дуги достаточна для нанесения покрытий из тугоплавких металлов. Если в качестве электродов применяют проволоки из различных металлов, то получают покрытие из их сплава. Оборудование для электродугового напыления простое, а эксплуатационные затраты небольшие, однако наблюдаются значительное выгорание легирующих элементов и повышенная пористость покрытия.

2.5.2. Индукционное напыление

Напыляемая проволока подается в индуктор, нагревается и расплавляется вихревыми токами в ее материале, возникающими за счет переменного магнитного поля.

Расплавленный металл распыляют сжатым воздухом. Головка индукционного аппарата (рис. 2.21) кроме высокочастотного индуктора имеет концентратор тока, который обеспечивает нагрев конца проволоки.

Высокочастотное напыление предназначено только для стационарных работ, так как подвод электроэнергии осуществляется от мощных генераторов ТВЧ, используемых для поверхностной закалки.

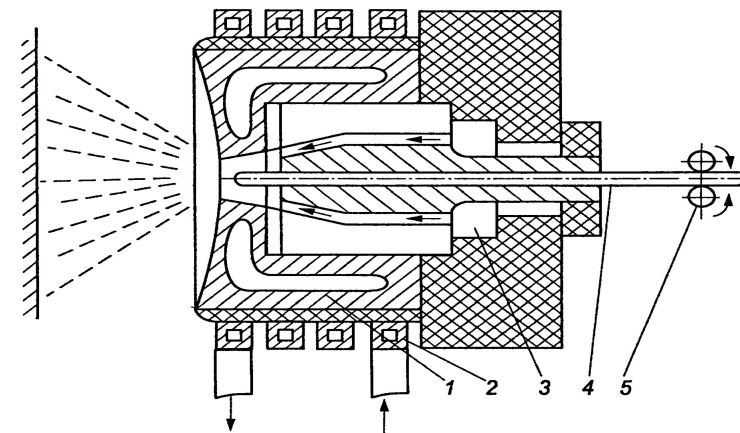


Рис. 2.21. Устройство для индукционного напыления: 1 – концентратор тока; 2 – индуктор; 3 – воздушный канал; 4 – проволока; 5 – ролики подающие

Преимущества высокочастотного напыления:

- небольшое окисление металла;
- относительно высокая механическая прочность покрытия.

Недостатки:

- недостаточная производительность процесса;
- сложность конструкции;
- высокая стоимость оборудования и энергоносителей.

2.5.3. Газопламенное напыление

При газопламенном напылении высокотемпературный поток создается при сгорании горючих газов (ацетилена, водорода, метана и др.) в атмосфере кислорода или воздуха. Температура пламени горючих газов в смеси с кислородом 2000 – 3200 °С, в смеси с воздухом – 500 – 900 °С.

Аппараты для газопламенного напыления в зависимости от вида напыляемого материала существуют двух типов: проволоочные и порошковые (рис. 2.22).

Преимущества газопламенного напыления – высокая дисперсность распыляемых частиц, независимость от источника тока, простота обслуживания, низкая стоимость оборудования.

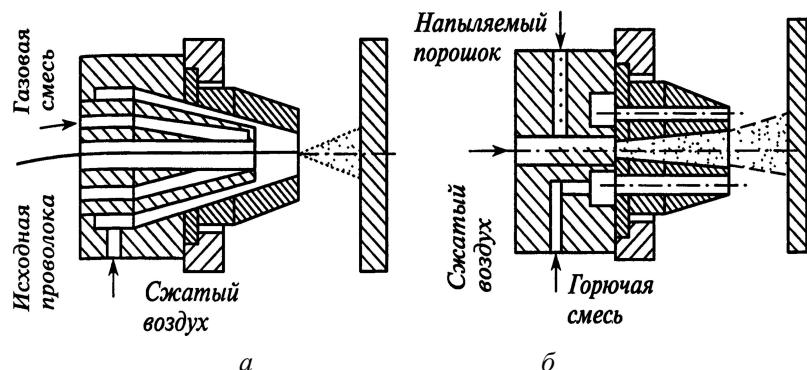


Рис. 2.22. Схема процессов газопламенного напыления с применением исходного материала:
а – в виде проволоки или стержней; *б* – в виде порошков

Недостатки – малая производительность и большая стоимость напыляемых материалов.

Основа процесса газопламенного нанесения материалов – пластификация порошка в высокотемпературном источнике тепла (ацетиленокислородном пламени) и нанесение его газовыми потоками на предварительно подготовленную изношенную поверхность.

Преимущества газопламенного нанесения порошковых материалов состоят в локальности обработки, незначительном влиянии на подложку, возможности нанесения покрытий на изделия больших размеров, отсутствии ограничений на сочетания материалов покрытия и подложки, что позволяет охватить большую номенклатуру восстановления изношенных деталей.

Технологический процесс газопламенного нанесения покрытий:

- нагрев поверхности детали до 200 – 250°С;
- нанесение подслоя, который дает основу, необходимую для наложения основных слоев;
- нанесение основных слоев, позволяющих получить покрытия с необходимыми физико-механическими свойствами.

Газопламенному напылению подвергаются следующие детали:

- посадочные места – картер маховика;
- маховик;
- валы (ведущий, раздаточный, промежуточный, первичный, вторичный и т.д.);

- опоры коренных подшипников, посадочные отверстия под гильзу – блок цилиндров;
- посадочные пояски, опорные буртики – гильза цилиндров;
- опорные шейки – распределительный вал;
- нижняя головка – шатун;
- шейки под шарикоподшипники – вал редуктора;
- коренные и шатунные шейки – коленчатый вал.

2.5.4. Детонационное напыление

Детонационные покрытия формируются с помощью ударных волн, периодически инициируемых микровзрывами смеси кислорода и ацетилена.

Установка детонационного напыления (рис. 2.23) состоит из камеры сгорания, выполненной совместно с водоохлаждаемой трубкой-стволом 5, электрической свечи 2, газопроводом по кислороду и ацетилену 7, порошкового дозатора 4 и источника тока 3. Детали устанавливаются на мишени на расстоянии 70 – 150 мм от края створа детонационной пушки.

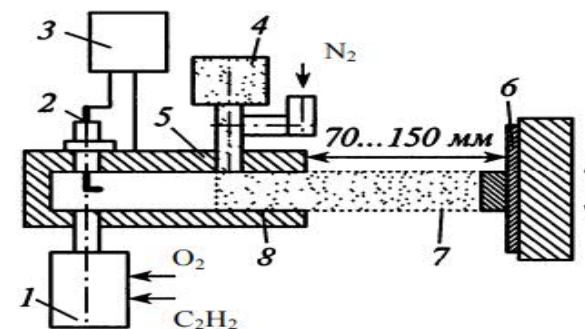


Рис. 2.23. Схема установки для нанесения детонационного покрытия:
1 – газопровод; *2* – электрическая свеча; *3* – источник тока;
4 – порошковый дозатор; *5* – трубка-ствол; *6* – подложка; *7* – покрытие;
8 – порошок

Технология нанесения покрытия заключается в следующем: подача кислорода и ацетилена в камеру сгорания; подача дозируемого количества напыляемого порошка из питателя в потоке азота; смесь

кислорода и ацетилена поджигается электрической искрой; взрыв (выделяется большое количество тепла); возрастание давления в трубке-стволе; выстрел порошка из трубки-ствола по направлению мишени.

В результате взрыва и после него в камеру непрерывно поступает азот, защищающий газовые клапаны от действия взрыва и очищающий от продуктов сгорания трубку-ствол и камеру сгорания.

Цикл взрыва длится 0,23 с, т.е. в секунду производится 3 – 4 взрыва.

Уровень шума при работе детонационной установки – 140 дБ, что выше предела, допустимого техникой безопасности (80 дБ). Поэтому установка помещается в звуконепроницаемую камеру и управляется оператором, находящимся за перегородкой.

Технологический процесс детонационного нанесения покрытий состоит из следующих операций:

- подготовка поверхности деталей перед нанесением покрытий;
- подготовка порошка;
- нанесение покрытий;
- контроль качества покрытий;
- механическая обработка;
- контроль качества покрытий после механической обработки.

2.6. Восстановление деталей гальваническими покрытиями

В авторемонтном производстве при восстановлении деталей нашли широкое применение гальванические и химические процессы. Они применяются для компенсации износа рабочих поверхностей деталей, а также при нанесении на детали противокоррозионных и защитно-декоративных покрытий.

Из гальванических процессов наиболее широко применяются хромирование и железнение, а также никелирование, цинкование и меднение. Применяются также химические процессы: химическое никелирование, оксидирование и фосфатирование.

Катодом при гальваническом осаждении металлов из электролитов является восстанавливаемая деталь, анодом – металлическая пластина.

Применяют два вида анодов: растворимые и нерастворимые. Растворимые аноды изготавливают из металла, который осаждается на детали, а нерастворимые – из свинца.

При прохождении постоянного тока через электролит на катоде разряжаются положительно заряженные ионы и, следовательно, выделяются металл и водород. На аноде при этом происходят разряд отрицательно заряженных ионов и выделение кислорода. Металл анода растворяется и переходит в раствор в виде ионов металла, взамен выделившихся на катоде.

Технологический процесс нанесения покрытий на детали включает в себя три группы операций: подготовку деталей к нанесению покрытия, нанесение покрытия и обработку деталей после покрытия.

2.6.1. Хромирование

Хромирование получило широкое распространение как для восстановления деталей и повышения их износостойкости, так и для декоративных и противокоррозионных целей.

Преимущества электролитического хрома:

- электролитический хром – металл серебристо-белого цвета с высокой микротвердостью 400 – 1200 МН/м² (в 1,5 – 2,0 раза выше, чем при закалке токами высокой частоты), близкой к микротвердости корунда;
- обладает высокой износостойкостью, особенно в абразивной среде (в 2 – 3 раза по сравнению с закаленной сталью);
- устойчивость в отношении химических и температурных воздействий, причем высокая коррозионная стойкость сочетается с красивым внешним видом;
- имеет низкий коэффициент трения (на 50% ниже, чем у стали и чугуна);
- высокая прочность сцепления покрытия с поверхностью детали.

Недостатки хромирования и хромового покрытия:

- низкий выход металла по току (8 – 42%);
- небольшая скорость отложения осадков (0,03 мм/ч);
- высокая агрессивность электролита;
- большое количество ядовитых выделений, образующихся при электролизе;
- толщина отложения покрытия практически не превышает 0,3 мм;
- гладкий хром плохо удерживает смазочное масло.

Указанные недостатки хромовых покрытий накладывают ограничение на максимально допустимую толщину слоя, которая не должна превышать 0,30 мм.

Электролитические осаждения хрома отличаются от других гальванических процессов, как по составу электролита, так и по условиям протекания процесса. Эти особенности состоят в следующем: в качестве электролита используют хромовую кислоту (водный раствор хромового ангидрида CrO_3) с небольшими добавками серной кислоты (H_2SO_4), а не растворы их солей, как при осаждении других металлов.

При хромировании используют нерастворимые аноды, изготовленные из сплава свинца с сурьмой (6%). Катодом, как обычно, при гальваническом процессе является деталь. В процессе хромирования на катоде происходит восстановление шестивалентного хрома (CrO_3) до трехвалентного (Cr_2O_3), отложение металлического хрома и выделение водорода. На аноде при этом протекают окислительные процессы: окисление трехвалентного хрома до шестивалентного и выделение кислорода.

Свойства хромовых покрытий зависят от режима хромирования, прежде всего от плотности тока и температуры электролита, изменяя которые, можно получить три вида хромовых покрытий, отличающихся своими свойствами: матовые (серые), блестящие и молочные.

Блестящий хром характеризуется высокой микротвердостью (600 – 900 МН/м²), мелкой сеткой трещин, видимой под микроскопом. Осадки хрупкие, но с высокой износостойкостью. Молочный хром характеризуется пониженной микротвердостью (400 – 600 МН/м²), пластичностью и высокой коррозионной стойкостью. Серый хром отличается весьма высокой микротвердостью (900 – 1200 МН/м²) и повышенной хрупкостью, что снижает его износостойкость.

Хромирование деталей производится в специальных ваннах, внутренняя поверхность которых покрывается кислотостойким материалом (рольным свинцом, винипластом). Ванна имеет водяную рубашку с паровым или электрическим подогревом электролита и бортовую вентиляцию для отсоса вредных испарений. На верхней поверхности бортов ванны устанавливают в изоляторах токопроводящие штанги, на которые при хромировании навешивают детали и анодные пластины.

Поддержание температуры электролита на требуемом уровне осуществляется терморегулятором. Применяются также устройства для автоматического регулирования плотности тока.

2.6.2. Железнение

Процесс железнения представляет собой осаждение металла на ремонтируемую поверхность детали в водных растворах солей железа.

По сравнению с процессом хромирования он имеет следующие преимущества:

- высокий выход металла по току, достигающий 85... 90% (в 5...6 раз выше, чем при хромировании);
- большую скорость нанесения покрытия, которая при ведении процесса в стационарном электролите достигает 0,3...0,5 мм/ч (в 10...15 раз выше, чем при хромировании);
- высокую износостойкость покрытия (не ниже, чем у закаленной стали 45);
- возможность получения покрытий толщиной в 1 ... 1,5 мм и более;
- применение простого и дешевого электролита.

В качестве электролита при железнении применяют водный раствор хлористого железа ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), содержащий небольшое количество соляной кислоты (HCl), и некоторые другие компоненты, которые вводят для повышения прочности сцепления покрытия с деталью (хлористый марганец $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) или для улучшения износостойкости (хлористый никель $\text{NiCl} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$).

Железнение производят с растворимыми анодами, которые изготавливают обычно из малоуглеродистой стали 08 или 10. При растворении анодов образуется шлам, поэтому во избежание загрязнения электролита аноды помещают в чехлы из стеклоткани.

Свойства железных покрытий так же, как и при хромировании, зависят от режима их нанесения. Твердость покрытия увеличивается с повышением катодной плотности тока и понижением температуры электролита.

Железнение проводят в стальных ваннах, внутренние стенки которых облицовывают кислотостойкими материалами (антегмитовая плитка АТМ-1, эмаль типа 105А, железокремниймолибденовый

сплав МФ-15, кислотостойкая резина, фторопласт-3, керамика, фарфор).

При восстановлении крупногабаритных деталей сложной конфигурации (блоки цилиндров, картеры коробок передач и задних мостов, коленчатые валы и другие) возникают трудности, связанные с изоляцией мест, не подлежащих покрытию (площадь их поверхности в десятки раз превышает покрываемую площадь), сложной конфигурацией подвесных устройств, необходимостью иметь ванны больших размеров, быстрым загрязнением электролитов и т.д. Для железнения таких деталей применяют вневаннный способ.

Принцип вневаннного железнения – в зоне нанесения покрытия создание местной ванны (электролитической ячейки) при сохранении традиционной технологии железнения. В этом случае непокрываемые поверхности не изолируют, уменьшается обеднение прикатодного слоя электролита и возможно увеличение плотности тока в несколько раз и, следовательно, повышение производительности процесса.

2.6.3. Защитно-декоративные покрытия

Гальванические покрытия широко применяют в авторемонтном производстве для защиты деталей от коррозии и придания им красивого внешнего вида. По роду защитного действия гальванические покрытия подразделяются на анодные и катодные.

При анодной защите менее электроотрицательный металл (*например, железо*) покрывается более электроотрицательным (*например, цинком*). В этих условиях цинк будет подвергаться коррозии, защищая тем самым от окисления железо.

При катодной защите на более электроотрицательный металл наносят менее электроотрицательный. Защитное действие катодных покрытий состоит в изоляции деталей от воздействия коррозионной среды. Механическое повреждение таких покрытий, как правило, ведет к увеличению коррозии деталей. Для стальных деталей катодными покрытиями являются никелевые, хромовые и медные.

Технологический процесс нанесения защитно-декоративных покрытий не отличается от процесса нанесения износостойких покрытий. Однако в процесс подготовки детали к покрытию и обработки ее после покрытия необходимо включить операцию полирования, которая производится войлочными кругами с пастой ГОИ.

Цинкование. Применяют главным образом для защиты деталей из черных металлов от коррозии. В ремонтном производстве его используют для защиты от коррозии крепежных материалов.

Покрытия осаждаются в ваннах или в специальных вращающихся барабанах или колоколах. Толщина цинковых покрытий 15 – 30 мкм.

Никелирование. Применяют для покрытия металлов – стали, меди, латуни, цинка, алюминия. Непосредственно никелем покрывают только медь и латунь, а остальные металлы – только после предварительного меднения. Никель применяют в качестве защитного покрытия перед декоративным хромированием. С помощью никелирования повышают износостойкость трущихся поверхностей деталей и восстанавливают их размеры.

Оксидирование. Оксидирование стальных деталей производится путем их обработки в горячих щелочных растворах, содержащих окислители. При этом на поверхности деталей образуется оксидная пленка толщиной 0,6...1,5 мкм, которая имеет высокую прочность и надежно защищает металл от коррозии. Оксидированию подвергают нормали и некоторые детали арматуры кузова.

2.7. Восстановление деталей пайкой

Пайкой называют процесс получения неразъемного соединения металлов, находящихся в твердом состоянии, при помощи расплавленного вспомогательного (*промежуточного*) металла или сплава (*припоя*), имеющего температуру плавления ниже, чем соединяемые металлы.

При ремонте автомобилей пайку применяют для устранения трещин и пробоин в радиаторах, топливных и масляных баках и трубопроводах, приборах электрооборудования и т.д.

Пайка как способ восстановления деталей имеет следующие преимущества:

- простота технологического процесса и применяемого оборудования;
- высокая производительность процесса;
- сохранение точной формы, размеров и химического состава деталей (а при пайке легкоплавкими припоями – сохранение структуры и механических свойств металла);

- простота и легкость последующей обработки, особенно после пайки тугоплавкими припоями; небольшой нагрев деталей (особенно при низкотемпературной пайке);
- возможность соединения деталей, изготовленных из разнородных металлов;
- достаточно высокая прочность соединения деталей;
- низкая себестоимость восстановления детали.

Основной недостаток пайки – некоторое снижение прочности соединения деталей по сравнению со сваркой.

Припой. В качестве припоев при пайке применяют как чистые металлы, так и их сплавы. По температуре плавления все припои подразделяются на низко и высокотемпературные. К низкотемпературным относятся припои с температурой плавления ниже 450 °С, к высокотемпературным – выше 450 °С.

Оловянно-свинцовые припои (ПОС-40, ПОС-61) относятся к низкотемпературным. Их температура плавления не более 280 °С. Они обладают достаточно высокой противокоррозионной стойкостью и высокими технологическими свойствами – прочность пайки этими припоями по пределу прочности на разрыв не превышает 50...80 МПа.

Медно-цинковые припои относятся к высокотемпературным. Их температура плавления 825...905 °С. Эти припои содержат от 36 до 65% меди (остальное – цинк). Они обеспечивают прочность пайки до 300...350 МПа и имеют высокие противокоррозионные свойства. К числу недостатков этих припоев относится возможность испарения цинка. Пары цинка интенсивно окисляются. Окись цинка вредна для здоровья работающих.

Медно-цинковые припои применяют при пайке стальных и чугунных деталей, а также деталей из меди и ее сплавов. Наибольшее распространение при ремонте автомобильных деталей получили припои ПМЦ-54, Л-63 и ЛОК-62-06-04, которые дают наиболее прочные паяные соединения.

Флюсы. Прочное соединение спаиваемых деталей может быть получено только в том случае, если с их поверхности будут удалены окислы. Освобождение спаиваемых поверхностей деталей от окислов и предохранение их от окисления в процессе пайки достигаются при помощи флюсов.

При пайке деталей оловянно-свинцовыми припоями в качестве флюса наиболее часто применяют водные растворы хлористых цин-

ка и аммония (*нашатыря*). При пайке деталей электрооборудования этими припоями рекомендуется применять бескислотные флюсы-канифоли, в которые иногда вводят активизирующие добавки (*хлористый цинк, хлористый аммоний и др.*), способствующие более интенсивному удалению окислов.

При пайке медно-цинковыми припоями в качестве флюса применяют буру или ее смесь с борной кислотой в соотношении 1:1. Для пайки серебряными припоями рекомендуется применять флюсы, состоящие из смеси фтористого калия, фторобората калия и борного ангидрида, которые имеют более низкую температуру плавления.

Технологический процесс паяния состоит из следующих операций:

– механической (шабером, напильником, шлифовальной шкуркой) или химической очистки. Промежуток между двумя поверхностями должен быть везде одинаков и не превышать 0,1 – 0,3 мм. Такой небольшой промежуток необходим для образования капиллярных сил, которые способствуют засасыванию припоя на значительную глубину от кромки. Если спаиваемые поверхности имеют следы жира или масла, то их обрабатывают горячим раствором щелочи. Обычно берут 10%-ный раствор соды. Если механически очистить детали по какой-либо причине нельзя, то применяют травление деталей в кислотах. Обычно берут 10%-ный раствор серной кислоты для меди и ее сплавов, а для деталей из черных металлов 10%-ный раствор соляной кислоты, причем раствор должен быть подогрет до 50 – 70 °С;

- покрытия флюсом;
- нагревания (паяльником, паяльной лампой и другим способом);
- предварительного облуживания припоем (паяльником, или нагретым, или погружением в припой). Предварительное облуживание имеет весьма важное значение, так как в этом случае достигаются повышенные прочность и плотность спая. В случае невозможности предварительного облуживания паяние ведут и по чистой поверхности, но результаты будут более низкими. Для предварительного облуживания применяется тот же припой, какой применяется и для последующего паяния;
- скрепления мест для спаивания, покрытия их флюсом и нагревания. Детали скрепляют, чтобы места соединений не расходились

при небольших механических воздействиях, например, при наложении паяльника;

- введения припоя, его расплавления и удаления излишков припоя, а также остатков флюса.

2.8. Восстановление деталей с применением синтетических материалов

Применение полимерных материалов при ремонте автомобилей по сравнению с другими способами позволяет снизить трудоемкость восстановления на 20...30%, себестоимость ремонта – на 15...20%, расход материалов – на 40...50%. Это обусловлено следующими особенностями их использования:

- не требуется сложного оборудования и высокой квалификации рабочих;
- возможностью восстановления деталей без разборки агрегатов;
- отсутствием нагрева детали;
- не вызывает снижения усталостной прочности восстановленных деталей;
- во многих случаях позволяет не только заменить сварку или наплавку, но и восстанавливать детали, которые другими известными способами восстановить невозможно или опасно с точки зрения безопасности труда;
- позволяет миновать сложные технологические процессы нанесения материала и его обработку.

Полимеры – высокомолекулярные органические соединения искусственного или естественного происхождения.

Пластмассы – композиционные материалы, изготовленные на основе полимеров, способные при заданных температуре и давлении принимать определенную форму, которая сохраняется в условиях эксплуатации. Кроме полимера, являющегося связующим веществом, в состав пластмассы входят: наполнители, пластификаторы, отвердители, ускорители, красители и др. добавки.

Полимеры делят на две группы:

- термопластичные (*термопласты*) – полиэтилен, полиамиды и другие материалы – при нагревании способны размягчаться и подвергаться многократной переработке;

- термореактивные (*реактопласты*) – эпоксидные композиции, текстолит и другие материалы – при нагревании вначале размягчаются, а затем в результате химических реакций затвердевают и необратимо переходят в неплавкое и нерастворимое состояние.

Пластмассы применяют для:

- восстановления размеров деталей;
- заделки трещин и пробоин;
- герметизации и стабилизации неподвижных соединений;
- изготовления некоторых деталей и пр.

Пластмассы наносят:

- намазыванием;
- газопламенным напылением;
- вихревым, вибрационным способами;
- литьем под давлением;
- прессованием и др.

Для обеспечения надежной адгезии полимера с деталью ее поверхность должна быть тщательно подготовлена, для чего производят очистку от грязи, механическую обработку или зачистку поверхности шлифовальной шкуркой, тщательное обезжиривание (в щелочных растворах, ацетоном, бензином и др.) с последующей сушкой. Для увеличения сцепляемости полимера с поверхностью детали у последней сверлят отверстия, нарезают канавки, резьбу, проводят струйную обработку и т.д.

Примерные области применения полимерных материалов при ремонте машин приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Области применения полимерных материалов

Материал	Область применения
1	2
Эпоксидный состав А	Устранение трещин длиной до 20 мм, склеивание металлических изделий, вклеивание подшипников и других деталей при зазоре до 0,2 мм
Эпоксидный состав А, стеклоткань или техническая бязь	Устранение трещин и обрывов трубопроводов

Продолжение таблицы 2.1

1	2
Эпоксидный состав Б	Ремонт чугунных и стальных деталей, устранение трещин длиной до 20 мм, восстановление подвижных и неподвижных соединений с последующей механической обработкой или формованием, восстановление резьбовых соединений и др.
Эпоксидный состав Б, стеклоткань	Устранение трещин длиной до 20 – 150 мм у чугунных и стальных деталей
Эпоксидный состав Б, стальная пластина	Устранение пробоин и трещин длиной более 150 мм у чугунных и стальных деталей
Эпоксидный состав В	Ремонт алюминиевых деталей: устранение трещин длиной до 20 мм, восстановление посадочных поверхностей, ремонт резьбовых соединений, уплотнение сварных швов
Эпоксидный состав В, стеклоткань	Устранение трещин длиной до 20 – 150 мм у алюминиевых деталей
Эпоксидный состав В, стальная пластина	Устранение пробоин и трещин длиной более 150 мм у алюминиевых деталей
Эпоксидный состав Г	Восстановление неподвижных соединений с последующей механической обработкой
Эпоксидный состав Д	Восстановление подвижных и неподвижных соединений с последующей механической обработкой
Эпоксидный состав Е	Восстановление и стабилизация резьбовых соединений
Клей БФ-2 и БФ-4	Склеивание металлов, стекла, керамики, древесины и др.
Клей ВС-10Т и ВС-350	Склеивание металлов, текстолита, пенопласта и т. д.
Клей БФ-6 и № 88	Склеивание ткани, кожи, резины, войлока между собой и приклеивание их к металлу, дереву и другим материалам
Эластомер ГЭН-150 (В)	Восстановление неподвижных соединений при зазоре: до 0,06 мм – без термообработки, до 0,16 мм – с термообработкой при 115 °С
Герметик 6Ф	Восстановление неподвижных соединений при зазоре: до 0,06 мм – без термообработки, до 0,2 мм – с термообработкой при 160 °С
Анаэробные герметики АН-4, УГ-7	Фиксация, уплотнение и восстановление неподвижных соединений при зазоре до 0,15 мм. Стопорение резьбовых соединений

Продолжение таблицы 2.1

1	2
Анаэробные герметики АН-17, УГ-1, УГ-3, УГ-8	Фиксация, уплотнение и восстановление неподвижных соединений при зазоре до 0,4 мм. Стопорение резьбовых соединений
Анаэробные герметики АН-6, АН-8	Фиксация, уплотнение и восстановление неподвижных соединений при зазоре до 0,6 мм. Стопорение резьбовых соединений
Герметик «Эластосил 137 83»	Герметизация неподвижных соединений (без прокладок), работающих в водной, воздушной и масляной средах при зазоре до 0,8 мм
Компаунд ЛП-75Т	То же, включая топливную среду
Уплотнительная замазка У-20А	Герметизация в сочетании с прокладками разъемных соединений, работающих в водной и воздушной средах
Герметик УН-25	Герметизация в сочетании с прокладками разъемных соединений, работающих в среде воды, масла, бензина
Уплотняющие жидкие прокладки ГИП-242, ГИП-244	Герметизация неподвижных соединений, работающих в водной и воздушной средах. То же, включая маслобензиновую среду
Полиамид, полиэтилен, полипропилен	Восстановление и изготовление деталей литьем под давлением

Газопламенным напылением наносят покрытия на заготовки из стали, чугуна и цветных металлов для защиты от влаги и химически активной среды. Поверхность, подлежащая газопламенному напылению, должна быть шероховатой и тщательно очищенной.

Сущность процесса: струя воздуха со взвешенными в ней частицами порошкового полимера проходит через факел ацетиленовоздушного пламени (температура 650 – 700 °С и выше, скорость прохождения полимерного материала 20 – 30 м/с), частицы размягчаются до пластического состояния и при ударе о подготовленную поверхность детали сцепляются с ней, образуя сплошное полимерное покрытие.

Покрытие наносят с помощью установки для газопламенного напыления (УПН-6-63 или УГПЛ - П), которая имеет распылительную газовую горелку и питательный бачок, соединенные между собой шлангом.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы восстановления деталей?
2. Расскажите о способах восстановления деталей пластическим деформированием.
3. Каким образом можно определить усилие правки?
4. В чем заключается сущность восстановления деталей дополнительными деталями?
5. Назовите основные виды сварки, используемые в авторемонтном производстве.
6. В чем заключается восстановление деталей сваркой?

РАЗДЕЛ 3. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ

Технологический процесс ремонта машин значительно сложнее процесса изготовления новых машин, так как он включает в себя все процессы машиностроительного производства, а именно: изготовление деталей, сборку, обкатку, окраску и т. д., а также дополнительные специфические процессы, выполняемые при ремонте – приемку машины в ремонт, очистку, мойку, разборку, дефектацию и др.

Источником экономии затрат при проведении ремонтно-обслуживающих работ машин по сравнению с их изготовлением является использование пригодных для дальнейшей эксплуатации деталей после их восстановления.

Выбор рационального способа восстановления зависит от конструктивно-технологических особенностей рабочей поверхности деталей (формы и размера, материала и термообработки, поверхностной твердости и шероховатости), от условий их работы (характера нагрузки, вида трения) и износа, а также от стоимости восстановления.

Для учета всех этих факторов при выборе рационального способа рекомендуется последовательно пользоваться тремя критериями:

- технологическим (применимости);
- техническим (долговечности);
- технико-экономическим (*отношением себестоимости восстановления к коэффициенту долговечности*).

3.1. Выбор способа по технологическому критерию

Технологический критерий (*критерий применимости*) учитывает:

- особенности подлежащих восстановлению поверхностей деталей;
- технологические возможности соответствующих способов восстановления.

Технологические возможности способов восстановления деталей устанавливаются по их характеристикам, которые даны в специальной справочной и технической литературе.

При этом можно пользоваться следующими рекомендациями технологических критериев.

Технологический критерий (*критерий применимости*) учитывает, с одной стороны, особенности подлежащих восстановлению

поверхностей деталей, а с другой – технологические возможности соответствующих способов восстановления. Технологические возможности способов восстановления деталей устанавливают по их характеристикам, которые даны в специальной справочной и технической литературе.

При этом можно пользоваться следующими рекомендациями.

1. Для восстановления деталей, образующих неподвижные соединения:

- при износе *до 0,02 мм* целесообразно применять электроискровое наращивание;
- при износе *0,02 – 0,08 мм* целесообразно применять электроимпульсное наращивание или гальваническое покрытие.

2. Для восстановления деталей, образующих подвижные соединения, рекомендуется:

- при износе *до 0,5 мм* применять хромирование или твёрдое осталивание;
- при износе *0,5 – 2,0 мм* слой металла наиболее целесообразно наращивать вибродуговой наплавкой, наплавкой в среде CO_2 , газопламенными методами или электроконтактным напеканием металлического порошка.

3. Для восстановления деталей подвижных сопряжений, работающих на принципе качения (перекачивания) поверхностей при абразивном изнашивании можно применять:

- при износе поверхности *до 0,6 мм* – электроимпульсное наращивание электродом, содержащим хром, ванадий, марганец (ХВГ);
- при износе *0,6–5 мм* – автоматическую электродуговую наплавку под слоем флюса порошковыми материалами или вибродуговую наплавку;
- при износе *более 5 мм* – электрошлаковую наплавку или заливку жидким металлом.

4. При восстановлении деталей двигателей внутреннего сгорания, ходовых систем тракторов и т. п. рекомендуемые способы могут быть следующие:

- гальваническое наращивание, с помощью которого целесообразно восстанавливать плунжерные пары топливных насосов высокого давления (ТНВД), гильзы цилиндров, поршневые пальцы, стержни клапанов, толкатели, посадочные места подшипников в чугунных корпусных деталях;

- электроискровое и электроимпульсное наращивание для восстановления посадочных мест под ступицы шкивов, шестерён, под кольца подшипников качения на валах и в корпусных деталях;
- электродуговую наплавку под слоем флюса проволокой или порошковыми ленточными электродами, которую используют для восстановления опорных катков и поддерживающих роликов гусеничного хода тракторов и комбайнов, звеньев гусениц, шатунных и коренных шеек коленчатых валов двигателей и т. п.;
- электроконтактное напекание металлическими порошками, которыми восстанавливают тарелки клапанов, шейки коленчатых валов карбюраторных двигателей и другие детали;
- вибродуговую наплавку и наплавку в среде защитных газов с последующей упрочняющей обработкой, которой восстанавливают шейки распределительных валов, оси катков, шлицы на валах КПП и задних мостов и т. п.

Принципиальная возможность применения некоторых наиболее распространенных методов восстановления приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1.
Технологические характеристики способов восстановления изношенных поверхностей

Способы восстановления	Исходные характеристики восстанавливаемых деталей						
	Виды металлов и сплавов, по отношению к которым применим способ	Виды поверхностей, по отношению к которым применим данный способ	Минимальный наружный диаметр поверхности, мм	Минимальный внутренний диаметр	Минимальная толщина наносимого покрытия, мм	Максимальная толщина наносимого покрытия, мм	Применяемость к деталям, испытывающим знакопеременные нагрузки
Наплавка в среде CO_2	Сталь	1; 3	15	–	0,5	3,5	Применим
Наплавка под слоем флюса			50	–	1,5	5	
Вибродуговая наплавка			15	–	0,5	3	Применим
Дуговая металлзация	30		–	0,3	3		
Газопламенное напыление	Все материалы		30	–	0,3	1,5	Применим
Плазменное напыление или наплавка			30	–	0,3	3	

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Хромирование	Сталь, чугун	1; 2	5	40	0,05	0,3	Применим
Железнение			12	40	0,1	1,5	
Электроконтактная приварка металлического слоя	Все материалы		10	60	0,1	1,5	
Ручная наплавка		1; 2; 3	10	40	1	6	
Электромеханическая обработка	Сталь	1	30	–	0,05	0,12	
Обработка под ремонтный размер	Все материалы	1; 2; 3	Определяют по условиям прочности деталей	–	–	–	
Установка дополнительной детали				–	–	–	
Пластическое деформирование				Сталь	–	–	

Примечания: 1 – наружные цилиндрические поверхности;
2 – внутренние цилиндрические поверхности;
3 – плоские поверхности.

На основании технологических характеристик устанавливают (выбирают) возможные способы восстановления различных поверхностей деталей по технологическому критерию, количество которых принимают равным 3–4 (обычно не более 3-х).

3.2. Выбор способа по техническому критерию

Для дальнейшего сокращения числа возможных способов восстановления пользуются техническим критерием (*критерием долговечности*), в соответствии с которым отбирают для последующего анализа только те из них, которые обеспечивают межремонтный ресурс восстановленной поверхности детали не ниже минимально допустимого.

При выборе рационального способа восстановления по критерию долговечности обычно пользуются коэффициентом долговечности, который является функцией четырех переменных:

$$K_D = f(K_H, K_B, K_C, K_P), \quad (3.1)$$

где K_H – коэффициент износостойкости;

K_B – коэффициент выносливости;

K_C – коэффициент сцепляемости;

K_P – поправочный коэффициент.

Рассчитывают коэффициент долговечности по формуле:

$$K_D = K_H K_B K_C K_P \quad (3.2)$$

Численные значения коэффициентов-аргументов определяют на основании стендовых и эксплуатационных испытаний новых и восстановленных деталей. Примерные значения коэффициентов износостойкости, выносливости и сцепляемости, определенные по результатам исследований для наиболее распространенных методов восстановления и поправочного коэффициента, учитывающий фактическую работоспособность, приведены в таблице 3.2, а краткая характеристика этих способов представлена в таблице 3.2.

Таблица 3.2.
Значение коэффициентов, определяющих долговечность работы восстановленных деталей

Способ восстановления	K_H	K_B	K_C	K_P
Наплавка в среде CO ₂	0,95	0,95	1,00	0,82
Вибродуговая наплавка	0,95	0,62	1,00	0,82
Наплавка под слоем флюса	1,10	0,82	1,00	0,86
Дуговая металлизация	1,15	0,80	0,70	0,80
Газопламенное напыление	1,15	0,80	0,70	0,80
Плазменное напыление	1,25	0,85	0,75	0,80
Хромирование (электролитическое)	1,15	0,85	0,70	0,90
Железнение (электролитическое)	1,10	0,80	0,70	0,80
Электроконтактная наплавка (приварка) металлического слоя	1,00	0,80	0,85	0,80
Ручная наплавка	1,00	0,80	1,00	0,80
Эпоксидные композиции	0,90	0,80	1,00	0,85
Электромеханическая обработка (высадка и сглаживание)	1,00	1,20	1,00	0,90
Обработка под ремонтный размер	1,00	1,00	1,00	0,88
Установка дополнительной детали	1,00	0,80	1,00	0,86
Пластическое деформирование	0,90	1,00	1,00	0,90

Из нескольких вариантов способа восстановления изношенной поверхности детали рациональным по коэффициенту долговечности будет тот, у которого он имеет максимальное значение при учете величины износа. В зависимости от физической сущности процес-

сов, протекающих при восстановлении деталей, технологических и других признаков существующие способы делят на десять групп (таблица 3.3.).

Таблица 3.3.
Способы восстановления деталей при ремонте машин

№	Метод восстановления	Способ восстановления
1	2	3
1	Слесарно-механическая обработка	Обработка под ремонтный размер (РР). 1.2 Постановка дополнительной ремонтной детали. 1.3 Механическая обработка до выведения следов износа и придания правильной геометрической формы. Перекомплектовка.
2	Пластическое деформирование	2.1 Вытяжка, оттяжка. 2.2 Правка (на прессах, наклёпом). 2.3 Механическая раздача. 2.4 Гидротермическая раздача. 2.5 Электрогидравлическая раздача. 2.6 Раскатка. 2.7 Механическое обжатие. 2.8 Термопластическое обжатие. 2.9 Осадка. 2.10 Выдавливание. 2.11 Накатка. 2.12 Электромеханическая высадка.
3	Нанесение полимерных материалов	3.1 Напыление: газопламенное в псевдосжиженном слое (вихревое, вибрационное, вибровихревое) и др. 3.2 Опрессовка. 3.3 Литье под давлением. 3.4 Наружное нанесение покрытий (грунтовка, шпатлевка).
4	Ручная сварка и наплавка	4.1 Газовая. 4.2 Дуговая. 4.3 Аргонодуговая. 4.4 Кузнечная. 4.5 Плазменная. 4.6 Термитная. 4.7 Контактная.

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3
5	Механизированная дуговая сварка и наплавка	5.1 Автоматическая под флюсом. 5.2 В среде защитных газов. 5.3 Дуговая с газопламенной защитой. 5.4 Вибродуговая. 5.5 Порошковой проволокой или лентой. 5.6 Широкойслоная. 5.7 Лежачим электродом. 5.8 Плазменная (сжатой дугой). 5.9 Многоэлектродная. С одновременным деформированием.
6	Механизированные бездуговые способы сварки и наплавки	6.1 Индукционная (высокочастотная). 6.2 Электрошлаковая. 6.3 Контактная сварка и наварка. 6.4 Трением. 6.5 Газовая. 6.7 Ультразвуковая. 6.8 Диффузионная. 6.9 Лазерная. 6.10 Термитная. 6.11 Взрывом. 6.12 Магнитно-импульсная.
7	Газотермическим нанесением (металлизация)	7.1 Дуговое. 7.2 Газопламенное. 7.3 Плазменное. 7.4 Детонационное. 7.5 Высокочастотное. 7.6 Электроимпульсное. 7.7 Ионно-плазменное.
8	Гальваническим и химическим покрытием	8.1 Железнение постоянным током. 8.2 Железнение переменным током. 8.3 Железнение проточное. 8.4 Железнение местное (вневанное). 8.5 Хромирование. 8.6 Хромирование проточное, струйное. 8.7 Меднение. 8.8 Цинкование. 8.9 Нанесение сплавов. 8.10 Нанесение композиционных покрытий. 8.11 Электроконтактное нанесение (электронатирание).

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3
		8.12 Гальваномеханический способ. 8.13 Никелирование.
9	Термической и химикотермической обработкой	9.1 Закалка, отпуск. 9.2 Диффузионное борирование. 9.3 Диффузионное цинкование. 9.4 Диффузионное титанирование. 9.5 Диффузионное хромирование. 9.6 Диффузионное хромотитанирование. 9.7 Диффузионное хромоазотирование. 9.8 Обработка холодом.
10	Другие способы	10.1 Заливка жидким металлом. 10.2 Намораживание. 10.3 Напекание. 10.4 Пайка. 10.5 Пайкосварка. 10.6 Электроискровое наращивание, легирование.

3.3. Выбор способа по технико-экономическому критерию

Для окончательного выбора способа или, если установлено, что требуемому значению коэффициента долговечности для данной поверхности детали удовлетворяют несколько способов восстановления, оптимальный из них выбирают по технико-экономическому критерию, численно равному отношению себестоимости восстановления к коэффициенту долговечности для этих способов.

В качестве рационального в этом случае принимают тот способ, который обеспечивает минимальное значение *технико-экономического критерия*:

$$K_{Эi} = \frac{C_{Bi}}{K_{Ди}} \rightarrow \min \quad (3.3)$$

где $K_{Эi}$ – технико-экономический критерий i -го способа восстановления; C_{Bi} – затраты на восстановление поверхности детали i -м спосо-

бом, p ; $K_{Ди}$ – коэффициент долговечности восстановленной поверхности i -м способом.

В затраты на восстановление поверхности входят: заработная плата производственных рабочих с начислениями, стоимость машино-часа работы оборудования, расходы на материалы, электроэнергию, сжатый воздух, амортизационные отчисления и т. д.

Если затраты на восстановление поверхности заранее неизвестны, то их можно определить аналитическим путем, используя формулу:

$$C_{Bi} = C_{Vi} SK_{Инф}, \quad (3.4)$$

где C_{Vi} – удельная себестоимость восстановления единицы площади изношенной поверхности i -тым способом, p/cm^2 ; S – площадь восстанавливаемой поверхности, cm^2 ; $K_{Инф}$ – коэффициент годовой инфляции, учитывающий изменение удельной себестоимости восстановления поверхности в связи с уровнем инфляции.

Удельная себестоимость восстановления колеблется в достаточно больших пределах и зависит от технологических возможностей конкретного ремонтного предприятия.

Примерные значения удельной себестоимости восстановления поверхностей различными способами исследователями определены в 2007 г. Они приведены в таблице 3.4.

В случае отсутствия данных по себестоимости рекомендуется брать ее среднее значение из таблицы с поправкой на коэффициент инфляции.

Коэффициент инфляции к ценам 2007 г. и в последующие годы можно выбрать из справочной литературы или Интернета. Они также приведены в таблице 5. На сентябрь 2016 г. этот коэффициент $K_{Инф} = 1,36$.

Таблица 3.4
Удельная себестоимость восстановления изношенных поверхностей деталей наиболее распространенными способами

Способ восстановления	Удельная себестоимость восстановления $C_v, p/cm^2$
1	2
Наплавка в среде CO_2	0,6–0,8
Вибродуговая наплавка	0,8–1,0
Наплавка под слоем флюса	1,2–1,4
Дуговая металлизация	0,8–1,2
Газопламенное напыление	0,8–1,2

Продолжение таблицы 3.4

1	2
Плазменное напыление	1,0–1,4
Хромирование электролитическое	0,4–0,9
Железнение электролитическое	0,05–0,5
Контактная наплавка (приварка) металлического слоя	0,85–1,2
Ручная наплавка	0,4–0,6
Эпоксидные композиции	0,3–0,6
Электромеханическая обработка (высадка и сглаживание)	0,8–0,9
Обработка под ремонтный размер	0,08–0,14
Установка дополнительной детали	0,4–1,0
Пластическое деформирование	0,08–0,14

Таблица 3.5

Коэффициент инфляции по годам

Год	Январь 2007	Январь 2016	Февраль 2016	Март 2016	апрель 2016	Май 2016	Июнь 2016	Июль 2016	Август 2016	Сентябрь 2016
Коэффициент инфляции $K_{ИНФ}$	1,0	1,26	1,29	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	1,36

3.4. Обоснование способов восстановления детали в целом

На ремонтном предприятии после разборки сборочной единицы при дефектации детали сортируют на несколько групп. При трех сортировочных группах детали делят на годные, негодные и нуждающиеся в ремонте и восстановлении. При большем числе сортировочных групп решают и другие дополнительные задачи.

Результаты контроля сортировки обычно заносят в дефектные ведомости. На основании статистической обработки дефектных ведомостей можно определить *коэффициенты повторяемости дефектов*.

Коэффициент повторяемости i -ого дефекта определяют из выражения

$$K_i = \frac{N_{Di}}{N}, \quad (3.5)$$

где N_{Di} - число деталей с данным дефектом из общего количества продефектованных; N - общее число продефектованных ремонтпригодных деталей.

Для определения коэффициентов повторяемости дефектов достаточно проанализировать 50-100 деталей данного наименования.

Фактически, коэффициент повторяемости i -ого дефекта показывает вероятность того, что деталь имеет i -й дефект. Например, если из 50-и проверенных валов у 10-и обнаружился износ шпоночной канавки, то коэффициент повторяемости этого дефекта равен $K = 0,2$.

Соответственно, вероятность того, что деталь не имеет i -го дефекта, определяется из выражения

$$K_i = 1 - K_i. \quad (3.6)$$

Зная вероятность появления каждого дефекта, можно установить и вероятность различных сочетаний дефектов.

Поскольку появление каждого дефекта рассматривают как независимое событие, в процессе дефектации возможно их появление в различных сочетаниях.

Например, вал имеет три дефекта, при этом коэффициенты повторяемости для каждого дефекта: $K_1 = 0,2$, $K_2 = 0,3$, $K_3 = 0,4$. При трех возможных дефектах число их сочетаний равно восьми (1 – нет дефектов; 2 – только 1-й дефект; 3 – только 2-й дефект; 4 – только 3-й дефект; 5 – 1-й и 2-й дефект; 6 – 1-й и 3-й дефект; 7 – 2-й и 3-й дефект; 8 – все три дефекта). Вероятность появления детали со всеми тремя дефектами:

$$K_{123}^D = K_1 K_2 K_3, \quad (3.7)$$

$$K_{123}^D = 0,2 \cdot 0,3 \cdot 0,4 = 0,024$$

Вероятность появления детали только с первым дефектом:

$$K_{11}^D = K_1 K_2 K_3, \quad (3.8)$$

$$K_{11}^D = 0,2 \cdot (1 - 0,3)(1 - 0,4) = 0,084.$$

Вероятность появления детали только со вторым дефектом:

$$K^D_2 = K_1 K_2 K_3, \quad (3.9)$$

$$K^D_2 = (1 - 0,2)0,3(1 - 0,4) = 0,144$$

Вероятность появления детали с первым и вторым дефектами:

$$K^D_{12} = K_1 K_2 K_3, \quad (3.10)$$

$$K^D_{12} = 0,2 \cdot 0,3(1 - 0,4) = 0,036$$

Вероятность появления детали без дефектов:

$$K^D = K_1 K_2 K_3, \quad (3.11)$$

$$K^D = (1 - 0,2)(1 - 0,3)(1 - 0,4) = 0,336$$

С точки зрения организации производства, чем меньше способов используют для восстановления различных изнашиваемых поверхностей детали, тем меньше требуется видов оборудования, выше его загрузка, а, следовательно, и эффективность производства. Для окончательного выбора способа восстановления изношенных поверхностей детали в целом рассматривают различные сочетания способов, начиная с минимального числа способов, а за основной принимают способ, обеспечивающий оптимальный для наиболее изнашиваемой поверхности детали, то есть поверхности, коэффициент повторяемости дефекта которой максимальный. Если данный способ применим по технологическому критерию ко всем изнашиваемым поверхностям, и обеспечивает коэффициенты долговечности этих поверхностей не ниже 0,8 ($K_{дл} > 0,8$), то себестоимость восстановления детали в целом определяют так, как если бы все поверхности восстанавливали этим способом. Если деталь нельзя восстановить одним способом, используют второй способ, являющийся оптимальным для следующей по изнашиваемости поверхности, и так далее.

Заканчивается анализ определением отношения себестоимости восстановления детали оптимальным для каждой ее изнашиваемой поверхности способом к коэффициенту долговечности детали в целом по выражению

$$K^*_{эд} = \frac{C_{вд}}{K_{дл}} = \frac{\sum_1^n K_i C_{вi}}{K_{дл}}, \quad (3.12)$$

где $K^*_{эд}$ – технико-экономический критерий восстановления детали (устранение всех возможных дефектов); $C_{вд}$ – себестоимость восстановления детали, р; $K_{дл}$ – коэффициент долговечности восстановления детали; K_i – коэффициент повторяемости i -го дефекта; $C_{вi}$ – себестоимость восстановления i -й поверхности восстановленной оптимальным для нее способом, р; n – число возможных дефектов детали.

Коэффициент долговечности восстановления детали в целом определяют по формуле

$$K_{эд} = \frac{\sum_1^n K_i C_{дi}}{\sum_1^n K_i}, \quad (3.13)$$

где $K_{дi}$ – коэффициент долговечности i -й поверхности, восстановленной j -м способом.

Контрольные вопросы

1. Критерии выбора рационального способа восстановления.
2. Условия выбора способа восстановления по технологическому критерию.
3. Выбор способа восстановления по техническому критерию, его особенности.
4. Восстановление изношенной поверхности наплавкой.
5. Условия выбора способа восстановления по технико-экономическому критерию.

РАЗДЕЛ 4. ПРИМЕР ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ

4.1. Выбор оптимального способа для плоской поверхности

Условие задачи.

При ремонте двигателя установлены износы кулачковой муфты привода гидронасоса (изношенные поверхности выделены на рисунке 4.1).

Выбрать рациональный способ восстановления поверхностей кулачковой муфты привода гидронасоса двигателя СМД.

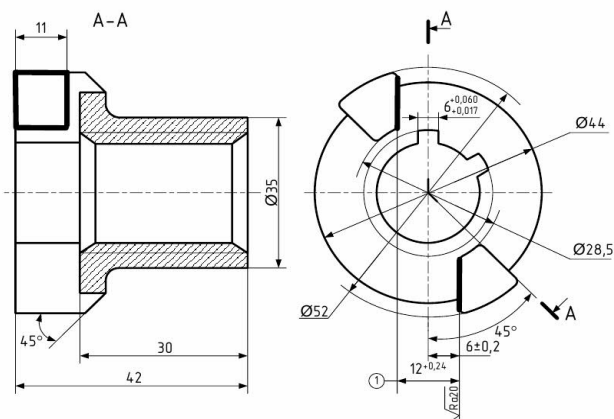


Рис. 4.1. – Кулачковая муфта привода гидронасоса двигателя СМД

Исходные данные:

материал: сталь 40;
количество на машину: 1.

Таблица 4.1

Описание дефектов

Номер дефекта	Наименование дефекта
1	Износ рабочих поверхностей кулачков до размера 13,3 мм.

4.2. Выбор рациональных способов восстановления

Производим выбор рационального способа заданной изношенной поверхности кулачковой муфты привода гидронасоса двигателя, используя три основных критерия:

а) технологический – характеризующий принципиальную возможность применения нескольких способов для восстановления поверхности деталей;

б) технический – оценивающий свойства восстановленной поверхности детали.

Оценочным показателем при этом является значение коэффициента долговечности (K_D), который определяется по формуле (3.2):

$$K_D = K_H K_B K_C K_P,$$

где K_H, K_B, K_C, K_P – коэффициенты износостойкости, выносливости, сцепляемости и работоспособности восстановленной детали в условиях эксплуатации (*нормативные коэффициенты, принимаемые по справочным данным*).

Коэффициент долговечности пропорционален сроку службы детали в эксплуатации и, значит, рациональным будет способ, у которого $K_D \rightarrow \max$;

в) технико-экономический критерий – связывает стоимость восстановления деталей и ее долговечность и оценивается по формуле (3.3):

$$K_Э = \frac{C_B}{K_D}, \quad (4.1)$$

где $K_Э$ – коэффициент технико-экономической эффективности;

C_B – стоимость восстановления изношенной поверхности детали.

Эффективным по этому критерию считается способ, у которого $K_Э \rightarrow \min$.

4.3. Оценка способа по различным критериям

4.3.1. Выбор способа по технологическому критерию

Учитывая свойства детали – конфигурацию, материал, твердость, степень износа и размеры, согласно рекомендациям (табл. 3.1) вы-

бираем несколько способов восстановления. Для рассматриваемого случая наиболее приемлемыми способами восстановления поверхности 1 кулачковой муфты привода гидронасоса двигателя можно считать следующие способы:

а) наплавка поверхности ручной электродуговой сваркой: материал – сталь, поверхность – плоская, наружный размер поверхности больше 10 мм, толщина наносимого покрытия 1–6 мм;

б) газопламенное напыление: материал – сталь, поверхность – плоская, минимальный наружный диаметр поверхности больше 30 мм, толщина наносимого покрытия 0,3–3 мм;

в) железнение: материал – сталь, поверхность плоская, минимальный наружный диаметр поверхности больше 12 мм, толщина наносимого покрытия 0,1–1,5 мм.

4.3.2. Оценка выбранных способов восстановления детали по техническому критерию (K_D)

Выбранные по технологическому критерию способы восстановления детали оцениваем по техническому критерию.

Значения коэффициентов для выбранных способов принимаем из таблицы 3.2.

При наплавке поверхности ручной электродуговой сваркой:

$$K_{И1} = 1,00, K_{В1} = 0,80, K_{С1} = 1,00, K_{Р1} = 0,80.$$

При газопламенном напылении:

$$K_{И2} = 1,15, K_{В2} = 0,80, K_{С2} = 0,70, K_{Р2} = 0,80.$$

При железнении:

$$K_{И3} = 1,10, K_{В3} = 0,80, K_{С3} = 0,70, K_{Р3} = 0,80.$$

С учетом этого:

а) при наплавке поверхности ручной электродуговой сваркой:

$$K_{Д1} = K_{И1} K_{В1} K_{С1} K_{Р1},$$

$$K_{Д1} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,640;$$

б) при газопламенном напылении:

$$K_{Д2} = K_{И2} K_{В2} K_{С2} K_{Р2},$$

$$K_{Д2} = 1,15 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 0,515;$$

в) при железнении:

$$K_{Д3} = K_{И3} K_{В3} K_{С3} K_{Р3},$$

$$K_{Д3} = 1,1 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 0,493.$$

Из расчетов следует, что рациональным способом восстановления поверхности кулачковой муфты привода гидронасоса двигателя по техническому критерию будет наплавка изношенной поверхности ручной электродуговой сваркой, где $K_{Д1} = 0,640$ имеет максимальное значение из выбранных способов.

Определение стоимости восстановления изношенной поверхности

В связи с отсутствием справочных данных определяем стоимость восстановления поверхности кулачковой муфты привода гидронасоса двигателя для каждого выбранного способа, используя формулу (3.4):

$$C_B = C_V S K_{ИИФ}, \quad (4.2)$$

где C_V – удельная себестоимость восстановления единицы площади изношенной поверхности, р/см² (таблица 3.4); S – площадь восстанавливаемой поверхности, см². $K_{ИИФ}$ – коэффициент инфляции, учитывающий изменение удельной себестоимости восстановления поверхности в связи с инфляцией (таблица 3.5). Для сентября 2016 г. принимаем $K_{ИИФ} = 1,36$.

Площадь поверхности 1 равна сумме площадей двух прямоугольников со сторонами $l = 11$ мм и $h = 0,5(D_1 - D_2)$, где $D_1 = 52$ мм; $D_2 = 28,5$ мм.

Тогда площадь всех изношенных поверхностей детали будет равна:

$$S = 2 \cdot 0,5 l (D_1 - D_2). \quad (4.3)$$

Переведем значение диаметров и длин изношенных поверхностей муфты из миллиметров в сантиметры и записав их в формулу (3.6), получим:

$$S = 2 \cdot 0,5 \cdot 1,1 (5,2 - 2,85) = 2,59 \text{ см}^2.$$

Подставив в формулу (3.3) найденные значения площади поверхности S , и принимая во внимание $K_{ИИФ}$, получим себестоимость восстановления поверхности кулачковой муфты привода гидронасоса двигателя выбранными способами:

а) наплавка поверхности ручной электродуговой сваркой, при

$$C_{y1} = 0,5 \text{ р/см}^2 \text{ (таблица 3.4):}$$

$$C_{B1} = C_{y1} S_1 K_{ИНФ}$$

$$C_{B1} = 0,5 \cdot 2,59 \cdot 1,36 = 1,76 \text{ р;}$$

б) газопламенное напыление, при $C_{y2} = 1,0 \text{ р/см}^2$ (таблица 3.4):

$$C_{B2} = C_{y2} S K_{ИНФ}$$

$$C_{B2} = 1,0 \cdot 2,59 \cdot 1,36 = 3,522 \text{ р;}$$

в) железнение, при $C_{y3} = 0,275 \text{ р/см}^2$ (таблица 3.4):

$$C_{B3} = C_{y3} S K_{ИНФ}$$

$$C_{B3} = 0,275 \cdot 2,59 \cdot 1,36 = 0,969 \text{ р.}$$

Сравнивая найденные значения, устанавливаем, что по себестоимости восстановления поверхности кулачковой муфты привода гидронасоса двигателя самым экономичным является способ, затраты по которому минимальны, то есть где $C_{B3} = 0,969 \text{ р}$. Это способ железнения.

4.3.3. Выбор рационального способа восстановления по технико-экономическому критерию

Оценку способов восстановления поверхности кулачковой муфты привода гидронасоса двигателя по технико-экономическому критерию проводим, используя формулу (3.2).

Для рассматриваемого случая будем иметь:

а) для наплавки поверхностей ручной электродуговой сваркой

$$K_{Э1} = \frac{C_{B1}}{K_{Д1}},$$

$$K_{Э1} = \frac{1,76}{0,640} = 2,750 \text{ р;}$$

б) для газопламенного напыления

$$K_{Э2} = \frac{C_{B2}}{K_{Д2}},$$

$$K_{Э2} = \frac{3,522}{0,515} = 6,839 \text{ р;}$$

в) при железнении

$$K_{Э3} = \frac{C_{B3}}{K_{Д3}},$$

$$K_{Э3} = \frac{0,969}{0,493} = 1,966 \text{ р.}$$

Как видно из найденных значений, рациональным способом восстановления изношенных поверхностей 1 кулачковой муфты привода гидронасоса двигателя по технико-экономическому критерию будет способ железнения, так как значение $K_{Э3} = 1,966 \text{ р}$. Среди анализируемых способов этот критерий имеет наименьшее значение.

4.3.4. Окончательный выбор рационального способа восстановления муфты по полученным значениям критериев

Анализируя выбранные способы по всем трем критериям, отмечаем, что любой из них можно использовать при восстановлении изношенной поверхности муфты, однако рациональным способом восстановления по техническому критерию будет наплавка поверхности ручной электродуговой сваркой, где коэффициент долговечности $K_{Д1} = 0,640$, то есть имеет максимальное значение, а при использовании же технико-экономического критерия рациональным способом восстановления поверхности гильзы является способ железнения, так как значение $K_{Э3} = 1,966 \text{ р}$, то есть среди изучаемых способов он имеет наименьшую величину.

Окончательный выбор делаем в пользу технико-экономического критерия, то есть в качестве рационального способа восстановления считаем железнение, позволяющего с минимальными затратами восстановить изношенную поверхность кулачковой муфты привода гидронасоса двигателя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Следовательно, обеспечение работоспособности автомобилей, как и наличие высоких показателей их использования, в значительной степени зависит от уровня развития и эффективности ремонтной базы предприятий автомобильного транспорта, которые, в свою очередь, определяются качеством технологических процессов, применяемым оборудованием и его соответствием современному уровню.

При восстановлении деталей и агрегатов автомобилей необходимо реализовать современные достижения науки, передовой опыт, накопленный ремонтным производством, чтобы реконструируемые изделия обеспечивали высокое качество ремонта автомобилей на основе научно обоснованных нормативов и высокую эффективность.

В данном учебном пособии проанализированы варианты возникновения износа, как основной причины нарушения работоспособности изделий, рассмотрены технологические процессы ремонта автомобилей, этапы их реализации, приведены способы восстановления изношенных поверхностей деталей автомобилей, применяемые при ремонте. Приведенный в пособии пример выбора рационального способа восстановления изношенной поверхности деталей поможет обучающимся при освоении материала.

В рассматриваемом учебном пособии приводятся некоторые нормативные и справочные данные, направленные на оказание практической помощи студентам при изучении материала, предусмотренного программой дисциплины «Основы технологии производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования», что позволит проводить необходимые расчёты и добиться значимой эффективности в реализации решаемых задач.

Следует также учитывать, что сама система ремонта будет развиваться и совершенствоваться по содержанию, стратегии, тактики, структуры, нормативов и методов их корректировки, видов воздействий, систем оценки и оптимизации ремонта, подбора технологического оборудования, компьютеризации и цифровизации процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надежность и ремонт машин: учебник / В. В Курчаткин [и др.]. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
2. Технология ремонта машин [Текст]: учебник / Е. А. Пучин [и др.]. – М.: Колос, 2007. – 488 с.
3. Савин, И. Г. Выбор рационального способа восстановления детали [Текст]: метод. указания / И. Г. Савин, Ю. Д. Янчин. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – 17 с.
4. Уровень инфляции в Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://уровень инфляции.РФ>.
5. Технология ремонта машин: учеб. пособие / под ред. И. Г. Савина. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – 499 с.
6. Технический сервис машин и основы проектирования предприятий: учебник / М. И. Юдин [и др.]. – Краснодар: Совет. Кубань, 2007. – 968 с.
7. Селиванов, А. И. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники : учебник / А. И. Селиванов, Ю. Н. Артемьев. – М.: Колос, 2009. – 167 с.
8. Виноградов, В.М. Технологические процессы ремонта автомобилей: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В.М. Виноградов. – 6-е изд., стер. – М.: ИЦ «Академия», 2013. – 432 с.
9. Ельцов, В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин: электронное учеб. пособие/В.В. Ельцов. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. – 1 электрон. опт.диск.
10. Ли, Р.И. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники: учеб. пособие / Р.И. Ли. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2014. – 379 с.
11. Овчинников, В.П. Технологические процессы диагностирования, обслуживания и ремонта автомобилей: учеб. пособие / В.П. Овчинников, Р.В. Нуждин, М.Ю. Баженов. - Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 284 с.
12. Передерий, В.Г. Технологические процессы технического обслуживания, ремонта и диагностики автомобилей: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.Г. Передерий, В.В. Мишустин. - Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2013. – 226 с.

13. Петросов, В.В. Ремонт автомобилей и двигателей: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В.В. Петросов. – М.: ИЦ «Академия», 2005. – 224 с.

14. Сарбаев, В.И. Механизация производственных процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей / В.И. Сарбаев. – М.: МГИУ, 2006. – 284 с.

15. Синельников, А.Ф. Основы технологии производства и ремонт автомобилей учеб. пособие / А.Ф. Синельников. – 2-е изд., стер. – М.: ИЦ «Академия», 2013. – 320 с.

16. Сеницын, А.К. Основы технической эксплуатации автомобилей: учебное пособие / Сеницын А.К. – М.: Российский университет дружбы народов, 2011. – 284 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/11545>. – ЭБС «IPRbooks».

17. Скепьян, С.А. Ремонт автомобилей. Курсовое проектирование: Учебное пособие / С.А. Скепьян. – М.: НИЦ ИНФРА-М: Нов. знание, 2013. – 235 с.

18. Туревский, И.С. Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта. Введение в специальность: учебное пособие / И.С. Туревский. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2011. – 192 с.

19. Чебоксаров, А.Н. Основы теории надежности и диагностика: курс лекций / А.Н. Чебоксаров. – Омск: СибАДИ, 2012. – 76 с.

20. Чумаченко, Ю.Т. Автослесарь: устройство, техническое обслуживание и ремонт автомобилей: учебное пособие / Ю.Т. Чумаченко, А.И. Герасименко, Б.Б. Рассанов; под ред. А.С. Трофименко. – Ростов н/Д: Феникс, 2013. – 539 с.

21. Яговкин, А.И. Организация производства технического обслуживания и ремонта машин: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.И. Яговкин. – М.: ИЦ «Академия», 2006. – 400 с.

22. Ярошевич, В.К. Технология производства и ремонта автомобилей: учеб. пособие / В.К. Ярошевич, А.С. Савич, В.П. Иванов. – Минск: Адукацыя выхаванне, 2008. – 640 с.

23. Логинов, П.К. Способы и технологические процессы восстановления изношенных деталей: учебное пособие / П.К. Логинов, О.Ю. Ретюнский; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 217 с.

24. Мылов, А.А. Основы ремонта автомобилей: учебное пособие / А.А. Мылов. – М.: МГИУ, 2010. – 124 с.

25. Чебоксаров, А.Н. Основы технологии ремонта автомобилей. Учебное пособие / А.Н. Чебоксаров. – Омск: СибАДИ, 2018. – 115 с. – ISBN 978-5-00113-045-1. – Текст электронный. – URL: <http://bek.sibadi.org/fulltext/esd492>

26. Чеботарев, М. И. Выбор оптимального способа восстановления изношенной поверхности детали. Учебное пособие / М. И. Чеботарев, М. Р. Кадыров. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 91 с. ISBN 978-5-00097-184-0.

Содержание

РАЗДЕЛ 1. ИЗНАШИВАНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	3
1.1. Причины снижения работоспособности машин в процессе эксплуатации	3
1.2. Теории трения и изнашивания	6
1.3. Виды и основные закономерности изнашивания	9
1.4. Способы уменьшения интенсивности изнашивания в соединениях	15
РАЗДЕЛ 2. СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ АВТОМОБИЛЕЙ	18
2.1. Классификация способов восстановления изношенных деталей	18
2.2. Восстановление деталей слесарно-механической обработкой	
2.2.1. Обработка деталей под ремонтный размер	20
2.2.2. Постановка дополнительной ремонтной детали	22
2.3. Восстановление деталей пластическим деформированием ...	23
2.3.1. Восстановление размеров изношенных поверхностей деталей	24
2.3.2. Восстановление формы деталей	27
2.3.3. Восстановление механических свойств деталей	29
2.4. Восстановление деталей сваркой и наплавкой	30
2.4.1. Ручная сварка и наплавка плавящимися электродами ...	31
2.4.2. Газовая сварка и наплавка	32
2.4.3. Дуговая наплавка под флюсом	33
2.4.4. Наплавка в среде углекислого газа	36
2.4.5. Электродуговая наплавка неплавящимся электродом (вольфрамовым) в среде аргона	38
2.4.6. Вибродуговая наплавка	38
2.4.7. Плазменно-дуговая сварка и наплавка	39

2.5. Восстановление деталей напылением	40
2.5.1. Электродуговое напыление	41
2.5.2. Индукционное напыление	42
2.5.3. Газопламенное напыление	43
2.5.4. Детонационное напыление	45
2.6. Восстановление деталей гальваническими покрытиями	46
2.6.1. Хромирование	47
2.6.2. Железнение	49
2.6.3. Защитно-декоративные покрытия	50
2.7. Восстановление деталей пайкой	51
2.8. Восстановление деталей с применением синтетических материалов	54

РАЗДЕЛ 3. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ	59
3.1. Выбор способа по технологическому критерию	59
3.2. Выбор способа по техническому критерию	62
3.3. Выбор способа по технико-экономическому критерию	66
3.3. Обоснование способов восстановления детали в целом ...	68

РАЗДЕЛ 4. ПРИМЕР ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ	72
4.1. Выбор оптимального способа для плоской поверхности	72
4.2. Выбор рациональных способов восстановления	73
4.3. Оценка способа по различным критериям	73
4.3.1. Выбор способа по технологическому критерию	73
4.3.2. Оценка выбранных способов восстановления детали по техническому критерию (K_d)	74
4.3.3. Выбор рационального способа восстановления по технико-экономическому критерию	76
4.3.4. Окончательный выбор рационального способа	77

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	79

б б б

б б б

ЛЪЯНОВ М.С., ПИЦХЕЛАУРИ Ш.Н.

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
И РЕМОНТА ТРАНСПОРТНЫХ
И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Направление подготовки 23.03.03 Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов

Учебное пособие

б б б

б б б

Лицензия: ЛР. № 020574 от 6 мая 1998 г.

Подписано в печать 24.04.2024 г. Бумага писчая. Печать трафаретная.
Бумага 60x84 1/16. Усл. печ. л. 5,25. Тираж 20. Заказ 12.

362040, Владикавказ, ул. Кирова, 37.
Типография ФГБОУ ВО Горский ГАУ