

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Пермский государственный аграрно-технологический
университет имени академика Д.Н. Прянишникова»

Ю. В. Щербаков, А. М. Кашфуллин

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Учебное пособие

*Учебное пособие содержит сведения,
необходимые для формирования профессиональных компетенций
при подготовке аспирантов по направлению подготовки
«Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование»,
и рекомендуется Научно-методическим советом по технологиям,
средствам механизации и энергетическому оборудованию
в сельском хозяйстве ФУМО по сельскому, лесному и рыбному хозяйству
для использования в учебном процессе*

Пермь
ИПЦ «Прокрость»
2018

УДК 621.79(075)
ББК 34.44я7
Щ 611

Рецензенты:

Р. Ф. Курбанов, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры эксплуатации и ремонта МТП (ФГБОУ ВО Вятская ГСХА);

И. Л. Синани, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Сварочное производство, метрология и технология металлов» (ФГБОУ ВО Пермский национальный исследовательский политехнический университет).

Щ 611 Щербаков, Ю. В.

Современные способы восстановления и упрочнения деталей : учебное пособие / Ю. В. Щербаков, А. М. Кашфуллин; М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образов. учреждение высшего образования «Пермский гос. аграрно-технолог. ун-т. им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2018. – 191 с.
ISBN 978-5-94279-393-7

Рассмотрены процессы восстановления и упрочнения изношенных деталей машин сваркой, наплавкой, электроконтактной приваркой металлического слоя, методами газотермического напыления с использованием гальванопокрытий, синтетических материалов, фигурных и спиральных вставок, термической и химико-термической обработки. Описаны процессы механической обработки покрытий. Показаны области применения покрытий и выбор рациональных способов восстановления деталей.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки магистратуры: 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов; направлению подготовки аспирантуры 35.06.04 Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве. Может быть использовано инженерно-техническими работниками и специалистами, занимающимися ремонтом сельскохозяйственной техники.

**УДК 621.79(075)
ББК 34.44я7**

Утверждено в качестве учебного пособия на заседании методической комиссии Пермского государственного аграрно-технологического университета им. акад. Д. Н. Прянишникова (протокол № 6 от 5 марта 2018 г.).

ISBN 978-5-94279-393-7

© Щербаков Ю.В., 2018
© Кашфуллин А.М., 2018
© ИПЦ «Прокрость», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СВАРКОЙ И НАПЛАВКОЙ	14
1.1. Ручная сварка и наплавка	15
1.1.1. Ручная дуговая сварка стальных деталей.....	15
1.1.2. Газовая сварка и наплавка	29
1.1.3. Сварка чугуновых деталей	33
1.1.4. Сварка алюминия и его сплавов.....	37
1.1.5. Сварка нержавеющей сталей.....	39
1.2. Механизированные способы наплавки	43
1.2.1. Автоматическая наплавка под слоем флюса.....	44
1.2.2. Вибродуговая наплавка	52
1.2.3. Автоматическая наплавка в среде защитного газа	56
1.2.4. Контактная приварка металлического слоя	61
1.2.5. Электроискровая обработка.....	68
1.2.6. Электромеханическая обработка	71
1.2.7. Применение лазерной технологии при восстановлении деталей ...	76
Контрольные вопросы и задания к главе 1	79
2. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДАМИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ И НАПЛАВКИ	80
2.1. Сущность процесса газотермического напыления	81
2.2. Строение покрытия	85
2.3. Технология газотермического напыления.....	86
2.3.1. Подготовка поверхности напыляемых изделий	86
2.3.2. Подготовка напыляемого материала	89
2.4. Газопламенное напыление	89
2.4.1. Сущность газопламенного напыления	89
2.4.2. Технология и применение газопламенного напыления.....	92
2.4.3. Плазменное напыление	94
2.4.4. Плазменная наплавка	99
2.4.5. Детонационно-газовое напыление	109
2.5. Электродуговая металлизация	112
2.5.1. Технологические особенности и применение электродуговой металлизации	113
Контрольные вопросы и задания к главе 2	116

3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ.....	117
3.1. Хромирование.....	119
3.2. Железнение (осталивание)	125
3.3. Микродуговое оксидирование	131
Контрольные вопросы и задания к главе 3.....	134
4. ПРИМЕНЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ	135
4.1. Применение полимерных композиций при восстановлении деталей (холодная сварка).....	136
Контрольные вопросы и задания к главе 4.....	147
5. РЕМОНТ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ФИГУРНЫХ ВСТАВОК	148
Контрольные вопросы и задания к главе 5.....	151
6. ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЕЗЬБОВЫХ ОТВЕРСТИЙ СПИРАЛЬНЫМИ ВСТАВКАМИ.....	152
Контрольные вопросы и задания к главе 6.....	154
7. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ	155
7.1. Обработка деталей, восстановленных наплавкой.....	155
7.2. Механическая обработка деталей, восстановленных гальванопокрытиями	158
Контрольные вопросы и задания к главе 7.....	164
8. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ.....	165
Контрольные вопросы и задания к главе 8.....	171
9. УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	172
9.1. Упрочнение деталей поверхностным деформированием	172
9.2. Термическая обработка при упрочнении деталей машин.....	174
9.3. Химико-термическая обработка при упрочнении деталей	181
Контрольные вопросы и задания к главе 9.....	188
Заключение.....	189
Глоссарий	190
Библиографический список.....	191

ВВЕДЕНИЕ

Перед ремонтным производством поставлена задача – значительно увеличить объем работ по ремонту сборочных единиц, агрегатов машин, восстановлению изношенных деталей машин и довести срок их эксплуатации до 80% ресурса новых. В себестоимости капитально отремонтированных машин на долю запасных частей приходится около 70%. Поскольку себестоимость восстановления деталей составляет 50–60% от стоимости их изготовления, увеличение объемов восстановления деталей является реальным путем снижения затрат на ремонт машин и агрегатов. Сокращение в 5–6 раз числа операций при восстановлении по сравнению с изготовлением и в 20–30 раз расхода материалов дает себестоимость восстановления деталей, составляющую 40–80% стоимости новых. Применение современных технологических процессов и оборудования обеспечивает срок службы восстановленных деталей, близкий к сроку службы новых, равный ему, а в некоторых случаях и превосходящий его.

Практика показывает, что 90% деталей, подлежащих выбраковке, имеют износ 0,1–0,3 мм по диаметру, что означает потерю менее 0,5–1% массы деталей. На долю запасных частей приходится 50–60% и более всех затрат на ремонт. Таким образом, значительным резервом снижения себестоимости ремонта машин является применение прогрессивных способов восстановления изношенных деталей.

В последние годы разработаны новые технологические процессы, позволяющие значительно повысить срок службы машин и снизить затраты на их ремонт. Способы восстановления деталей по видам распределяются следующим образом: сварочно-наплавочные – 70%, с применением ремонтных размеров – 12%, электролитических покрытий – 8%, по-

лимерных материалов – 6%, дополнительных ремонтных деталей – 3%, пластической деформации – 1%.

Для восстановления деталей, имеющих небольшие износы (0,1–0,3 мм), применяют новые способы, дающие небольшие припуски на последующую обработку: контактная приварка и припекание металлического слоя (металлическая лента, порошковые сплавы и др.), напыление порошковыми материалами, плазменная наплавка.

Для ремонта деталей со значительным износом (1–10 мм) целесообразно применять электрошлаковую наплавку, заливку жидким металлом.

Выбор способа восстановления конкретной детали требует знаний возможностей, сущности и технологических особенностей существующих способов восстановления. Должна учитываться геометрическая форма, размеры и материал деталей, механические характеристики восстанавливаемых поверхностей, характер и величины дефектов, условия работы детали в сопряжении (вид изнашивания, характер нагрузок, агрессивность среды, температурный режим и др.), а также свойства механических характеристик восстановленных поверхностей. Например, прочность сцепления, твердость, износостойкость, усталостная прочность, обрабатываемость и т.д. Определяющим является производительность и технико-экономические показатели процессов восстановления.

Существует достаточно большое количество методов восстановления изношенных деталей, каждый из которых в различной степени обеспечивает достижения конечных результатов – не только восстановить номинальный размер, но и повысить эксплуатационные свойства детали. Ниже приведена классификация основных способов восстановления и упрочнения рабочих поверхностей деталей (рис.).



Рисунок. Классификация способов упрочнения и восстановления деталей

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

Упрочнение деталей – это повышение сопротивляемости элементов этих деталей разрушению, остаточной деформации или изнашиванию. Цель восстановительного производства деталей заключается в экономически эффективном восстановлении их надежности в результате наиболее полного использования остаточной долговечности составляющих элементов.

Остаточная долговечность деталей – это потенциальная долговечность изношенных деталей, которая может быть использована после восстановления.

Для оценки качества восстановленных деталей используют показатели надежности, которые определяют свойства деталей, сохранив работоспособность в процессе эксплуатации. По ГОСТ 27.002-2015 под надежностью понимают свойство объекта сохранять все параметры, характеризующие способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения, транспортировки.

Надежность – комплексное свойство, которое, в зависимости от назначения объекта и условий его применения, включает безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или сочетание этих свойств.

Надежность восстановленной детали зависит в основном от качества восстановления и условий эксплуатации. Надежность включает следующие свойства:

– безотказность – свойство детали сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Свойство оценивают вероятностью безотказной работы или средней наработки до отказа;

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

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

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

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования представляет собой совокупность требований, обязательных при реализации основных профессиональных программ высшего образования – программа магистратуры по направлению подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов предусматривает дисциплину *«Развитие технологий восстановления и упрочнения деталей»*. Дисциплина относится к вариативной части, обеспечивает взаимосвязь дисциплин профессионального цикла бакалавриата и общенаучного цикла магистратуры с научно-исследовательской работой и написанием магистерской диссертации.

Целью дисциплины является формирование у студентов теоретических и практических знаний по основам технологических процессов восстановления и упрочнения рабочих по-

верхностей деталей машин с целью повышения их эксплуатационной надежности и ресурса.

Задачи дисциплины – получение необходимой информации в области развития технологий восстановления и упрочнения деталей машин.

В результате изучения дисциплины магистрант должен:

– *знать* основные направления развития современных способов восстановления и упрочнения деталей машин; физическую (физико-химическую) природу механизмов восстановления и упрочнения поверхностного слоя деталей машин и механизмов при сравнительной оценке различных методов восстановления и упрочнения; методы организации и выполнения инженерных расчетов при проектировании технологических процессов восстановления и упрочнения, и их реализации в производственных процессах технического обслуживания и ремонта машин и оборудования; принципиальные схемы процессов формирования упрочняющего слоя деталей и устройств для их осуществления; влияние технологических факторов и режимов восстановления и упрочняющей обработки рабочих поверхностей на качество, надежность и работоспособность деталей машин; требования к составам и свойствам материалов, используемых для наплавки, напыления и в качестве присадочных материалов; специфические поражающие факторы каждого из технологических процессов используемых методов упрочняющей обработки и обязательные меры безопасности жизнедеятельности и предупреждения травматизма работающих;

– *уметь* осуществлять сравнительный анализ технологических возможностей методов упрочняющей обработки и производить выбор рациональных способов восстановления и упрочнения; производить инженерные расчеты технологи-

ческих параметров, определяющих режимы выполнения производственных процессов восстановления и упрочнения деталей машин; анализировать статистические данные результатов исследования причин, повышающего износа деталей машин и выхода из строя оборудования и принимать осмысленные решения по устранению дефектов и восстановлению работоспособности деталей; разрабатывать технологию, последовательность и методику выполнения технологических операций при освоении новых способов поверхностного упрочнения деталей и осуществлять оперативный контроль хода ведения технологического процесса; оценивать экономическую эффективность работ по введению в технологический процесс производства деталей самостоятельных техпроцессов поверхностного упрочнения;

– *владеть* методами разработки бизнес-плана по технической эксплуатации машин и оборудования, совершенствованию организации производства, внедрению новой техники и технологий; способами разработки и внедрения мероприятий по обеспечению эффективной эксплуатации систем машин и оборудования и проведению монтажных и пусконаладочных работ при освоении внедряемых методов упрочняющей обработки деталей машин; методами обоснования рациональных способов восстановления и упрочнения деталей, выбора рационального ремонтно-технологического оборудования; технологиями восстановления изношенных деталей и ремонта машин; приобретенными знаниями по вопросам упрочняющей обработки деталей машин и успешно использовать их и свой практический опыт в производственных процессах машинотракторных предприятий и ремонтных центров;

– *обладать следующими компетенциями*: способностью пользоваться сведениями о системах технического обслуживания и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования, исходя из учета условий эксплуатации, состояния подвижного состава и других факторов; готовностью использовать знания о методах принятия решений о рациональных формах поддержания и восстановления работоспособности транспортных и технологических машин и оборудования

В соответствии с программой подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки высшей квалификации 35.06.04 Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование в сельском, лесном и рыбном хозяйстве, изучается дисциплина «*Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве*», которая относится к вариативной части блока обязательных дисциплин направления подготовки.

Целью дисциплины является формирование у обучающихся целостной системы профессиональных знаний, умений, навыков о технологиях, методах и средствах технического обслуживания в сельском хозяйстве, восстановления изношенных деталей и ремонта сельскохозяйственной техники в АПК, подготовить аспиранта к сдаче кандидатского экзамена по направленности (профилю) «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве».

Задачи дисциплины: изучить современное состояние и показатели надежности средств механизации производственных процессов в растениеводстве и животноводстве; изучить закономерности изменения технического состояния машин в процессе их использования по назначению, взаимосвязь работоспособности машин с показателями эффективности реа-

лизации механизированных процессов производства и переработки продукции агропромышленных предприятий; изучить современные технологии, методы и средства обеспечения работоспособности средств механизации производственных процессов в растениеводстве, животноводстве и на предприятиях по переработке их продукции; приобрести навыки по разработке методов оценки качества, обоснования технологических условий и эффективности технического сервиса машин, качества топливо-смазочных материалов, технических жидкостей и расходных материалов в АПК; освоить методики исследования надежности агрегатов, узлов и деталей сельскохозяйственных машин при их использовании в различных условиях эксплуатации; завершить *формирование системы профессиональных компетенций* по знаниям методов исследований и совершенствований технологий и средств для восстановления и упрочнения изношенных деталей; способностям к исследованию и совершенствованию технологий и средств для восстановления и упрочнения изношенных деталей; знаниям методов исследований надежности агрегатов, узлов и деталей сельскохозяйственной техники.

Дисциплина *«Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»* обеспечивает завершение проведения аспирантом самостоятельной научно-исследовательской работы, его подготовку к одноименному кандидатскому экзамену.

1. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СВАРКОЙ И НАПЛАВКОЙ

Из всех способов восстановления деталей наибольшее распространение получили сварка и наплавка. В ремонтной практике применяют следующие способы наплавки и сварки: ручная дуговая сварка и наплавка, автоматическая наплавка под слоем флюса, в среде защитных газов, вибродуговая наплавка, наплавка порошковой проволокой, электрошлаковая наплавка, контактная приварка ленты и проволоки, газовая сварка и наплавка, плазменная сварка и наплавка.

Широкое применение сварки и наплавки обусловлено простотой технологического процесса и применяемого оборудования, возможностью восстановления деталей из любых металлов и сплавов с высокой производительностью и низкой себестоимостью. Сварку применяют для устранения механических повреждений в деталях (трещин, отколов, пробоин и т.п.), а наплавку – для нанесения металлических покрытий на поверхности деталей с целью компенсации их износа. Различные способы сварки принято обозначать:

- MMA (Manual Metal Arc) – ручная дуговая сварка штучным металлическим плавящимся электродом с покрытием;
- MiG (Mechanical Inert Gas) – механизированная (полуавтоматическая сварка в среде инертных газов);
- MaG (Mechanical Active Gas) – механизированная (полуавтоматическая сварка) в среде активных газов;
- TiG (Tungsten Inert Gas) – сварка неплавящимся (вольфрамовым) электродом в среде инертных газов (аргонодуговая сварка).

1.1. Ручная сварка и наплавка

1.1.1. Ручная дуговая сварка стальных деталей

Источником тепла при электродуговой сварке является электрическая дуга, представляющая собой устойчивый электрический разряд в ионизированной смеси паров и газов веществ, входящих в состав электрода, покрытия и порошков и флюсов, вводимых в зону горения дуги. Обязательным условием устойчивого горения дуги является ионизация дугового промежутка, т.е. образование электрически заряженных частиц-ионов. Сварочная дуга состоит из трех зон: анодной, столба дуги и катодной области.

Температура столба дуги достигает 6000–7000°C. Теплота в области горения электрической дуги распределяется: на аноде около 43%, на катоде – 36% и на дугу – 21%. На электроде аноде выделяется энергии примерно на 20% больше, чем на катоде. Поэтому при необходимости увеличения глубины проплавления и количества расплавленного металла, сварку ведут на прямой полярности, подключая деталь к аноду.

Зависимость напряжения дуги (U) от тока (J) и ее длины (L) отражается статической вольт-амперной характеристикой (рисунок 1.1)

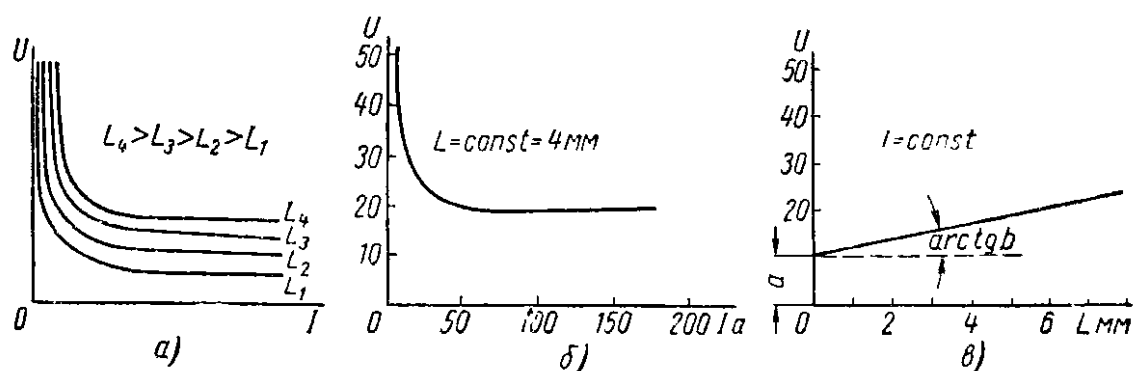


Рисунок 1.1 – Характеристика дуги:
 $a - U = f(J, L)$; $б - U = f(J)$; $в - U = f(L)$

Напряжение дуги зависит от силы тока лишь при малых токах (30–40А), при больших же токах напряжение дуги не зависит от тока. Такая зависимость характерна для токов не свыше 300–400А, а при дальнейшем увеличении силы тока характеристика дуги становится возрастающей (Рисунок 1.2).

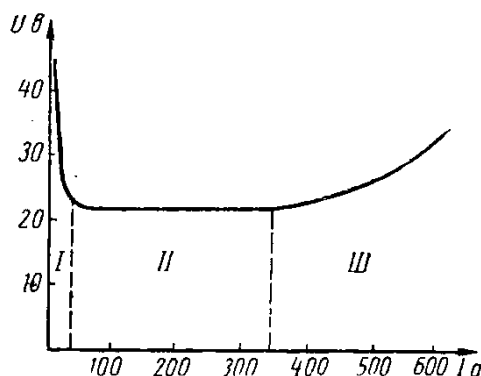


Рисунок 1.2 – Характеристика дуги

Для питания сварочной дуги применяют специальные источники тока. Для оценки источников тока большое значение имеет так называемая внешняя характеристика, выражающая зависимость напряжения на внешних зажимах источника тока от нагрузки, т.е. от силы тока, отдаваемой источником.

Устойчивое горение дуги возможно при падающей внешней характеристике, при которой напряжение на зажимах будет снижаться с увеличением нагрузки, и возрастать с ее уменьшением (Рисунок 1.3).

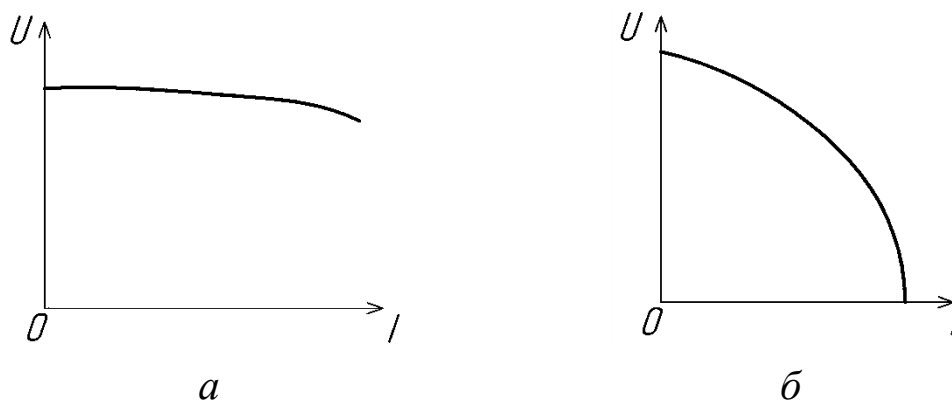


Рисунок 1.3 – Характеристика источников тока:
a – нормального, *б* – сварочного

Наличие падающей характеристики дает возможность обеспечить устойчивое горение дуги при определенной постоянной силе тока.

Устойчивому горению будет соответствовать точка А при наложении на внешнюю характеристику источника тока статической вольтамперной характеристики дуги (рисунок 1.4).

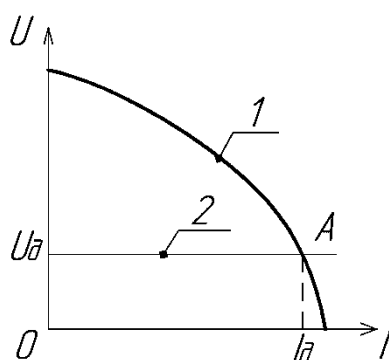


Рисунок 1.4 – Определение режима устойчивого горения дуги

Режим дуги будет меняться при изменении длины дуги в процессе сварки (рисунок 1.5).

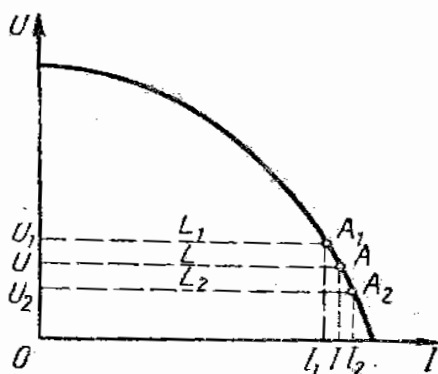


Рисунок 1.5 – Изменение режима дуги с изменением ее длины

Режим дуги при постоянной длине дуги может меняться, изменяя внешнюю характеристику источника тока (рисунок 1.6), к чему сводится регулирование источников тока.

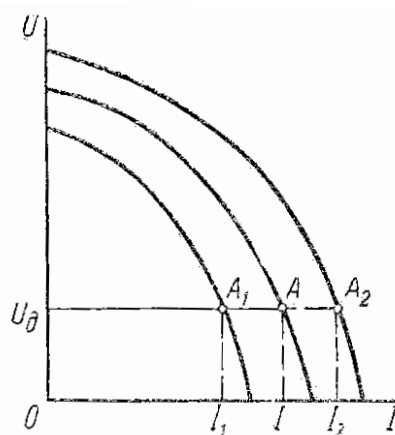


Рисунок 1.6 – Регулирование режима дуги

Выпускаемые промышленностью сварочные источники тока в зависимости от напряжения, видов сварки, наплавки могут иметь различные внешние характеристики – крутопадающие, пологопадающие, жесткие и возрастающие.

Ручную дуговую сварку (метод ММА) ведут на малой плотности тока (отношение силы тока к диаметру электрода). При этом из-за колебания длины дуги меняется напряжение (рисунок 1.1) и ее вольтамперная характеристика (ВАХ) имеет падающую форму. Поэтому для ручной дуговой сварки в основном применяются источники питания (ИП) с падающей ВАХ, имеющей очень большой наклон к оси тока (крутопадающая). Такая характеристика обеспечивает незначительные колебания тока при изменении напряжения дуги. При полуавтоматической сварке методом MIG/MAG дуга горит на стабильном участке ВАХ зона II (рисунок 1.2.), поэтому ИП для такого метода должен иметь жесткую или пологопадающую характеристику. Источники питания с возрастающей характеристикой применяют в основном для сварки, наплавки под флюсом, электрошлаковой сварки (наплавки).

Ручную дуговую сварку выполняют металлическими электродами при питании дуги постоянным (DC) или переменным (AC) током. Электрическая дуга постоянного тока горит более устойчиво и обеспечивает сварку при прямой

(минус – на электроде, а плюс – на детали) и обратной полярности. Обратная полярность позволяет уменьшить тепловое воздействие на свариваемую или наплавляемую деталь, так как в этом случае на положительном электроде (аноде) на 20 % выделяется тепла больше, чем на катоде (детали). Поэтому постоянный ток используют при сварке деталей (листов) с тонкими стенками, деталей из металлов чувствительных к перегреву. При использовании переменного тока на электродах выделяется примерно одинаковое количество тепла.

Источником постоянного тока при электродуговой сварке и наплавке являются выпрямители, преобразователи и агрегаты с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Источник переменного тока – сварочные трансформаторы.

Применяются сварочные выпрямители ВДУ-306, ВДУ-601, ВСС-120А, ВСС-300-3, ВСУ-300, ВДГ-302; ВДГ-601; ВСЖ-303, ВДУ-1001, ВКСМ-1001, выпрямитель ВД-306Д, например, предназначен для ручной сварки штучным электродом на постоянном (DC) и переменном токе (AC) углеродистой и легированной сталей, сварочные преобразователи ПСО-300-3, ПСО-500, ПСУ-300, ПСГ-500, ПСУ-500, ПС-1000. Преобразователи ПСО имеют крутопадающую внешнюю вольт-амперную характеристику, ПСГ – жесткую, ПСУ – жесткую или падающую при соответствующем подключении обмоток.

Сварочные агрегаты имеют привод от бензинового или дизельного двигателя внутреннего сгорания: АСБ-300-7, АДВ-306, АДД-303 – с крутопадающей, АС Д-3-1 – падающей, АСДП-500Г-3М – с жесткой внешней характеристикой.

Для сварки на переменном токе применяют сварочные трансформаторы ТС-300, ТСП-2, ТД-300, СТН-450, СТШ-500, ТСД-1000, ТСК-300, ТСК-500, ТДМ-401, ТДМ-503. Сварочные трансформаторы имеют падающую внешнюю вольт-амперную характеристику.

Наиболее сложными и современными источниками питания сварочной дуги являются сварочные инвертеры.

В отличие от так называемых классических типов (трансформаторов, выпрямителей) у инвертеров отсутствует силовой трансформатор.

Вся работа сварочного инвертера построена на принципе фазового сдвига (инверсии) напряжения, осуществляемого электронной микропроцессорной схемой с покаскадным усилением тока. За счет такого принципа удается получить широкий спектр ВАХ – от крутопадающей до возрастающей.

Сварочный инвертер работает следующим образом. Сетевой выпрямительный блок преобразует переменное напряжение в постоянное. Затем, выпрямленное напряжение преобразуется с помощью инвертера в однофазное, переменное высокой частоты (до 50 кГц и выше). Далее напряжение понижается трансформатором, вновь выпрямляется, сглаживается и подается на дугу.

Благодаря малому весу и размерам понижающего трансформатора, инверторные источники питания имеют небольшие габариты и вес. Другим достоинством инвертеров является их универсальность, т.к. их внешние вольтамперные характеристики (ВАХ) могут иметь любую форму, что дает возможность использовать их для любых видов сварки.

Промышленностью выпускается большой спектр инвертеров отечественных и зарубежных фирм: универсальный сварочный инвертер общего назначения Invertec V-3001, инвертор Вrima MMA-180 Hobby (ООО НПО Мидасот), Сварог PRO ARC – (фирма Jasic), Ресанта САИ-250, Ресанта САИПД-165, Форсаж-180, Форсаж-301, Форсаж-200 АС/ДС, Ударник УИС-200, Интерскол ИСА-250/10,6 – для ручной дуговой сварки, аппараты Rainbow 201HF, 170 HF – предназначен для аргонодуговой сварки (TIG) на постоянном токе (ДС).

Качество наплавленного металла, сварного шва и производительность сварки или наплавки во многом определяются материалом электродов и покрытий. Для сварки электроды выбирают с учетом того, чтобы максимально приблизить качество и свойства материала шва к свойствам металла восстанавливаемой детали, чтобы твердость материала была одинаковой на всех участках. При наплавке изношенной поверхности основным критерием качества является твердость наплавленного слоя и износостойкость.

При ручной электродуговой сварке в качестве электродного стержня, а при механизированной сварке в качестве присадочного материала используется стальная сварочная проволока. Выпускается 77 марок сварочной проволоки диаметром от 0,3 до 12 мм. В зависимости от химического состава сварочную проволоку разделяют на низкоуглеродистую, низколегированную и высоколегированную. Низкоуглеродистая сварочная проволока марок Св-08, Св-08А, Св-08ГА и других (всего 6 марок с содержанием углерода до 0,12%) предназначена для сварки мало- и среднеуглеродистых, а также некоторых низколегированных сталей. Легированная сварочная проволока марок Св-08Г2С, Св-08ХНМА, Св-10Г2С и других (всего 30 марок с содержанием легирующих элементов до 6%) применяется для сварки углеродистых и легированных сталей.

Высоколегированные проволоки – всего 41 марка. Содержат в своем составе более 6% легирующих элементов, применяются для сварки высоколегированных сталей. Например, марки: Св-12Х13, Св-06Х19Н9ТА. Стальная наплавочная проволока (ГОСТ 10543-78) подразделяется на углеродистую (8 марок): Нп-30, Нп-40, Нп-80, Нп-50Г и другие; легированную (11 марок): Нп-10Г3, Нп-30Х5, Нп-65Г, Нп-30ХГСА, Нп-40Х3ВФ и др.; высоколегированную (9 марок): Нп-3Х13, Нп-4Х13, Нп-45Х2В8Г, Нп-ГВА и др.

На сварочную проволоку для получения электродов для ручной сварки наносят покрытия. Плавящиеся электроды классифицируются по видам электродного материала и покрытия:

- по назначению (ГОСТ 9466-75)
- типам (ГОСТ 9467-75, 10051-75, 10052-75)
- маркам
- толщине покрытия (ГОСТ 9466-75)
- группам
- видам покрытия.

Электроды подразделяются по видам покрытия.

А – с кислым покрытием, содержащим оксиды железа, марганца, кремния, иногда титана. Металл шва отличается повышенной окисляемостью, плотностью и позволяет выполнять сварку на постоянном и переменном токе, марки: ОММ-5, ЦМ-7, ЦМ-8 и др.

Б – с основным покрытием, имеющим в качестве основы фтористый кальций (плавиковый шпат) и карбонат кальция (мел, мрамор). Сварку электродами с основным покрытием осуществляют на постоянном токе при обратной полярности, их нельзя применять при сварке больших сечений. Марки: ОЗС-2, АНО-8, УОНИ-13/45, УСНИ- 13/55 и др.

Ц – с целлюлозным покрытием, основные компоненты которого создают газовую защиту дуги и образуют при плавлении тонкий шлак. Электроды с целлюлозным покрытием применяются, как правило, для сварки стали малых толщин. Марки: ОЗС-1, ОМА-2, ВЦС-4 и др.

Р – с рутиловым покрытием, основной компонент которого – рутил (TiO_2). При сварке электродами с рутиловым покрытием отмечается высокая устойчивость горения дуги, хорошее формирование шва во всех пространственных положениях. Марки: ОЗС-12, МР-3, ОЗС-4, АНО-3.

П – прочие виды покрытий. Марки: АНО-6, АНО-10 и др.

В зависимости от свариваемых материалов электроды

по ГОСТ 9466-75 подразделяются на группы: У – для сварки низкоуглеродистых и углеродистых сталей, Л – для сварки легированных конструкционных сталей, Т – для сварки легированных теплоустойчивых сталей, В – для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами, Н – для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

Электроды подразделяются по допустимым пространственным положениям сварки или наплавки: 1 – для всех пространственных положений; 2 – для всех положений, кроме вертикального сверху вниз; 3 – для нижнего, горизонтального (по вертикальной плоскости) и вертикального снизу вверх; 4 – для нижнего и нижнего «в лодочку».

По полярности и роду применяемого тока, а также напряжению холостого хода источника тока электроды маркируются:

О – только для постоянного тока обратной полярности; 1, 2, 3 – для напряжения холостого переменного тока 50 ± 5 В; 4, 5, 6 – то же для напряжения 70 ± 10 В; 7, 8, 9 – то же для напряжения 90 ± 5 В.

Электроды для дуговой сварки по ГОСТ 9466-75 и ГОСТ 9467-75 делятся на типы и марки. Тип электрода обозначается буквой Э и двумя цифрами, характеризующими механическую прочность сварного шва. Например, Э42А (42 – минимальный гарантируемый предел прочности металла шва в кгс/мм²; А – характеризует повышенную пластичность сварного шва). ГОСТ предусматривает типы электродов от Э38 до Э150 (Э38, Э42, Э46, Э50, Э42А, Э46А, Э50А, Э55, Э60, Э70, Э85, Э100, Э125, Э150). Каждому типу электродов может соответствовать несколько марок. Марка электрода определяет состав покрытия и технологические особенности: род и полярность тока, возможное пространственное исполнение сварки и др. Например, СМ11, УОНИ 13/45, АНО-4, АНО-5, ОЗС-4, МР-3, ВН-48, ДСК-50, ВСЦ-4 и др.

Условное обозначение электродов для сварки конструкционных деталей включает марку электрода, его тип, диаметр стержня, тип покрытия и номер ГОСТа. Например, условное обозначение электрода

$$\frac{\text{Э46А-УОНИ 13/45-3,0-УД-2}}{\text{Е432 (5)-Б10}} \text{ГОСТ 9466-75;}$$

по ГОСТ 9467-75 расшифровывается следующим образом: Э46А – тип электрода (Э – электрод для дуговой сварки; 46 – минимальный гарантированный предел прочности шва в кгс/мм² (460 МПа); А – повышенная пластичность сварного шва); УОНИ 13/45 – марка электрода; 3,0 – диаметр электрода; У – электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей; Д2 – с толстым покрытием второй группы; Е – электрод; 432 (5) – установленная по ГОСТ 9467-75 группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва; 43 – временное сопротивление разрыву – не менее 430 МПа; 2 – относительное удлинение не менее 22 %, (5) – ударная вязкость не менее 34,5 кгс/см²; Б – основное покрытие; 1 – сварка во всех пространственных положениях; О – сварка на постоянном токе обратной полярности.

В обозначениях марок и типов электродов для наплавки часто присутствует буква Н, цифры указывают твердость по Роквеллу в обозначениях типа, а марках – твердость по Бринеллю. Например: ЭН62 (HRC 62), ЭН-15Г3-25 (HRC 25), ОЗН-300 (HB 300), ЦН-350 (HB 350). Марки и типы электродов приведены в таблице 1.1.

Для наплавки интенсивно изнашивающихся деталей машин применяют порошкообразные твердые сплавы У35Х717, Вокар, ВИСХОМ-9, боридную смесь, литые твердые сплавы – стеллиты В2К, В3К и стеллитообразные сплавы – сормайты № 1 и № 2, порошковые электроды, самофлюсующиеся порошковые сплавы.

Таблица 1.1

Электроды для ручной сварки и наплавки

Марка	Тип	Твердость поверхности НВ (HRC) после		Область применения
		наплавки	закалки	
ОММ-5	Э42	120...140	–	Сварка и наплавка малоуглеродистых сталей
ОММ-2	Э42	120...140	–	
ЦМ-7	Э42	120...140	–	
УОНИ 13/45	Э45	140...200	–	Наплавка поверхностей, не требующих высокой твердости
УОНИ 13/55	Э55	140...210	–	
03Н-200	ЭН-Т3-25	250...300	250–300	Наплавка деталей, работающих в условиях высокого контактного напряжения и ударных нагрузок. Наплавка деталей из стали 1ЮГ13Л, работающих в условиях абразивного изнашивания (звенья гусениц, зубья ковшей экскаваторов и т.д.)
03Н-400	ЭН-20Г4-40	270...430	–	
ОМГ	ЭН-70Х11-25	270...320	–	
ОМГ-Н	ЭН-70Х11Н3-25	250...310	–	
ЦН-5	ЭН-25Х12-40	(40...42)	(50)	
ЭН-60М	ЭН-60Х2СМ-50	(50...52)	(61)	Наплавка деталей, быстроизнашивающийся и требующих механической обработки резанием после наплавки
ЦТП-1	ЭН-30Х3В8	(40...42)	(55)	
Т-590	ЭН-У30Х25Р С2Г 60	(53...60)	–	Наплавка деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания (рабочие органы почвообрабатывающих машин, ножи строительного-дорожных машин)
Т-620	ЭН-У30Х25Р 2-60	(59...63)	–	
ВКН/ЛИВТ	ЭН-80ХЧСГ-55	(57...61)	–	

Шихта сплава У35Х717 содержит (процент по массе): феррохрома 38, ферромарганца 1, чугунного порошка 47, нефтяного кокса 4. Твердость поверхности, наплавленной сплавом У35Х717, составляет HRC 51, а при наплавке в два слоя HRC 57–58. Вокар – механическая смесь измельченного

вольфрама с углеродом. Твердость наплавленной поверхности составляет HRC 57–64 при высокой износостойкости. ВИСХОМ содержит (процент по массе): измельченной стружки серого чугуна 74%, ферромарганца 5%, графита 6%, остальное – жидкое стекло. Твердость наплавленного металла HRC 56–57 при высокой износостойкости. Боридная смесь БХ состоит из 50% борида хрома и 50 % железного порошка. Твердость наплавленного слоя HRC 83–85 при высокой износостойкости. Стеллиты и стеллитоподобные сплавы относятся к твердым сплавам и содержат: ВК2 – вольфрам (13–17%), хром (27–33%), марганец (1%), кобальт (47–53%), никель (до 2%), железо (до 2%), кремний (1–2%), углерод (1,8–2,5%), твердость наплавленного металла HRC 47–50. Сормайт № 1 содержит: хром (25–31%), никель (3–5%), марганец (1,5%), кремний (2,8–4,2%), углерод (2,5–3%), остальное (железо); твердость наплавленного металла HRC 50–55. Сталинит М – для наплавки рабочих органов почвообрабатывающих машин, твердость наплавленного металла 350–580 НВ – образует структуру легированного белого чугуна.

Сормайт № 2: хром (13...17,5%), никель (1%), марганец (1–2,2 %), кремний (1,5–2,2 %), углерод (1,5–2%), железо – остальное; твердость наплавленного металла HRC 40–45.

Электроды из этих сплавов имеют вид литых стержней диаметром 4–7 мм и длиной 250–350 мм.

Для наплавки рабочих органов почвообрабатывающих машин широко применяются порошковые сплавы: ПС4 (сормайт 40%, феррохром 60%) и ПС5 (сормайт 40%, феррохром 58%, ферротитан 2%).

Свойства сварного шва и наплавленного металла зависят от марки и типа электрода. Качество сварочно-наплавочных работ зависит от выбранных режимов. Диаметр электрода выбирают с учетом толщины свариваемых деталей, типа шва и его пространственного положения. При сварке мало-, средне-

и низко- легированных сталей для стыковых швов в нижнем положении диаметр электрода можно выбрать равным

$$d_э = \frac{S}{2} + 1, \text{ мм}$$

где $d_э$ – диаметр электрода, мм; S – толщина свариваемого металла, мм. Вертикальные и потолочные швы свариваются электродами диаметром не более 4 мм.

Величина сварочного тока может быть определена по формуле

$$J = (40 \dots 50) d_э, \text{ А}$$

При выполнении потолочных и вертикальных швов сварочный ток уменьшают на 10–15%.

Низкоуглеродистые стали отличаются хорошей свариваемостью. Понижать свариваемость могут вредные примеси, если содержание их будет превышать норму. Вредными для сварки элементами в низкоуглеродистой стали могут являться углерод, фосфор и сера. Наличие вредных примесей зависит от способа производства: сталь повышенного качества сваривается лучше, чем сталь обыкновенного качества соответствующей марки; сталь мартеновская – лучше, чем конвертерная, а сталь мартеновская спокойная – лучше, чем кипящая.

Углеродистые стали, содержащие более 0,25% углерода, обладают пониженной свариваемостью по сравнению с низкоуглеродистой, причем свариваемость снижается по мере повышения содержания углерода. Стали с повышенным содержанием углерода легко закаляются, что ведет к получению твердых хрупких закалочных структур в зоне сварки и может сопровождаться образованием трещин. Повышенное содержание углерода усиливает процесс его выгорания с образованием газообразной окиси углерода, вызывающей кипение ванны и приводящей к получению пористого наплавленного металла.

При содержании углерода свыше 0,5% возникают значительные сложности при сварке. Углеродистые стали вообще обладают пониженной свариваемостью, поэтому при возможности рекомендуется заменять их низколегированными конструкционными сталями, которые дают ту же прочность при значительно меньшем содержании углерода за счет легирующих элементов.

Сварку углеродистых сталей рекомендуется выполнять с предварительным подогревом и последующей термообработкой.

Большинство низколегированных конструкционных сталей обладает удовлетворительной свариваемостью. В некоторых случаях требуется небольшой предварительный подогрев стали до 100–200°C. Ориентировочно определить свариваемость низколегированной стали можно по углеродному эквиваленту:

$$C_{\text{ЭКВ}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15},$$

где символы элементов означают, процентное содержание их в стали. При эквиваленте меньше 0,45% свариваемость удовлетворительная, если же эквивалент больше 0,45%, то необходимо применять специальные меры, например, проводить предварительный подогрев и последующую термообработку.

При наплавочных работах режимы подбираются по следующей схеме. При восстановительных работах диаметр электродной проволоки чаще подбирается в пределах $d_{\text{эл}} = 1,6\text{--}2,5$ мм. Плотность тока K_T принимают: при ручной дуговой наплавке 10–30А/мм², при автоматической наплавке в среде защитного газа > 200А/мм². Сила сварочного тока:

$$J = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} K_T, \text{ А},$$

Масса наплавленного металла m_H , за 1 час равна $M_H = \alpha_H J$, где α_H – коэффициент наплавки, определяющий

массу наплавленного металла при силе тока в 1 А за 1 час (Г/Ач). Коэффициент наплавки при ручной наплавке тонкообмазанными электродами: 7,8–8,5 Г/Ач, толстообмазанными электродами: 10–14 Г/Ач, под слоем флюса: 14–16 Г/Ач, при вибродуговой наплавке: 8–10 Г/Ач, в среде CO₂: 12–14 Г/Ач.

1.1.2. Газовая сварка и наплавка

Газовая сварка и наплавка, как и электродуговая сварка, имеет широкое применение при ремонте машин благодаря простоте, универсальности и возможности использовать недорогое оборудование. Для образования высокотемпературного пламени при газопламенной (газовой) сварке используется горючий газ – ацетилен или его заменитель (пропан-бутан) и кислород. Для выполнения сварочно-наплавочных работ требуются следующее оборудование и материалы: ацетиленовые генераторы или ацетиленовые баллоны, кислородные баллоны, кислородные редукторы, сварочные и наплавочные горелки с набором наконечников, резаки, кислородные и ацетиленовые шланги, присадочная проволока, флюсы или сварочные порошки.

В качестве горючего газа чаще применяется ацетилен (C₂H₂), получаемый в ацетиленовых генераторах при действии воды на карбид кальция (CaC₂)



Ацетилено-кислородное пламя имеет наибольшую температуру (3050–3150° С), по сравнению с другими видами пламени, например пропан-бутан кислородным (2400°С), или пламенем, получаемым при сгорании в кислороде природного газа (2200°С).

В зависимости от соотношения объемов ацетилена и кислорода, подаваемых в горелку, различают три вида ацетиленокислородного пламени:

нормальное	$-\frac{O_2}{C_2H_2} = 1,1 \dots 1,2$
окислительное	$-\frac{O_2}{C_2H_2} = 1,2 \dots 1,4$
науглераживающее	$-\frac{O_2}{C_2H_2} = 0,8 \dots 1,0.$

Ацетилен для газовой сварки получают в ацетиленовых генераторах, которые классифицируют по давлению получаемого газа: низкого давления до $0,1 \text{ кгс/см}^2$ ($0,01 \text{ МПа}$), среднего $0,1-1,5 \text{ кгс/см}^2$ ($0,01-0,15 \text{ МПа}$) и высокого более $1,5 \text{ кгс/см}^2$ (свыше $0,15 \text{ МПа}$). В ремонтной практике нашли применение генераторы низкого и среднего давления. По способу взаимодействия карбида кальция с водой генераторы подразделяются на 4 типа: «карбид на воду», «вода на карбид», «вытеснения» и комбинированные – «вода на карбид и вытеснения». В ремонтном производстве нашли широкое применение генераторы АСМ-1-66; МПВ-0,8; МГ-65; ГНВ-1,25; АНВ-1,25; АНД-1-61; ГВР-1,25М; ГВР-1,25М4; ГВР-3.

Ацетилен может поставляться к месту сварки в ацетиленовых баллонах под давлением $15-16 \text{ кгс/см}^2$ ($1,5-1,6 \text{ МПа}$). Для безопасного хранения газа баллоны для ацетилена заполняют пористой массой (активированный уголь, инфузорная земля), которую пропитывают ацетоном, хорошо растворяющим ацетилен. Баллоны для ацетилена объемом 40 л окрашивают в белый цвет. При 20°C и при давлении 10 кгс/см^2 (1 МПа) в баллоне содержится 5500 л ацетилена.

Кислород, используемый при газовой сварке, поступает в баллонах емкостью 40 л под давлением 150 кгс/см^2 (15 МПа). Баллон окрашен в голубой или синий цвет и содержит при полной заправке 6000 л, или 6 м^3 кислорода.

Для понижения давления газа до рабочего и поддержания устойчивого отрегулированного давления используют редукторы: кислородные ДКП-1-65; ДКД-8-65; ДКД-15-65; ацетиленовые ДАП-1-65; ДАД-1-65; пропан-бутановые ДПП-

1-65. Редукторы, как и баллоны, окрашивают в соответствующий газу цвет.

Основным рабочим инструментом при выполнении газовой сварки и наплавки являются горелки, с помощью которых производится смешивание горючего газа и кислорода, образование пламени и его регулирование. Применяются инжекторные и безинжекторные горелки. В инжекторных горелках горючий газ поступает путем подсоса (инжекции) его струей кислорода. В безинжекторных горелках кислород и горючий газ подаются независимо друг друга.

Для сварки стали толщиной 0,5–30 мм применяются горелки ГС «Звезда» с комплектом наконечников (№ 1–7), для стали толщиной 0,2–4 мм – горелки ГС-2 «Звездочка» и «Малютка» с 4 наконечниками (№1–4).

Особенность горелок, работающих на газах – заменителях ацетилена заключается в том, что между мундштуком и трубкой наконечника помещена подогревательная камера. На подогрев расходуется 5–10% горючей примеси. Такой горелкой является ГЗУ-2-62-1 с набором наконечников (№1–4) для сварки деталей толщиной до 7 мм.

Для резки металла толщиной до 300 мм ацетилено-кислородным пламенем выпускаются резаки «Пламя-62», УР-49.

Подвод кислорода и ацетилена осуществляется через шланги. Для подвода кислорода применяются шланги с внутренним диаметром 6, 9, 12 и 16 мм, рассчитанные на рабочее давление 15 кгс/см² (1,5 МПа), для подвода ацетилена и другого горючего газа – шланги с такими же внутренними диаметрами, рассчитанные на рабочее давление 6 кгс/см² (0,6 МПа).

Применяют два способа газовой сварки: левый и правый. При левом способе процесс сварки выполняется справа налево. Горелка перемещается за присадочным прутом, а

пламя направляется на не сваренные кромки, подогревают их и подготавливают к сварке. Сварочный шов остается сзади горелки, пламя направлено вперед, на основной металл. Способ позволяет получить сварочный шов более равномерный по высоте и ширине, т.к. сварщик отчетливо видит шов. Левый способ применяется при сварке тонких листов и вертикальных швов снизу вверх. При правом способе процесс ведут слева направо. Горелка перемещается впереди присадочного прутка, а пламя направляется на формирующийся шов, в результате сварочная ванна хорошо защищена от воздействия атмосферного воздуха и сварочный шов охлаждается замедленно. Правый способ применяется при сварке металла толщиной более 5 мм.

Диаметр присадочной проволоки при сварке левым способом:

$$d = \frac{S}{2} + 1, \text{ мм},$$

правым:

$$d = \frac{S}{2}, \text{ мм},$$

где S – толщина свариваемого металла, мм.

Газовой сваркой хорошо свариваются малоуглеродистые стали, с применением присадочного материала из сварочной проволоки Св-08ГА, Св-08ГС, Св-10Г2. Среднеуглеродистая сталь сваривается удовлетворительно, сварку ведут слегка восстановительным пламенем, левым способом при толщине металла более 3 мм требуется общий подогрев до 250–300°С или местный до 650–700°С с применением проволоки Св-12ГС.

Сварка нашла применение при заварке трещин, наложении заплат, сварке тонколистового металла при ремонте кузовов, кабин, баков, оперения.

1.1.3. Сварка чугунных деталей

Обладая хорошими литейными свойствами, чугун нашел широкое применение для изготовления корпусных, базовых и других деталей сельскохозяйственной техники. Из серого чугуна изготавливаются детали сложной формы, имеющие значительные размеры и массу (блоки и головки двигателей, корпуса коробок передач, передних и задних мостов, картеры, кронштейны, шкивы и др.). Характерными дефектами чугунных деталей являются трещины, пробоины, отколы, износ отверстия, износ резьбы, коробление. Для устранения этих дефектов широкое применение получила электродуговая и газовая сварка.

Сварка и наплавка чугуна из-за особенностей химического состава, структуры и физико-механических свойств представляет значительные трудности. Трудности обусловлены тем, что при быстром охлаждении серого чугуна, нагретого до температур свыше 750°C при сварке, углерод, находящийся в чугуне в свободном состоянии в виде графита, легко переходит в цементит (т.е. чугун отбеливается). Относительное удлинение чугуна при разрыве практически равно нулю, что является причиной при интенсивном нагреве и охлаждении возникновения высоких внутренних напряжений и образования трещин в околошовной зоне. В расплавленном состоянии чугун жидкотекучий и мгновенно переходит из жидкого состояния в твердое, минуя пластическое. Имея пористое строение, чугунные детали при эксплуатации пропитываются маслом, что при сварке ведет к образованию газов, шлаковых включений, которые не успевают выйти из расплавленного металла, и, как следствие, шов получается пористым и загрязненным неметаллическими включениями.

К сварным соединениям чугунных деталей предъявляются следующие требования: возможность обработки обычным режущим инструментом, прочность металла шва должна

быть не ниже прочности основного металла, зона термического влияния должна быть минимальной, равнопрочность соединения, однородность наплавленного и основного металла детали по химическому составу и структуре.

Подготовка чугунных деталей к сварке начинается с выявления дефектных участков и границ трещин. Поверхность металла вокруг трещины зачищают до блеска, трещину разделяют, а концы засверливают сверлом диаметром 3–4 мм.

По состоянию свариваемых деталей выделяют два способа сварки – горячий и холодный.

Горячая сварка. Горячую сварку применяют для устранения дефектов крупногабаритных чугунных деталей сложной формы. При этом деталь нагревают (в печи или другим способом) до температуры 650–680°С. Во время сварки температуру детали поддерживают не ниже 500°С, что задерживает охлаждение сварочной ванны, способствует тому, что большой объем металла в ванне находится в жидком состоянии, обеспечивает выравнивание состава металла ванны и его полную графитизацию при остывании. Нагрев предупреждает появление сварочных напряжений и трещин. После сварки детали подвергают отжигу при температуре 600–650°С и охлаждают вместе с печью или термосах со скоростью 50–100°С в час. Горячую сварку чугунных деталей выполняют чугунными электродами марок ОМЧ-1 с чугунными стержнями марок А с повышенным содержанием кремния до 3–3,5% диаметрами 8, 10, 12, 16 мм. Применяют переменный и постоянный ток обратной полярности.

При газовой сварке используют нормальное или науглероживающее пламя с применением литых чугунных прутков диаметром 4, 6, 8, 10, 12 мм марки Б (для небольших деталей) и марки А (для крупных деталей) с повышенным содержанием кремния, обеспечивающего графитизацию углерода. Для повышения качества сварки используют специальные флюсы ФСЧ-1 и ФСЧ-2, можно также применять в качестве флюса

техническую буру или 50 %-ную смесь углекислого натрия и калия, как присадочный материал – чугунные прутки марок ПЧ-2 и ПЧ-3.

При обеспечении качественных сварных соединений горячая сварка имеет недостатки – это высокая трудоемкость, сложность оборудования и малая производительность.

Холодная сварка. При этом способе деталь не нагревают, и поэтому должны применяться такие режимы сварки, электроды и присадочные материалы, которые снижали бы до минимума возможность отбеливания чугуна и образования внутренних напряжений и трещин.

Холодная электродуговая сварка ведется на постоянном токе обратной полярности с применением электродов малого диаметра (3–4 мм) и силой тока $J = (25–30) \cdot d_э$, А. Сварку ведут электродами из малоуглеродистой стали Св-08 с меловым покрытием или электродами УОНИ 13/45, УОНИ 13/55, применяя метод отжигающих валиков. Для заделки трещин в крупногабаритных, толстостенных деталях на разделанных трещинах устанавливаются стальные резьбовые ввертыши, которые затем обвариваются вокруг с последующим заплавлением всей разделки шва.

Хорошие результаты для заварки трещин и получения плотных швов возможны при применении электродов из цветных металлов и медножелезных электродов. Используют электроды МНЧ-2 из медно-никелевого сплава НМЖМц 28-2,5-1,5 (монель-металл) $Cu=28\%$; $Ni=68\%$; $Fe=2,5\%$; $Mn=1,5\%$; диаметром 3, 4, 5 мм. Сварку можно вести как газовым пламенем, так и электрической дугой. Применяются также электроды ЦЧ-4, ОЗЧ-1, МНЧ-1.

Наиболее совершенна сварка с применением самозащитной проволоки на никелевой основе ПАНЧ-11, ($Ni=80\%$; $Cu=2–3\%$; $Mn=1–4\%$; Fe – остальное), разработанной институтом им. Е.О. Патона. Сварка ведется открытой дугой без дополнительной защиты или флюса на постоянном токе пря-

мой полярности проволокой диаметром 1–1,2 мм, силой тока 100–140А. Малый диаметр проволоки позволяет применять узкую разделку кромок. При сварке проволокой ПАНЧ-11 используются шланговые полуавтоматы А-825М; А-547У; А-547.

При сварке и заварке трещин в чугунных деталях хорошие результаты получают при механизированной сварке проволокой МНЖКТ-5-1-01-02 и Св-15ГСТЮЦА на железной основе (0,12–0,18% С; 0,45–0,85% Si; 0,6–1,0% Mn; <0,3% Cr; <0,4% Ni; 0,05–0,2 Ti; <0,025S; <0,025P; 0,2–0,5 Al; 0,05–0,15 Zr; $\geq 0,04$ Се) диаметром 1,0–1,2 мм в среде инертных газов и под слоем флюса с использованием постоянного тока силой 80–100 А обратной полярности. Шов после сварки проковывается молотком. Сварку ведут полуавтоматами А-825; А-547У; А-765. Схема разделки трещин (а) и последовательность заварки (б) приведена на рисунке 1.7.

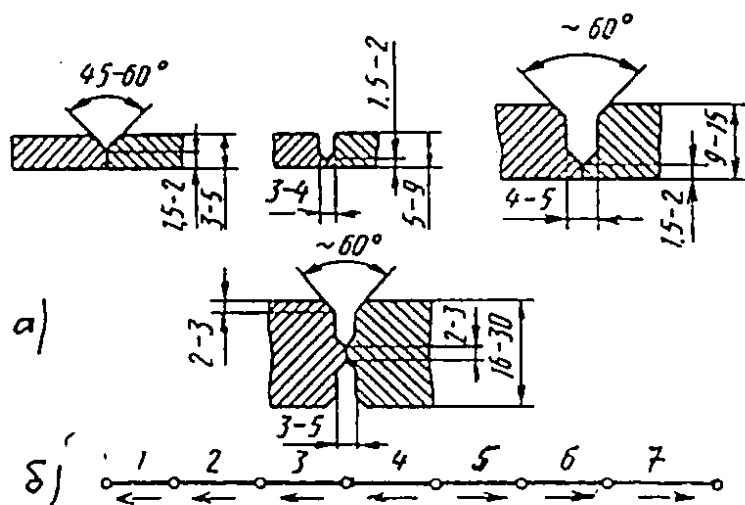


Рисунок 1.7 – Схема разделки трещин (а) в зависимости от толщины стенки детали при сварке электродной проволокой ПАНЧ-11 или Св-15ГСТЮЦА и последовательность сварки (б)

Механизированная сварка с использованием шланговых полуавтоматов А-547; А-765; А-1135; А-1130 позволяет производить сварку чугунных деталей с применением порошковой проволоки ППЧ-1, ППФ-2, ППЧ-3.

Проволоку изготавливают завальцовыванием в трубку стальной низкоуглеродистой ленты толщиной 0,6 мм с одновременным заполнением трубки порошком следующего состава и последующим волочением: ППЧ-1 (С = 7,0–7,5%; Si = 4,0–4,5%; Ti = 0,4–0,6%; Al = 0,6–0,9%; Mn = 0,4–0,8%; Fe – остальное); ППЧ-2 (С = 5,6–6,5%; Si = 3,3–4,0%; Ti = 0,4–0,8%; Al = 0,9%; Mn = 0,4–0,8%; Fe – остальное); ППЧ-3 (С=4,5–5%; Si = 3,3–4,2%; Ti = 0,1–0,3 %; Al = 0,1–0,3 %; Mn = 0,6–1,0%; Fe – остальное). Сварку ведут в среде углекислого газа постоянным током обратной полярности.

1.1.4. Сварка алюминия и его сплавов

Из алюминия и его сплавов изготавливается большое количество деталей тракторов, автомобилей, сельхозмашин и животноводческого оборудования (блоки цилиндров, головки блоков цилиндров, радиаторы, масляные картеры, поршни, картеры маховиков, корпуса масляных насосов, емкости и др.). Характерными дефектами деталей, поступающих в ремонт, являются трещины, изломы, пробойны, износы рабочих поверхностей, срывы резьбы, коррозионные разрушения. Все эти дефекты могут быть устранены с помощью сварки. Сварка алюминиевых деталей сопряжена с трудностями, обусловленными особенностями физико-механических свойств. Поверхность алюминиевых деталей покрыта пленкой окислов Al_2O_3 , обладающей высокой температурой плавления $2050^{\circ}C$, тогда как температура плавления алюминия $658^{\circ}C$. Таким образом, расплавленный алюминий постоянно покрыт пленкой Al_2O_3 , которая препятствует соединению свариваемого и электродного металла. Кроме того, алюминий имеет высокий коэффициент линейного расширения, в 2 раза больший, чем у стали и в 3 раза большую теплопроводность, что приводит к значительным деформациям свариваемых деталей. Затрудняет сварку и большая жидкотекучесть алюминия.

Алюминий и его сплавы свариваются газовой и дуговой сваркой с помощью металлического или тугоплавкого электрода в среде защитных газов. Перед сваркой кромки металла должны быть тщательно очищены механическими средствами или химическими способами – промывкой в водном растворе каустической соды или бензине. После промывки раствором соды необходима тщательная и длительная промывка проточной водой во избежание появления коррозии. При ремонте корпусных деталей рекомендуется предварительный подогрев изделия до температуры около 300° С.

При ремонте толстостенных изделий можно иногда обходиться без специального флюса. При этом после разогрева газовым пламенем кромок изделия до жидкого состояния окись алюминия все время счищают с поверхности ванны скребком из стальной проволоки, а конец присадочного прутка для уменьшения окисления погружают в сварочную ванну.

В нормальных условиях совершенно необходимо применение специальных флюсов, энергично растворяющих окись алюминия. К таким флюсам и обмазкам относятся фтористые и хлористые соли натрия, калия, кальция, лития. Флюсы из этих солей хорошо растворяют пленку окислов алюминия. Их легкоплавкость и жидкотекучесть способствуют качественному формированию сварного шва.

Газовая сварка алюминия производится с применением специального флюса АФ-4А, АН-4А, которые растворяются в воде и в виде пасты наносятся на присадочный прутки и свариваемые кромки деталей. Рекомендуется выбирать присадочный прутки сходного химического состава со свариваемыми изделиями. Если не требуется идентичности химического состава основного и наплавленного металлов, в качестве присадочного материала рекомендуется применять сплав алюминия с кремнием с содержанием кремния около 5 %. Этот сплав дает минимальную усадку при затвердении, образует плотные и прочные швы с хорошей гладкой поверх-

ностью. Размер горелки для сварки алюминия должен быть на один номер меньше, чем для сварки низкоуглеродистой стали той же толщины.

Лучшие результаты при ремонте деталей из алюминия и алюминиевых сплавов дает аргонодуговая сварка тугоплавким вольфрамовым электродом, не требующим применения специальных флюсов. Применяют вольфрамовые электроды ВЛ-10 с примесью 0,9–1,1 % лантана или ВТ-15 с содержанием 1,5–2 % тория. Диаметр электрода от 1 до 5 мм применяют специальные установки УДГ-301, УДГ-501, УДАР-500, предназначенные для сварки алюминия и его сплавов на переменном токе в среде аргона. В качестве присадочного прутка используется проволока или полоса из того же сплава, что и основной металл, либо алюминиевая проволока марки АК, содержащая до 5% кремния.

Сварка алюминиевых деталей может производиться ручной дуговой сваркой плавящимися электродами марки ОЗА-2 на постоянном токе обратной полярности. Электроды ОЗА-2 изготавливаются из алюминиевой проволоки АК и покрытия, состоящего из хлористых и фтористых сталей щелочных и щелочноземельных металлов. Перед использованием электроды прокаливают при температуре 200–300°C в течение 1–1,5 ч. Сварка ведется короткой дугой при силе тока $J = (30-35) \cdot d$, А. Из-за большой жидкотекучести алюминия сварку рекомендуется вести в нижнем положении с применением медных подкладок.

1.1.5. Сварка нержавеющей сталей

Из высоколегированных сталей широкое применение нашли стали аустенитного класса обладающие хорошей свариваемостью.

Аустенитные нержавеющей стали относятся к сталям, которые легированы хромом, никелем, титаном и другими элементами. Они обладают высокой коррозионной стойко-

стью, хорошими механическими свойствами. От обычных углеродистых сталей они отличаются значительно меньшей теплопроводностью, большим коэффициентом линейного расширения, высоким электросопротивлением.

К таким сталям относятся общеизвестная нержавеющая сталь X18H9T типа 18-8 (18% Cr и 8% Ni) с небольшим содержанием титана (не выше 0,8%). Титан при сварке прочно связывает освобождающийся углерод и тем самым предотвращает распад аустенита. Хромоникелевые аустенитные стали с повышением содержания легирующих элементов, например при содержании (25%—Cr; 20%—Ni) они становятся жаропрочными. Содержание углерода в хромоникелевых аустенитных сталях должно быть минимальным, не превышающий 0,10–0,15 %, иначе возможно выпадение карбидов хрома, резко снижающее ценные свойства аустенитных сталей.

Сварка аустенитных нержавеющих сталей может быть осуществлена вручную электродами с качественными покрытиями, автоматами и полуавтоматами под слоем флюса, неплавящимся (вольфрамовым) и плавящимся электродами в среде защитных газов.

Основные особенности сварки аустенитных сталей обусловлена значительными отличиями их по свойствам от углеродистых сталей. Специфичность технологии сварки хромированных аустенитных сталей обусловлена необходимостью получения коррозионно-устойчивых, прочных и плотных сварных соединений. Склонность к снижению коррозионной стойкости сварных соединений аустенитных сталей связано с наличием и распределением карбидов. С увеличением содержания углерода в стали и времени выдержки в интервале температур 850–400°С выделение карбидов хрома увеличивается. Карбиды хрома располагаются по границам зерен стали, обедняя пограничные слои хромом, что ведет к снижению коррозионной стойкости. Это опасное явление в сталях называется межкристаллитной коррозией.

Повышение стойкости сварных швов к межкристаллитной коррозии может осуществляться путем ограничения содержания углерода в металле шва при введении элементов связывающих углерод и не допускающих образования карбидов хрома. С этой целью при сварке подбирают присадочный металл, легирующие обмазки и флюсы, применяют ускоренное охлаждение металла шва.

Сварка осуществляется с минимально возможной погонной энергией, т.е. с максимальной скоростью при наименьшей силе тока. Объем сварочной ванны должен быть наибольшим, а швы узкими, поперечные колебания не рекомендуются; каждый последующий валик при многослойной сварке накладывается только после остывания предыдущего. Для ускорения, охлаждения шва используются массивные медные подкладки, охлаждение водой или струей воздуха. При сварке нержавеющей сталей разбрызгивание нежелательно, т.к. разбрызгивание приводит к повреждению поверхности стали и появлению на местах брызг микротрещин. Поэтому зажигание дуги и обрыв дуги необходимо производить только на шве или технологических планках. Поверхность металла с обеих сторон от разделки шва защищают асбестом или покрывают раствором каолина.

К присадочным материалам предъявляются особые требования, которые должны быть аустенитного класса, желательно с некоторым избытком легирующих элементов, с учетом возможного их выгорания при сварке и со стабилизирующими добавками – титаном или ниобием.

Для ручной дуговой сварки нержавеющей сталей марок 08X18H12T, 08X18H10T, 12X18H9T, X20H12T могут быть рекомендованы электроды марок УЭЗ ОЗЛ-8, УЭЗ ЦТ-15, УЭЗ ЦЛ-11 ГОСТ 9466-75 (таблица 1.2).

Таблица 1.2

Рекомендуемые значения силы тока (А)

Диаметр, мм	Положение шва		
	нижнее	вертикальное	потолочное
3,0	50–90	50–70	50–70
4,0	90–140	90–110	90–110
5,0	120–170	120–140	–

В качестве наплавочной проволоки могут быть рекомендованы проволоки марок Нп-Х15Н60, Нп-Х20Н80Т, Нп-20Х14. Швейцарская фирма «Sulzer Metco» выпускает проволоочные материалы марок Metcoloy 1, Metcoloy 2, Metcoloy 5. Фирма Esab (Швеция) выпускает электроды ОК68.82, ОК67.45.

Хорошие результаты сварки аустенитных нержавеющей сталей дает сварка в среде защитного газа – аргон.

Аргоновая сварка неплавящимся и плавящимся электродами широко используется при изготовлении конструкций из нержавеющей сталей.

Основные преимущества аргонодуговой сварки: высокая коррозионная стойкость, прочность и плотность сварных швов; отсутствие выгорания элементов почти полный переход их из сварочной проволоки в шов; отсутствие брызг; возможность сваривать однородные и разнородные металлы различной толщины. К недостаткам аргонодуговой сварки следует отнести: относительно низкая по сравнению с ручной дуговой сваркой производительность для толщин свыше 3–4 мм, потребность в дорогостоящих материалах (аргон или гелий и вольфрам).

Для сварки нержавеющей сталей обычно применяют аргон марок: В – 99,90% Ar, Б – 99,96% Ar; А – 99,99% Ar: применяют для особо ответственных деталей и конструкций.

В качестве неплавящегося электрода используются прутки чистого или лантанированного вольфрама марки ВЛ-10. Конец электрода затачивается под углом 10–30°. Диаметр

электрода выбирается таким, чтобы электрод не расплавлялся при токе, требуемом при сварке.

В связи с рядом преимуществ наибольшее распространение получила сварка на постоянном токе.

1.2. Механизированные способы наплавки

Ручная дуговая сварка и наплавка трудоемки, требуют высокой квалификации рабочего, дороги, не могут обеспечить необходимого качества продукции. Для устранения недостатков ручной сварки и наплавки механизированы и автоматизированы основные операции процесса – зажигание дуги, подача электродов в зону сварки (наплавки) по мере сгорания, обеспечение устойчивого горения дуги и перемещение электрода вдоль свариваемого (наплавляемого) изделия. По степени механизации процесса различают автоматы и полуавтоматы. В полуавтоматах перемещение электрода вдоль наплавляемой поверхности осуществляется вручную.

Устройство, производящее зажигание дуги, подачу электродов по мере сгорания и обеспечивающее устойчивое горение дуги, называется автоматической головкой. В автоматической головке вместо отдельных коротких электродов, применяемых в процессе ручной сварки, используется электродная проволока большой длины, в мотках или бухтах, разматываемая механизмом автомата и подаваемая в зону горения чугуна и по мере ее плавления. Механизм подачи электродной проволоки работает от электродвигателя, через понижающий редуктор и пару роликов, один из которых ведущий, а второй подпружиненный – прижимной. Расстояние от токопроводящих контактов до дуги невелико (несколько сантиметров), поэтому автомат работает как бы коротким непрерывно возобновляемым электродом, что уменьшает нагрев проволоки джоулевым теплом, дает возможность применять ток высоких плотностей в электродной проволоке без ее перегрева. Подача проволоки производится автоматически со

скоростью ее плавления, поэтому длина дуги при сгорании проволоки остается постоянной.

Регулирование процесса сварки в автомате осуществляется путем согласования скорости подачи электродной проволоки с напряжением и длиной дуги. При нормальной длине дуги и нормальном напряжении автомат подает проволоку со скоростью ее плавления. При уменьшении длины дуги скорость подачи проволоки уменьшается, вследствие чего длина дуги и ее напряжение возрастают и устанавливаются их нормальные значения. С увеличением длины дуги скорость подачи проволоки возрастает и в результате длина дуги и ее напряжение уменьшается до нормальной, заданной величины. При коротком замыкании, когда напряжение дуги падает почти до нуля, направление подачи проволоки меняется, электрод отводится от металла до установления заданной длины дуги и напряжения.

По способу регулирования работы дугового автомата с плавящимся металлическим электродом различают автоматы с регулированием электрических величин и автоматы с постоянной скоростью подачи проволоки.

Для восстановления изношенных деталей наплавкой используются специальные автоматические наплавочные головки, устанавливаемые на токарных станках или специальных установках.

Автоматическая наплавка по сравнению с другими способами дает возможность получать на поверхности деталей слой необходимой толщины и нужного химического состава, высокой твердости и износостойкости.

1.2.1. Автоматическая наплавка под слоем флюса

При сварке (наплавке) под флюсом дуга горит под слоем сыпучего материала (рисунок 1.8). Флюс при наплавке выполняет следующие функции:

- устойчивое горение дуги;
- защита расплавленного металла от воздействия кислорода и азота воздуха;
- раскисление расплавленного металла;
- легирование наплавленного покрытия необходимыми химическими элементами;
- образование шлаковой корки и замедление остывания и затвердения металла.

Для выполнения этих функций в состав флюса вводят различные вещества:

- ионизирующие и стабилизирующие компоненты, обеспечивающие зажигание и устойчивое горение дуги (мел, мрамор, сода, диоксид титана и др.);
- газообразующие, обеспечивающие создание газового пузыря, защищающего расплавленный металл от атмосферы (древесная и пищевая мука, крахмал, декстрины и др.);
- шлакообразующие, для образования шлаковой корки для медленного остывания наплавленного металла (полевой и плавиковый шпат, кварц, гранит, мрамор, титановый концентрат, марганцевая руда и др.);
- раскислители, для удаления окислов железа и восстановления марганца и кремния (марганцевая руда, кварцевый песок, плавиковый шпат, рутил и др.);
- легирующие (ферромарганец, ферросилиций, феррохром, ферротитан и др.);
- связующие добавки (жидкое стекло, декстрин).

Электрическая дуга расплавляет флюс и горит внутри газового пузыря, образуемого выделяющимися газами. Сверху газовый пузырь и расплавленный металл закрывают шлаковая корка и слой нерасплавленного флюса. Газы, шлаковая корка и слой флюса предохраняют расплавленный металл от вредного воздействия окружающего воздуха и, тем самым, уменьшают выгорание из него углерода и других элементов, снижают образование окислов железа и теплоотвод в окру-

жающую среду. Увеличение времени нахождения сварочной ванны в расплавленном состоянии способствует дегазации расплава. Закрытая дуга позволяет резко увеличить силу тока без потерь металла на угар и разбрызгивание. Коэффициент потерь составляет 2–5% против 20–30% при наплавке открытой дугой. Более длительное нахождение сварочной ванны в жидком состоянии способствует хорошему ее перемешиванию и дегазации. Давление, возникающее в газовом пузыре, обеспечивает образование плотных швов.

При автоматической сварке (наплавке) под слоем флюса возможно получение наплавленного слоя любых механических свойств за счет применения электродной проволоки различных марок и флюса. При наплавке часть легирующих элементов выгорает, их пополнение идет из материала электродной проволоки или материала флюса. Несмотря на значительные преимущества наплавки под слоем флюса, процесс имеет ряд недостатков. Применение тока большой плотности способствует значительному нагреву детали при наплавке, что при сложной ее конфигурации и малом диаметре может вызвать коробление. Сыпучесть флюса не позволяет наплавлять детали диаметром менее 50 мм из-за трудности удержания флюса на поверхности. Применение флюса, а его расходуемая масса примерно равна массе расплавленного металла, удорожает стоимость восстанавливаемой детали.

Автоматическая наплавка под слоем флюса в ремонтном производстве применяется для восстановления плоских и цилиндрических поверхностей крупногабаритных деталей. Наплавка целесообразна в тех случаях, когда толщина слоя более 3 мм. Производится наплавка деталей ходовой части тракторов: направляющие колеса, поддерживающие ролики, опорные катки, ведущие звездочки, звенья гусениц и башмаков, а также коленчатые валы двигателей, шлицевые валы и др.

При автоматической наплавке под слоем флюса применяют автоматические головки, устанавливаемые на токарных

станках, типа А-580, ОКС-1031Б, ОКС-1252М, ОКС-6569, а также наплавочные установки 011-1-00 «Ремдеталь», 011-1-00 «Ремдеталь», У-209, У-652, У-654, А-1406. Применяют также специализированные установки УД-299 для электродуговой наплавки беговых дорожек звеньев гусениц тракторов класса 6Т, УД-302 – для наплавки катков и направляющих колес тракторов, 01.07-003 «Ремдеталь» – для наплавки беговых дорожек роликов и натяжных колес тракторов Т-100М и Т-130. Кроме автоматических головок и установок при наплавке под слоем флюса могут быть применены также полуавтоматы ПШ-54; ПДШМ-500.

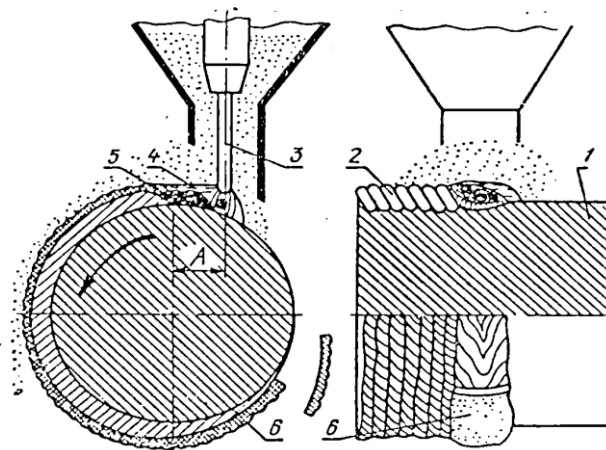


Рисунок 1.8 – Наплавка под слоем флюса:

1 – деталь; 2 – наплавленный слой; 3 – электрод; 4 – расплавленный флюс; 5 – ванная расплавленного металла; 6 – шлаковая корка;
А – смещение электрода с зенита

В качестве источников тока используют сварочные преобразователи ПС-300, ПСУ-300, ПСГ-500, ПСУ-500 и сварочные выпрямители ВС-300, ВС-600, ВС-1000, ВДГ-1001, ВДУ-601 и др.

Присадочным материалом при сварке под слоем флюса служит сварочная проволока типа (Св.), наплавочная типа (Нп) и порошковая проволока (ПП).

Наряду со стальной проволокой сплошного сечения при наплавке широко применяется порошковая проволока (ПП),

представляющая собой свернутую в трубку низкоуглеродистую стальную ленту, наполненную шихтой, состоящей из смеси ферросплавов (феррохром, ферромарганец, ферросилиций), железного порошка, графита и других материалов. Порошковые проволоки для наплавки под флюсом содержат преимущественно легирующие элементы, а для наплавки открытой дугой содержат материалы, образующие газы и шлаки, которые надежно защищают от кислорода и азота воздуха. Для наплавки под слоем флюса применяют порошковые проволоки ПП30ХВ8, ПП3Х2В8, ППАН120, ПП10ХВ14, ПП2Г13А и др. Для наплавки открытой дугой применяют самозащитные проволоки ППАН1, ППЭХ13-О, ПП1Х14Т-О, ППУЗОХ14СМФ-О, ППУ25Х13Т-О и др. Буква О в конце маркировки указывает на порошковую проволоку с внутренней защитой для наплавки открытой дугой. Преимуществом порошковых проволок с внутренней защитой является то, что при их использовании не требуется применения защитных газов, флюсов и других средств. Создается возможность легирования в широких пределах наплавляемого слоя металла, что обеспечивает его закаливание на воздухе. Использование порошковых проволок позволяет экономить наплавочный материал. Порошковые проволоки рекомендуется применять при восстановлении деталей с большим износом с широким диапазоном твердости – НВ 200–600.

Для наплавки под флюсом применяют также стальную ленту из углеродистой и легированной стали толщиной 0,1–0,3 мм и шириной 20–50 мм, а также порошковую ленту ПЛ-АН 102, ПЛ-А171 и др.

Флюсы, применяемые при автоматической наплавке, по способу производства разделяют на плавные (АН-348А, АН-20, АН-28, АН-60, ОСЦ-45) и неплавные – керамические (АНК-18, АНК-19, ЖСН-1, К-2, КС-1). Керамические флюсы содержат ферросплавы (феррохром, ферромарганец, ферросилиций, ферротитан), которые придают флюсам леги-

рующие свойства. Применяют также флюсы-смеси, изготовленные перемешиванием в различных соотношениях флюсов АН-348А и АНК-18 в зависимости от требуемых свойств наплавленного слоя.

Возможно применение также флюсов, изготавливаемых путем добавления во флюс АН-348А графита, феррохрома, ферромарганца, ферроалюминия либо чугунной стружки и 20 % жидкого стекла с последующим прокаливанием в печи.

Сочетание электродных проволок различных марок и флюсов позволяет получать покрытия с различными свойствами. Свойства металла, наплавленного под слоем плавляющего флюса, приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Твердость и относительная износостойкость наплавленного металла под слоем флюса

Электродная проволока	Марка флюса	Твердость, НРС	Коэффициент относительной износостойкости
Нп-30ХГСА	АН-348А	36...38	1,17
Нп-30ХГСА	АН-20	31...33	1,28
Нп-30ХГСА	АН-60	41,5...43	1,33
Нп-80	АН-348А	35,5...36,5	1,24
Нп-80	АН-60	43,5...44,5	1,34
Нп-3Х13	АН-60	45,5...47,5	1,51
Нп-3Х13	АН-28	51,5...53	1,58
Нп-4Х13	АН-28	55...56	1,67
Нп-50	АН-348А	30...31	1,18
Св-18ХГСА	АН-348А	33...35	1,18
Св-08Г2С	АН-348А	22...24	1,02

На качество и формирование наплавленного под слоем флюса металла большое влияние оказывает режим наплавки: род, полярность и сила тока, напряжение, скорость наплавки, скорость подачи электродной проволоки, шаг наплавки, вылет электродной проволоки и смещение ее относительно оси наплавливаемой детали.

Величина сварочного тока определяет глубину проплавления основного металла и производительность процесса.

Ток выбирается в зависимости от диаметра электродной проволоки, диаметра наплавляемой детали. Чем меньше диаметр детали, тем меньше должны быть ток и диаметр электродной проволоки. Напряжение дуги связано с величиной сварочного тока. Чем больше сила тока, тем выше должно быть напряжение дуги. Для наплавки деталей рекомендуется напряжение в пределах 26–36 В. Наплавку обычно ведут на постоянном токе обратной полярности, обеспечивающем более стабильный процесс, чем при переменном токе. Скорость наплавки оказывает существенное влияние на формирование наплавленного валика. Скорость наплавки ограничивается величиной сварочной ванны и скоростью ее кристаллизации. Обычно скорость наплавки выбирается в пределах 15–45 м/ч. Скорость подачи электродной проволоки (80–300 м/ч) выбирают в зависимости от силы тока, диаметра электродной проволоки, диаметра наплавляемой детали, и она может быть определена по формуле:

$$V_{\text{пр}} = \frac{0,16 \cdot \alpha_n \cdot J_{\text{св}}}{d_3^2} \text{ м/ч,}$$

где d_3 – диаметр электродной проволоки, мм; $J_{\text{св}}$ – сварочный ток, А; α_n – коэффициент наплавки, г/а ($\alpha_n = 14–16$ г/А ч).

Вылет электрода выбирается в зависимости от его диаметра и глубины проплавления. При использовании наплавочной проволоки диаметром 1,2–1,5 и 1,6–2,0 мм рекомендуется вылет электрода соответственно 10–20 и 20–25 мм, а при применении стальной ленты – 30–35 мм. Шаг наплавки цилиндрических поверхностей устанавливается так, чтобы смежные валики перекрывались на 1/3–1/2 их ширины.

Электрод смещают относительно оси детали в сторону, противоположную направлению вращения на величину, равную 10 % диаметра наплавляемой детали, что позволяет предупредить стекание жидкого металла и расплавленного флюса. Режимы наплавки для различных диаметров детали приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Режимы наплавки под слоем флюса в зависимости от диаметра детали

Диаметр детали, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Ток, А	Напряжение, В	Скорость наплавки, м/ч	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Шаг наплавки, мм/об	Смещение электрода с зенита, мм	Толщина наплавляемого металла, мм
50...60	1,6	140...150	26...28	16...24	77	3	2...4	1,5...2,5
65...75	1,6	170...180	26...28	16...28	87	3,5...4	3...4	1,5...2,5
80...100	2,0	180...250	28...30	16...32	101	4...5	5...7	1,5...2,5
150...2000	2,0...3	220...300	30...32	16...32	140	5...6	8...10	2,0...3,0
250...3000	2,0...3	300...350	30...32	16...35	200	6...7	10...15	2,0...3,0

При наплавке электродными лентами могут быть рекомендованы такие режимы: плотность сварочного тока не ниже 15 А/мм^2 площади сечения ленты, напряжение дуги 25–35 В, скорость наплавки 8–20 м/ч, вылет электрода 30–35 мм, ток постоянный при обратной полярности.

При восстановлении деталей с большими износами наплавку производят в несколько слоев с обязательным удалением шлаковой корки после нанесения каждого слоя.

1.2.2. Вибродуговая наплавка

Вибродуговая наплавка является разновидностью дуговой наплавки металлическим электродом. Процесс наплавки осуществляется при вибрации электрода с подачей охлаждающей жидкости на наплавленную поверхность (рисунок 1.9). Вибрация электрода осуществляется с помощью электромагнитного или механического вибратора с частотой 50–100 кол/с. Наплавленный валик охлаждается водой, что обеспечивает закалку наплавленной поверхности. Цикл вибродуговой наплавки состоит из трех периодов: короткого замыкания, дугового разряда и холостого хода. При коротком замыкании электрода с деталью сила тока в цепи возрастает, а напряжение падает до 1,5–2,0 В. Вокруг обмоток источника тока и дросселя создается электромагнитное поле. Электрод в месте контакта нагревается. При отходе электрода от детали электромагнитное поле начинает исчезать, пересекая обмотки. В них индуцируется ЭДС самоиндукции, совпадающая по направлению с током источника питания. Напряжение между электродом и деталью повышается до тех пор, пока не возникает дуговой разряд. Напряжение его зависит от среды (воздух, жидкость, пар, флюс и т.п.) и составляет 24–30 В.

Если напряжение источника тока ниже 24–30 В, то благодаря энергии электромагнитного поля, накопленной во время короткого замыкания, напряжение повышается до

напряжения дугового разряда, что является важной особенностью процесса вибродуговой наплавки. В период дугового разряда выделяется наибольшее количество (50–95 %) тепла.

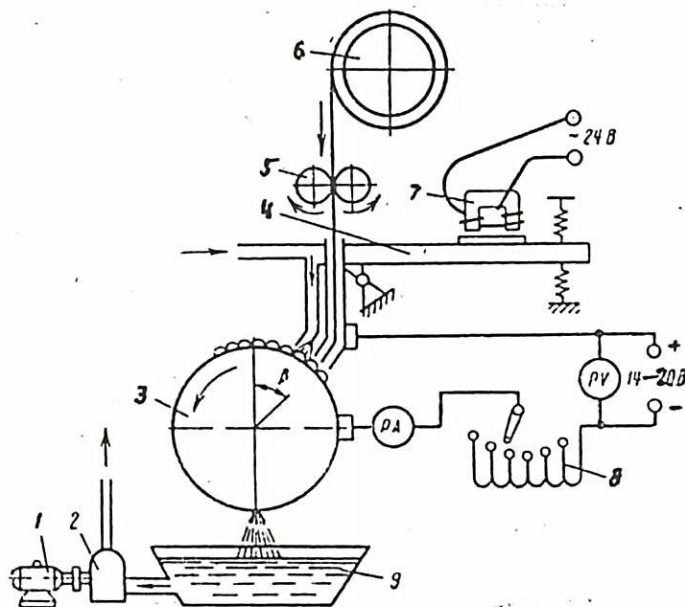


Рисунок 1.9 – Схема вибродуговой наплавки:

- 1 – электродвигатель; 2 – насос; 3 – наплавляемая деталь;
- 4 – вибрирующий мундштук; 5 – механизм подачи проволоки;
- 6 – кассета; 7 – вибратор; 8 – индуктивное сопротивление;
- 9 – ванна для охлаждающей жидкости

Расплавленный металл электрода в виде капель переносится в сварочную ванну. При дальнейшем отходе электрода от детали наступает период холостого хода. При правильно подобранных режимах процесса наплавки период холостого хода отсутствует. Вибродуговая наплавка производится с помощью автоматической головки, которая устанавливается на суппорте токарного станка вместо резцедержателя. В настоящее время широкое применение нашли универсальные головки ОКС-6569, ОКС-1252М, установки УД-144, УД-209, станок У-653. Для питания дуги используют источники постоянного тока с жесткой характеристикой (низковольтные агрегаты АНД 500/250, АНД 1000/500, выпрямители ВС-300, ВС-600, сварочные преобразователи ПСГ-300, ПСГ-500,

ПСУ-500). Для повышения устойчивости горения дуги в сварочную цепь включают стабилизирующий дроссель РСТЭ-34 (24), дроссели типа А-780, А-855 или дроссельную обмотку трансформатора СТН-500.

Вместо дросселя РСТЭ-34, который в настоящее время не производится промышленностью, можно использовать бухту стальной проволоки, внутрь которой пропускают несколько витков кабеля от источника тока (подобие соленоида). Количество витков подбирают экспериментально, добиваясь наименьшего разбрызгивания металла.

Вибродуговая наплавка ведется на постоянном токе обратной полярности, чем достигается лучшая стабильность и качественное формирование наплавленного валика.

Структура и механические свойства наплавленного слоя зависят от химического состава электродной проволоки и количества охлаждающей жидкости. При вибродуговой наплавке применяют сварочную углеродистую или легированную проволоку диаметром от 1,0 до 3,0 мм, ленту, а также порошковую проволоку. Используют сварочные проволоки Св08, Св08А, Св08ГА, Св10Г2СА, Св18ХГСА, Нп30, Нп65Г, Нп80 и др.

Марку проволоки выбирают в зависимости от требуемых механических свойств наплавленных поверхностей. Для большинства восстанавливаемых автотракторных деталей требуется высокая твердость наплавленного слоя НРС 42–45. Для достижения такой твердости обычно применяют электродную проволоку с содержанием углерода 0,6–0,8 % (Нп50, Нп50Г, Нп65Г, Нп80). При необходимости получения меньшей твердости следует применять проволоку с меньшим содержанием углерода, например Нп30. А для получения мягких, легко обрабатываемых покрытий наплавку производят без охлаждающей жидкости проволокой марок Св08, Св10, например, при восстановлении резьбовых поверхностей и при наплавке чугуновых деталей.

Твердость наплавляемого металла также регулируют количеством и местом подачи охлаждающей жидкости.

Диаметр электродной проволоки выбирают в зависимости от толщины наплавляемого слоя. Обычно для получения толщины наплавляемого слоя в 1 мм берут диаметр проволоки (1,0–2,0 мм), для слоя 1,5 мм (1,2–2,2 мм), слоя 2,0 мм (1,4–2,5 мм), для слоя 2,5 мм (1,6–2,5 мм), для слоя 3,0 мм (2,0–2,5 мм).

В качестве охлаждающей жидкости применяют различные растворы, хорошо ионизирующие зону горения дуги: водный раствор, содержащий 5 % кальцинированной соды, 1 % хозяйственного мыла и 0,5 % глицерина; водный 6 %-ный раствор кальцинированной соды; водный раствор 3–4% кальцинированной соды, 4–5 % глицерина или 20–30 %-ный раствор глицерина.

Скорость наплавки выбирают в зависимости от требуемой толщины наплавленного металла:

$$V_H = \frac{0,785 \cdot d_3^2 \cdot V_{пр} \cdot \eta}{h \cdot S} \text{ м/ч,}$$

где – d_3 диаметр электродной проволоки, мм; $V_{пр}$ – скорость подачи электродной проволоки, м/ч; η – коэффициент перехода электродного металла в наплавленный слой, $\eta = 0,8–0,9$; h – толщина наплавленного слоя; S – шаг наплавки, мм/об. Средняя скорость наплавки находится в пределах 5–20 м/ч. Скорость подачи электродной проволоки определяют из соотношения $V_{пр} = (1,5–2,5) V_H$, ее берут в пределах от 50 до 110 м/ч.

Шаг наплавки выбирают в зависимости от диаметра электродной проволоки: $S = (1,6–2,2)$ мм/об.

Амплитуда колебаний электрода равна 0,75–1,0 d_3 , при вылете электродной проволоки из мундштука 10–12 мм.

Вибродуговую наплавку применяют для восстановления большой номенклатуры автотракторных деталей, изготов-

ленных из стали, ковкого и серого чугуна. Этим способом восстанавливают наружные и внутренние цилиндрические резьбовые и шлицевые поверхности.

Основным преимуществом вибродуговой наплавки является небольшой нагрев деталей (около 100°C), малая зона термического влияния, что позволяет восстанавливать детали с малыми диаметрами от 12–15 мм. Толщина наплавленного слоя может достигать 0,5–3,5 мм на сторону.

Недостатками вибродуговой наплавки являются неравномерная твердость покрытия, а также снижение усталостной прочности восстановленных деталей.

С целью повышения производительности процесса вибродуговой наплавки в качестве электродного материала применяют стальную ленту или используют многоэлектродную (двумя-тремя электродами) наплавку. Разработаны и рекомендованы для ремонтного производства разные виды вибродуговой наплавки, такие как наплавка в различных средах (углекислом газе, водяном паре, потоке воздуха, водородокислородной смеси, газовоздушной пене, под слоем флюса) и наплавка с одновременным воздействием на наносимый металл (термомеханическая обработка при статическом или динамическом поверхностно-деформирующем усилии, ультразвуковые колебания, вводимые в сварочную ванну, электромагнитное перемешивание сварочной ванны, обработка наплавленного слоя лазером и др.).

1.2.3. Автоматическая наплавка в среде защитного газа

Сущность способа заключается в том, что сварочная дуга и расплавленный металл защищаются от вредного воздействия воздуха струей защитного газа. Схема процесса показана на рисунок 1.10. В качестве защитных газов используют инертные газы (аргон, гелий, их смеси), а также газы – диоксид углерода, азот, водород и их смеси.

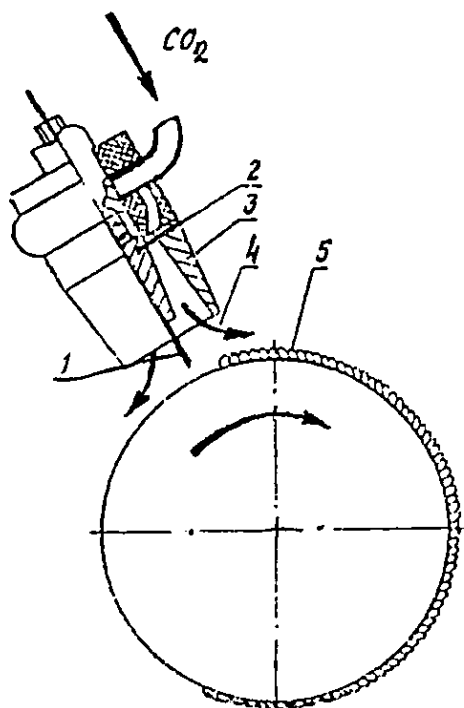


Рисунок 1.10 – Наплавка в среде углеродистого газа:
 1 – электродная проволока; 2 – мундштук; 3 – сопло горелки;
 4 – поток газа; 5 – наплавленный металл

Основными достоинствами сварки и наплавки в среде CO_2 являются: хорошее использование тепла сварочной дуги, что обеспечивает высокую производительность, возможность механизации и автоматизации процесса, высокое качество сварных (наплавленных) швов, возможность сварки (наплавки) малых толщин и диаметров, нет необходимости очистки швов от шлака, что важно при многослойной наплавке. К недостаткам процесса относится повышенное разбрызгивание металла (до 10–12 %), ограниченное легирование наплавленного металла только через электродную проволоку, пониженная износостойкость, понижение (на 10–15 %) усталостной прочности.

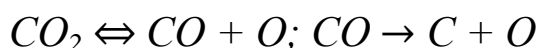
Сварка и наплавка в среде CO_2 применяются для восстановления широкой номенклатуры деталей тракторов, автомобилей, сельскохозяйственных машин: оси, валы, посадочные места под подшипники. Производится сварка деталей из чугуна, сплавов алюминия и тонколистовой стали.

Для создания защитной атмосферы применяется пищевая углекислота либо сварочный углекислый газ. В стандартном баллоне емкостью 40 л под давлением 5–6 МПа содержится 20–25 кг жидкой углекислоты. Из 1 кг жидкой углекислоты при испарении образуется 509 л углекислого газа.

Для автоматической наплавки и сварки в среде CO_2 используют автоматические головки А-1230А, ОКС-6569, А-825М и полуавтоматы А-547Р, А-537, ПДПГ-300, А-929. В качестве источников тока применяются сварочные преобразователи ПСГ-300, ПСГ-500, сварочные выпрямители ВС-200, ВС-300, ВС-500, ВС-600 и др.

При выходе из баллона температура углекислого газа резко падает, так как жидкая углекислота испаряется и поглощает тепло. Для предотвращения замерзания каналов вентиля и редуктора углекислый газ подогревают с помощью электрических подогревателей, для удаления влаги из CO_2 применяют осушители (селикагель или медный купорос).

В процессе сварки (наплавки) под действием высокой температуры сварочной дуги углекислый газ диссоциирует на окись углерода и атомарный кислород:



Химически активный атомарный кислород окисляет железо электродной проволоки и сварочной ванны:

$\text{Fe} + \text{O} = \text{FeO}$, с образованием закиси железа, которая является причиной возникновения пор и хрупкости сварных швов. Для удаления закиси железа из сварочной ванны применяют сварочные проволоки, содержащие раскислители – кремний и марганец, которые восстанавливают окислы железа: $\text{FeO} + \text{Mn} = \text{Fe} + \text{MnO}$, $2\text{FeO} + \text{Si} = 2\text{Fe} + \text{SiO}_2$. Окислы марганца и кремния не растворяются в жидком металле, вступая во взаимодействие друг с другом, образуют легкоплавкое соединение, которое всплывает на поверхность сварочной ван-

ны в виде шлака. Наибольшее распространение при сварке в среде CO_2 получили сварочные проволоки Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС, Св-10ХГ2СА, Св-18ХСА, Нп-30ХГСА, ПП-АН1, ПП-АН5, ПП-АН18, ПП-3ХВ8Т, ПП-Р18Т и др. Диаметр применяемой электродной проволоки 0,8–2,0 мм. Используя различные марки электродной проволоки, обеспечивая термообработку наплавленного металла охлаждающей жидкостью, можно регулировать твердость наплавленной поверхности от HRC 25–55.

Защитные свойства CO_2 от азота и водорода атмосферы заключается в том, что углекислый газ в 1,5 раза тяжелее воздуха и вытесняет его из зоны горения дуги.

Для наплавки в среде защитного газа применяют: наплавочный станок 01.06.081 «Ремдеталь», установка У-209, 011-100 «Ремдеталь»; источники питания с жесткой характеристикой УД-209, УД-294, ВДУ-504, ВС-200, ВС-400, ПСГ-350; для аргонодуговой наплавки: ВСУ-300, УДГ-301, ВДГ-303, УДГ-501; полуавтоматы типов: А-348, А-537, А-547У, А-547Р, А-580М, ПДГ-301, ПДПГ- 515, «Гефест», ПДГ-312, А1615, А1616; наплавочные головки: ОКС-1252М, ОКС-6569.

Примерные режимы наплавки стальных цилиндрических деталей:

- ток 120–180А,
- напряжение 18–22В,
- скорость наплавки 25–50 м/ч,
- скорость подачи проволоки 90–180 м/ч,
- шаг наплавки 2,5–5 мм/об,
- вылет электрода 7–20 мм,
- смещение электрода с зенита 2–15 мм,
- расход углекислого газа 6–15 л/м.

Вылет электродной проволоки принимается в пределах 8–14 мм. Сварка возможна в любых пространственных положениях. Автоматической наплавкой возможно восстановле-

ние деталей 0,10–15 мм, и более, отверстий, резьбовых концов валов. При этом получают беспористый наплавленный слой с минимальной толщиной 0,8–1,5 мм.

Успешно применяется сварка в среде углекислого газа при ремонте кабин, оперения тракторов, автомобилей, емкостей, при заварке трещин из тонколистового металла. Ориентировочные режимы полуавтоматической сварки в среде CO₂ приведены в таблица 1.5.

При аргонодуговой сварке инертный газ (аргон) создает лучшие условия для устойчивого горения дуги, обеспечивая надежную защиту расплавленного металла от воздействия кислорода и азота воздуха. Это дает возможность сварки некоторых трудно-свариваемых металлов, таких как алюминий и его сплавов, нержавеющей сталей, титана, медных сплавов (бронзы, латуни) и др.

Таблица 1.5

Режимы сварки тонколистовой стали в среде CO₂

Толщина металла, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Ток, А	Напряжение, В	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч
1,0...1,5	0,8	70...110	17...19	110...120	20...40
1,5...2,5	0,8	100...150	18...21	120...150	25...35
1,0...2,0	1,0	100...180	18...22	110...150	30...40
2,0...3,0	1,0	125...180	19...22	130...160	30...40
2,0...3,0	1,2	140...250	20...23	200...220	30...45

Сварка в среде аргона ведется неплавящимся вольфрамовым электродом ВЛ-10, ВЛ-15, ВЛ-20 (с примесью оксида лантана (La 1,5–2,0%), торированные электроды ВТ-15, ВТ-20 (1,5–2,0% оксида тория). В качестве присадочной проволоки применяется проволока или полоса из того же материала, что и основной металл. При сварке алюминиевых сплавов

применяются проволоки из сплавов АК, с содержанием кремния до 5%.

Для аргоновой сварки применяются установки УДГ-301, УДАР-500, Rainbow-170 HF, Rainbow-201 HF и др., горелки УДАР-300, ГРАД-209, АР-10 (№1, 2, 3).

Перед сваркой алюминия свариваемые поверхности тщательно зачищаются, кромки деталей толщиной свыше 3 мм разделяются под углом 70-90°, из-за высокой жидкотекучести алюминия рекомендуется применение подкладок.

1.2.4. Контактная приварка металлического слоя

Контактной приваркой стальной ленты, проволоки или металлического порошка мощными импульсами тока восстанавливаются изношенные поверхности. Стальная лента приваривается к сварной точке, полученной от импульса тока, в которой расплавляется металл ленты и детали. Металл ленты расплавляется не по всей ее толщине, а только в тонком поверхностном слое в месте контакта детали и ленты. Сплошная приварка слоя происходит в результате воздействия сварочных импульсов, образующих сварочные точки, которые располагаются по винтовой линии, частично перекрывая друг друга, как вдоль рядов, так и между ними. С целью уменьшения нагрева детали и улучшения условий заковки приваренного слоя в зону сварки подается охлаждающая жидкость. На рисунке 1.11 показана схема приварки металлической проволоки или ленты. Способы контактной приварки проволоки и ленты применяются для восстановления посадочных мест валов, наружных поверхностей цилиндрических деталей, в т.ч. шеек коленчатых валов резьбовых участков валов, а также отверстий в чугунных и стальных корпусных деталях.

Вместо контактных материалов можно использовать электроконтактную приварку (припекание) металлических порошков, рисунок 1.12. Сущность процесса заключается в том, что между движущимися деталью и электродом поме-

щают металлический порошок, через них пропускают электрический ток с приложением давления. Вращающаяся или неподвижная деталь является одним из электродов переменного тока, второй медный охлаждаемый электрод вращается или неподвижный. В зазор между этими электродами из бункера подают порошок, который прижимается к восстанавливаемой поверхности детали давлением 30–60 МПа вторым электродом. Через электроды пропускают электрический ток силой 5–30кА, напряжением 6–12в, плотностью 1–5А/см² и импульсами 0,04–0,14с. Схема установок для приварки порошковых материалов приведена на рисунке 1.13.

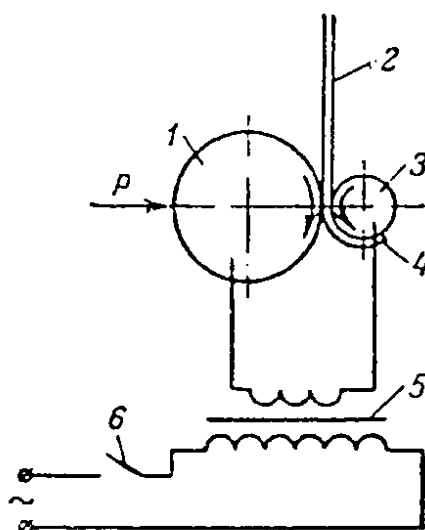


Рисунок 1.11 – Схема электроконтактной приварки проволоки или ленты: 1 – прижимной электродропик; 2 – присадочная проволока или лента; 3 – наплавляемая деталь; 4 – наплавленный слой; 5 – трансформатор; 6 – прерыватель; *P* – прижимное усилие.

В результате на поверхности восстанавливаемой детали образуется слой, толщина которого определяется углом захвата порошка ролика, механические свойства составом применяемых порошков.

Приварка порошковых материалов целесообразна для восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей.

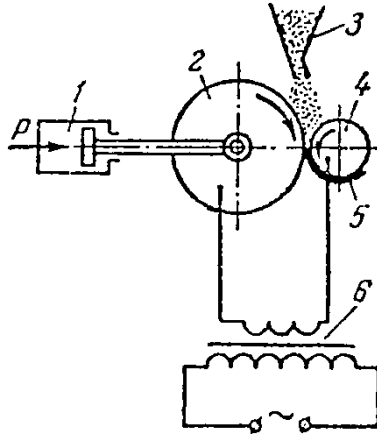


Рисунок 1.12 – Схема электроконтактного напекания металлических порошков: P – прижимное усилие; 1 – пневмоцилиндр; 2 – прижимной электродролик; 3 – металлический порошок; 4 – восстанавливаемая деталь; 5 – напеченный слой; 6 – трансформатор.

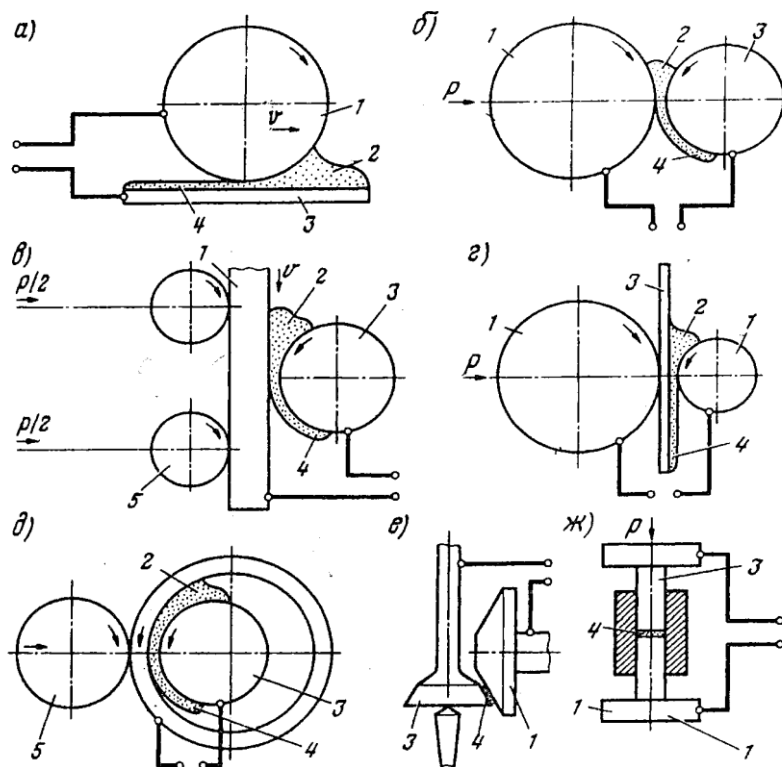


Рисунок 1.13 – Схема электроконтактной приварки порошков на поверхности:

- a – плоскую (горизонтальная схема); $б$ – наружную цилиндрическую;
- $в$ – наружную цилиндрическую плоским электродом;
- $г$ – плоскую (вертикальная схема); $д$ – наружную цилиндрическую;
- $е$ – коническую; $ж$ – торцовую; 1 – электрод; 2 – порошок; 3 – деталь;
- 4 – слой порошка; 5 – нажимной ролик

В качестве источника импульсов сварочного тока используют прерыватели, применяемые в контактных сварных машинах, либо конденсаторные источники питания. Механические свойства покрытий (твердость, износостойкость, прочность сцепления) зависят от наплавляемого материала. С повышением содержания углерода в наплавленном материале твердость увеличивается (таблица 1.6.)

Таблица 1.6

Зависимость твердости приваренного слоя
от материала ленты

Марка стали	Твердость, HRC	Марка стали	Твердость, HRC
Сталь 20	30–35	Сталь 55	50–55
Сталь 40	40–45	Сталь 40X	55–65
Сталь 45	45–50	Сталь 65Г	60–65

Технология восстановления контактной приваркой включает в себя подготовку деталей и ленты, приварку ее и обработку после приварки. Подготовка поверхности детали заключается в ее шлифовании. Шероховатость обработанной поверхности должна быть не ниже $R_{\text{a}} = 1,25-0,63$ мкм. Заготовки для приварки нарезают из ленты толщиной 0,3–1,0 мм, ширина их должна быть равна ширине восстанавливаемого участка. Зазор в стыке не должен превышать 0,3 мм. Ленту приваривают в два приема: сначала ее «прихватывают», а затем приваривают окончательно. Режимы приварки ленты приведены в таблице 1.7.

Усилие сжатия сварочных электродов должно быть 1,3–1,5 кН.

Таблица 1.7

Режимы приварки ленты к цилиндрическим деталям

Диаметр детали, мм	Частота вращения шпинделя мин ⁻¹	Подача сварочных электродов, мм/об	Сила тока, кА	Продолжительность		Скорость сварки, м/мин
				импульса, с	паузы, с	
20	7...12	3	4,5...5,0	0,06	0,12	0,75
30	6...10	3	5,5...6,0	0,06	0,12	0,91
40	5...9	3	5,5...5,6	0,06	0,12	1,13
50	4...8	3	5,8...6,8	0,06	0,1	1,25
60	4...7	3	7,0...7,5	0,06	0,1	1,33
70	4...6	3	7,0...7,8	0,06	0,1	1,32
80	3...5	3	7,0...8,0	0,08	0,1	1,26
100	2...4	3	7,3...8,2	0,08	0,1	1,25
130	2...3	3	8,0...8,5	0,08	0,1	1,22

Для восстановления резьбовых участков применяют проволоку из малоуглеродистой стали. Присадочную малоуглеродистую проволоку укладывают во впадины резьбы, зажимают проволоку и деталь между электродами сварочной машины (рисунок 1.14). В результате сжатия электродов после включения сварочного трансформатора присадочная проволока полностью заполняет впадину между витками и сваривается с его боковыми гранями, образуя сварное соединение. Диаметр проволоки подбирается таким образом, чтобы после нагрева и осадки проволока полностью заполнила впадину между витками, и остался еще припуск на механическую обработку. Диаметр проволоки должен быть равен шагу резьбы или больше его на 5–10 %.

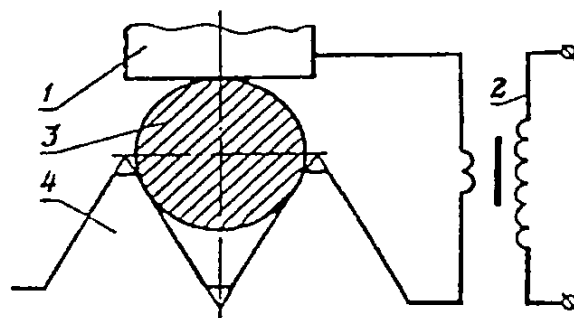


Рисунок 1.14 – Электроконтактная приварка проволоки к виткам резьбы: 1 – электрод; 2 – сварочный трансформатор; 3 – присадочная проволока; 4 – витки резьбы

Для получения высококачественного покрытия восстанавливаемая резьбовая поверхность должна быть очищена от грязи, следов масла и ржавчины. Режимы приварки проволоки приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8

Режимы приварки проволоки при восстановлении резьбы

Наружный диаметр резьбы, мм	Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	Сварочный ток, кА	Продолжительность	
			импульса, с	паузы, с
15	8	5,5...6,0	0,05	0,08
20	6	6,5...7,0	0,08	0,10
30	5	7,5...8,0	0,12	0,08

Подача сварочной головки за один оборот шпинделя должна быть равна шагу резьбы, усилие сжатия электродов – 2–3 кН.

После приварки наплавленную поверхность протачивают до необходимого размера и нарезают резьбу.

При приварке порошковых материалов используют твердые сплавы карбидо-бористых соединений хрома или титана, в ряде случаев твердые сплавы ВК6, ВК8, а также АПМ, АПХМ, сормайт №1, УС-25, Сормайт ПГ-С1, самофлюсующийся порошок ПГ-ХН80СР2 и др.

Химический состав УС-25: С = 4,5–5,5%; Si = 1,5–2,8%; Cr=37–44%; Mn = 2,5%; Ni = 1,0–1,8%. Полученная твердость НРС 62–65, износостойкость в 4 раза выше закаленной стали 45.

Покрытие представляет собой хромоникелевую матрицу армированную частицами карбидов, боридов, нитридов хрома, ванадия, титана и др.

Всесоюзным научно-производственным объединением «Ремдеталь» создана серия установок для приварки стальной ленты, проволоки и порошка контактным электроимпульсным способом. Установка 011-02 «Ремдеталь» предназначена

для восстановления шеек валов контактной приваркой стальной ленты (рисунок 1.15).

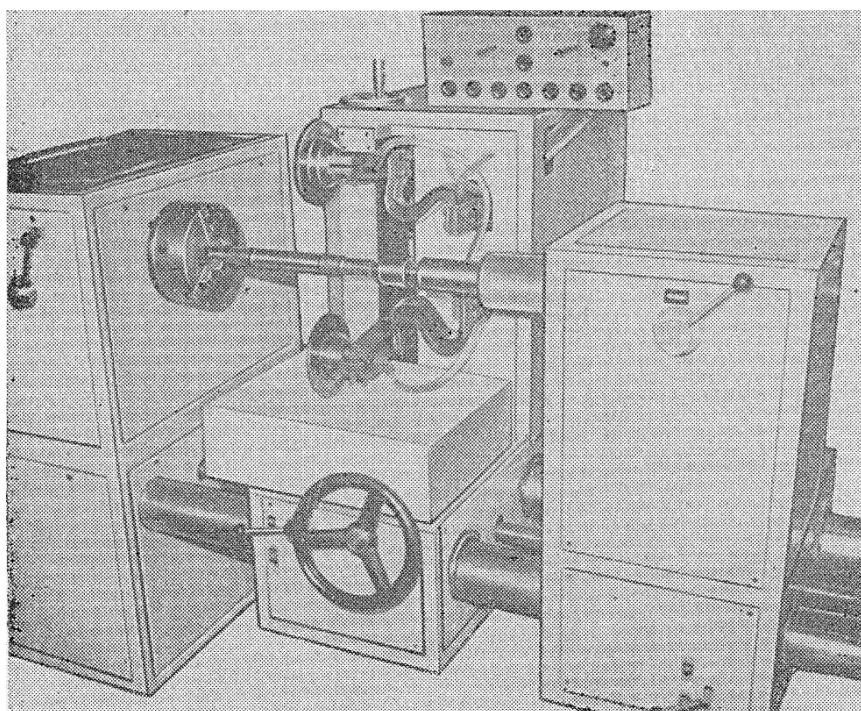


Рисунок 1.15 – Установка 011-1-02 «Ремдеталь» для восстановления шеек валов контактной приваркой стальной ленты

Установка 011-1-05 «Ремдеталь» предназначена для восстановления резьбовых участков малого диаметра и может быть использована для восстановления изношенных поверхностей типа «вал» приваркой порошков. Установка 011-1-06 «Ремдеталь» предназначена для контактной приварки присадочных материалов к внутренним поверхностям гильз цилиндров автомобильных и тракторных двигателей. Установка 011-1-10 «Ремдеталь» предназначена для восстановления наружных и внутренних цилиндрических поверхностей различных чугунных и стальных деталей, в том числе стаканов подшипников, контактной приваркой ленты. Установка 011-1-169 «Ремдеталь» предназначена для восстановления валов и отверстий контактной приваркой порошковых материалов. Установка 011-1-08 «Ремдеталь» предназначена для восстановления

внутренних поверхностей шатунов автотракторных двигателей, стаканов подшипников контактной приваркой порошковых материалов и стальной ленты. Установка 011-1-11 «Ремдеталь» предназначена для восстановления коренных опор блоков цилиндров контактной приваркой стальной ленты.

1.2.5. Электроискровая обработка

Электроискровая обработка основана на эрозионном разрушении материала электрода за счет высокой плотности тока в канале импульсного искрового пробоя и переносе его на поверхность детали.

При помощи электроискрового способа можно выполнять следующие операции: упрочнение и наращивание поверхностей деталей машин; изготовление отверстий разных профилей; извлечение сломанного инструмента; упрочнение и заточку режущего инструмента и рабочих органов сельскохозяйственных машин; изготовление штампов и пресс-форм.

Процесс может протекать как на воздухе, так и в жидкой среде. Для питания установки служит постоянный или переменный ток. В установках, работающих на напряжениях 100–200В, во избежание возникновения электродуговых разрядов параллельно электродам подключается батарея конденсаторов, которые накапливают энергию и отдают ее во время электроискрового разряда (рисунок 1.16). Упрочняющий электрод 2 подключается к аноду и закрепляется в держателе электромагнитного вибратора, который питается от сети переменного тока и сообщает электроду колебательное движение с частотой 50 Гц. Во время обработки вибраторов вручную перемещают по обрабатываемой поверхности. Процесс электроискрового упрочнения сопровождается непрерывным искрением. Вибрация электрода способствует устойчивому возникновению электроискровых разрядов. Электроды применяются из чугуна или твердых сплавов (Т15К6, ВК3, Т30К4 и др.).

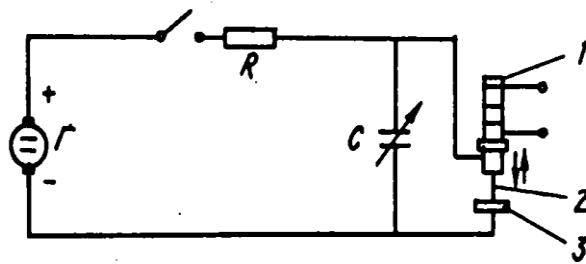


Рисунок 1.16 – Схема электроискровой установки:
 1 – вибратор; 2 – упрочняющий электрод;
 3 – упрочняемая деталь; Г - источник постоянного тока;
 R – регулирующее устройство; C – конденсатор

Толщина наращенного и упрочненного слоя зависит от емкости конденсатора, напряжения и силы тока.

Режимы работы электроискровых установок, работающих при напряжениях 110–220 В, приведены в таблице 1.10.

При применении более мощных (жестких) режимов толщина упрочненного и наращенного слоя увеличивается, чистота поверхности и твердость слоя снижаются.

Твердость наращенного и упрочненного слоя у стальных деталей в зависимости от применяемого электрода и режима обработки колеблется от 60 до 180 МПа.

Таблица 1.10

Режимы работы электроискровых установок

Режим	Сила тока короткого замыкания, А	Включенная емкость, мкф
Жесткий	2–5	100–300
Средний	1–2	60–100
Мягкий	0,3–1	5–6

Установки для электроискрового упрочнения весьма просты и выпускаются различных марок. Наибольшее применение получили установки группы ЭФИ. На этих установ-

ках можно восстанавливать неподвижные посадки. При этом можно увеличить диаметр посадочного места на 0,05 мм, хотя поверхность в данном случае будет иметь поры, мелкие раковины и после обработки сплошность поверхности составит не более 85–90%. На этих же установках можно упрочнять торцы стержней клапанов, бойки коромысел, штампы, что увеличит работоспособность данных деталей.

Режущий инструмент из быстрорежущей стали и рабочие органы сельскохозяйственных машин также целесообразно подвергать электроискровому упрочнению (например, резцы, фрезы, развертки, пилы по дереву, сегменты, ножи и гребенки машинок для стрижки овец). Упрочняют те кромки, которые наиболее интенсивно изнашиваются. Стойкость инструмента при правильной технологии упрочнения возрастает от 1,5 до 8 раз.

Для наращивания поверхностей посадочных мест применяют также электроконтактное наращивание. Например, для наращивания посадочных мест в корпусах коробок передач применяют установку, схема которой изображена на рисунке 1.17. К электроду и детали подключают провода от сварочного трансформатора. Электродом служит медный наконечник или диск 4. Вращение электроду передается через гибкий вал 6 от электродвигателя 1. Введя за изолированную рукоятку 2 вращающийся электрод 4 в посадочное место, проводят наращивание вручную. При этом частицы металла с медного электрода переходят на поверхности гнезда, образуя тонкий шероховатый слой. Медный наконечник имеет размеры: диаметр 25 мм, длину 50 мм; сила тока 110–160 А. Диск берется диаметром 50 мм, толщиной 10 мм, сила тока 300–350 А. При применении медного диска возможно нарастить слой толщиной до 2 мм.

В процессе работы диск не должен сильно нагреваться, время от времени его следует охлаждать в воде.

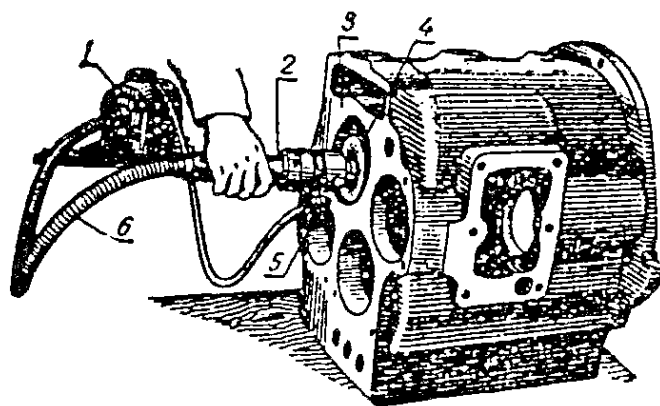


Рисунок 1.17 – Схема восстановления посадочных мест в чугунных деталях вращающимся электродом: 1 – электродвигатель; 2 – рукоятка; 3 – восстанавливаемая деталь; 4 – вращающийся электрод (диск); 5 – электроконтакт; 6 – гибкий вал

Наращивание можно вести, используя в качестве электрода круглую медную щетку. Режим работы: напряжение – 4,5 В, ток (переменный) – 200 А, число оборотов щетки – 100 об/мин, число оборотов детали – 20 об/мин.

При соприкосновении поверхности со щеткой ее проводочки привариваются, образуя покрытие толщиной до 0,5 мм на сторону.

1.2.6. Электромеханическая обработка

Электромеханическая обработка (ЭМО) основана на сочетании термического и силового воздействия на поверхности детали. Сущность этого способа заключается в том, что в процессе обработки через место контакта инструмента с изделием проходит ток большой силы и низкого напряжения, в результате чего усилие пластического деформирования значительно снижается, а поверхностный слой изменяет свои свойства.

ЭМО применяется не только для упрочнения поверхностного слоя детали, но также и для восстановления изношенных наружных и внутренних цилиндрических поверхностей.

Принципиальная схема использования ЭМО для целей упрочнения поверхности показана на рисунке 1.18 *а* и *б*.

Деталь 5 имеет вращательное движение, а инструмент 7 – поступательное. Вначале используется заостренный резец, которым получают грубую поверхность 2 (рисунок 1.18. *б*), т. е. производится высадка металла, затем идет ход сглаживающего инструмента 1, который формирует рабочую поверхность 4 на детали 3.

Сглаживающий инструмент представляет собой пружинную державу, на которой закреплена пластина из твердого сплава или роликовая головка. Силу сглаживания регулируют прижатием поперечного суппорта.

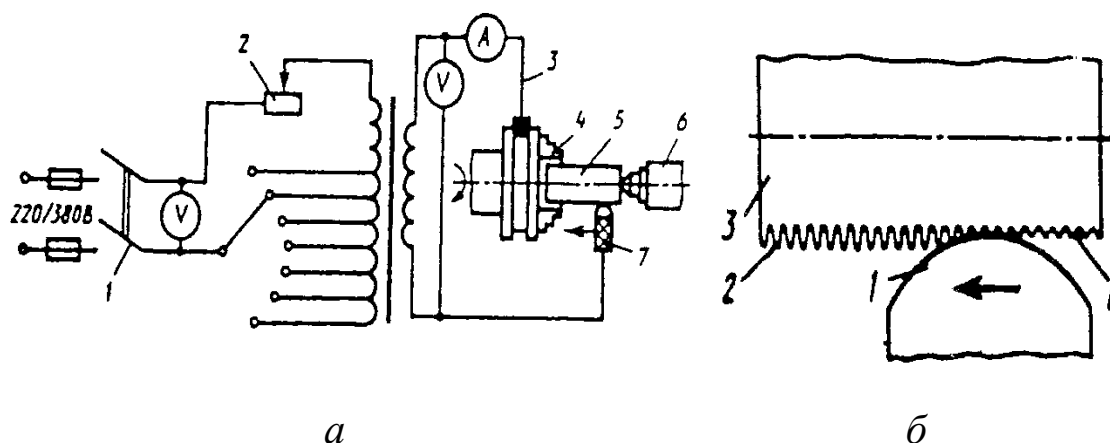


Рисунок 1.18 – Принципиальная схема электромеханического упрочнения (*а*); схема изменения профиля поверхности (*б*):

- а*) 1 – рубильник; 2 – реостат; 3 – вторичная обмотка; 4 – патрон;
5 – деталь; 6 – задняя бабка; 7 – инструмент;
- б*) 1 – сглаживающий инструмент; 2 – высаженная поверхность;
3 – деталь; 4 – сглаженная поверхность

Принципиальное отличие электромеханического упрочнения от термомеханической обработки состоит в том, что этот процесс относится к упрочняюще-отделочной обработке. В данном случае существует два источника теплоты создаваемых электрическим током и трением. Термический цикл (нагрев, выдержка и охлаждение) весьма кратковремен-

ный и измеряется долями секунды. Высокая скорость охлаждения определяется интенсивным отводом теплоты вовнутрь детали. Эти отличия обуславливают получение мелкодисперсной и твердой структуры поверхностного слоя, обладающего высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Технологический процесс электромеханической обработки для восстановления изношенных поверхностей состоит из двух операций: высадки металла и сглаживания до определенного размера. Схема высадки и сглаживания металла приведены на рисунке 1.19.

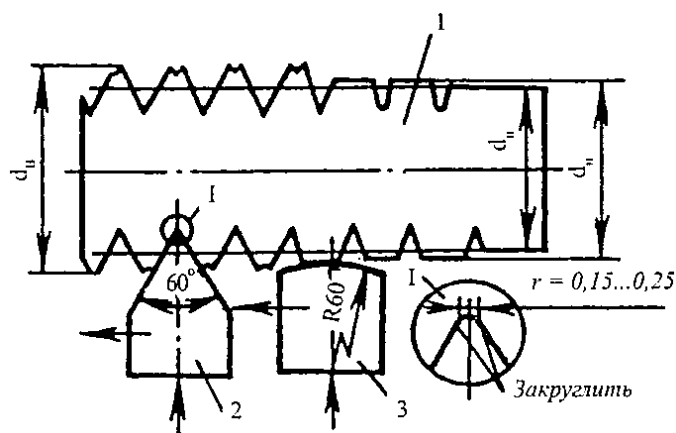


Рисунок 1.19 – Схема высадки и сглаживания металла:

1 – деталь; 2 – высаживающая пластина; 3 – сглаживающая пластина;
 $d_в$ – диаметр высадки; $d_и$ – диаметр износа; d_n – номинальный диаметр детали

Одновременно с восстановлением размеров достигается значительное повышение физико-механических свойств активного поверхностного слоя детали без дополнительных операций термической обработки.

Определенный интерес представляет технология восстановления посадочных отверстий корпусных деталей электромеханической обработкой (рисунок 1.20). Технология заключается в следующем. Посадочное отверстие растачивают

и нарезают винтовые канавки глубиной 0,45 мм с шагом 3 мм. Затем изготавливают свертную втулку необходимой толщины и устанавливают ее в отверстие.

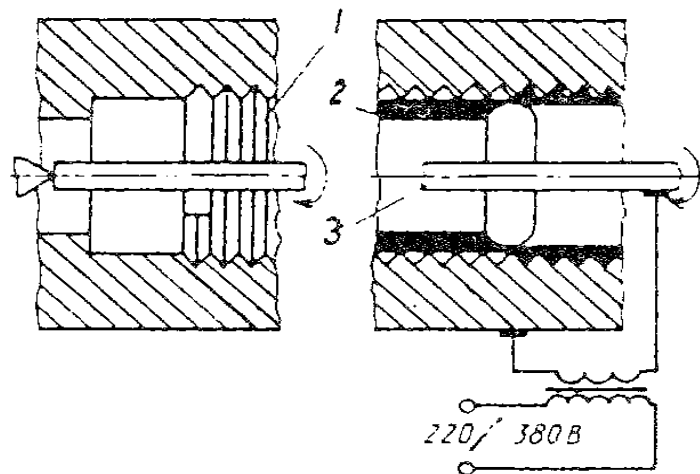


Рисунок 1.20 – Принципиальная схема восстановления посадочных отверстий: 1 – винтовые канавки; 2 – втулка; 3 – раскатник

При подаче напряжения втулка нагревается и производят ее пластическое деформирование, а затем – чистовое раскатывание. Прочность сцепления металла втулки дополнительно обеспечивается за счет его проникновения в спиральные канавки.

Электромеханическая обработка успешно применяется для восстановления цилиндрических витых пружин. Технология восстановления основана на совмещении операций растяжений, поверхностного горячего деформирования и закалки витков.

Схема процесса восстановления упругих свойств пружин (рисунок 1.21) заключается в следующем. В патрон токарного станка устанавливается вал с роликом. На вал надевают восстанавливаемую пружину.

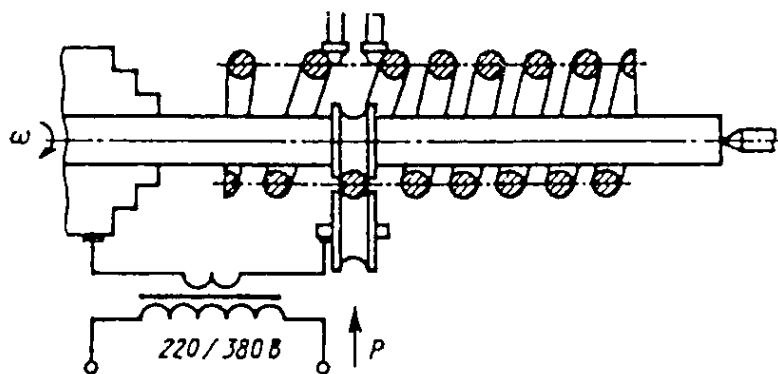


Рисунок 1.21 – Принципиальная схема устройства для восстановления пружин

Второй конец вала прижимается центром задней бабки. В процессе обработки витки пружины раздвигаются двумя штоками приспособления, монтируемого на суппорте станка. Это приспособление вместе с раздвижными штоками может перемещаться вместе с суппортом, как показано стрелками.

Как обычно при упрочнении ЭМО, профильный обжимающий ролик при помощи пружинной державки, устанавливаемой на суппорте станка, прижимается к виткам пружины с определенной силой. При вращении вала витки пружины подвергаются двустороннему обжатию роликами, через которые пропускается электрический ток. Таким образом, пружина одновременно подвергается растяжению между штоками, обжатию и нагреву между роликами. Для повышения эффекта закалки охлаждающая жидкость подводится в зону нагрева. Применительно к восстановлению пружин ДВС установлен рациональный режим: плотность тока 433 А/мм^2 ; давление роликов $P = 62,5 \text{ МПа}$, увеличение шага обжатия пружины $\Delta S = 6,4\%$. Этот режим проверен при восстановлении клапанных пружин двигателей ЯМЗ-240Б, ЯМЭ-238Б и др.

Микроструктура поверхностного слоя восстановленных пружин глубиной 0,2 мм представляет собой мелкодисперсный бесструктурный мартенсит с повышенной плотностью дислокации. Микроструктура сердцевины пружины – сорбит отпуска.

Рентгеноструктурным анализом установлено, что на поверхности восстановленных пружин создаются сжимающие остаточные напряжения, достигающие 270 МПа, что превышает остаточные напряжения новых пружин (+ 190 МПа). Все это способствует повышению выносливости восстановленных пружин. Экспериментальные испытания при базовом числе циклов нагружения $10,8 \cdot 10^6$ показывают, что пружины, восстановленные ЭМО, имеют на 6–12 % большую упругость по сравнению с новыми и восстановленными накаткой роликом с термической обработкой.

В результате длительных эксплуатационных испытаний выявилась высокая надежность пружин, восстановленных ЭМО. При средней наработке на отказ двигателя 3345 ч упругость восстановленных пружин находится на уровне новых, что делает их пригодными к дальнейшей эксплуатации. Таким образом, приведенный технологический процесс восстановления пружин позволяет не только восстанавливать утраченные их свойства, но и значительно увеличивать их ресурс.

1.2.7. Применение лазерной технологии при восстановлении деталей

При лазерной наплавке используется луч лазера в качестве источника тепла.

Лазерная технология позволяет выполнять сварку, наплавку, поверхностную термическую обработку и упрочнение, резку и фигурный раскрой материалов, прошивку отверстий.

Лазерная наплавка заключается в нанесении порошковой смеси на изношенную поверхность детали и последующей ее обработке мощным лазерным излучением. Обработка осуществляется с помощью светового излучения, создаваемого оптическим квантовым генератором (лазером), в ре-

зультате воздействия специального источника возбуждения на рабочее вещество. Принципиальная схема лазера приведена на рисунке 1.22. В зависимости от характера рабочего вещества различают два типа лазеров: твердотельные (импульсные) и газовые (непрерывного действия). В первых применяют некоторые типы кристаллов, полупроводников, а во вторых – газы (углекислый газ, гелий, азот и др.).

К достоинствам способа следует отнести: локальность и высокая скорость наплавки, исключаяющие разогрев детали, ее коробление и сохраняющее исходную структуру основного металла, что обеспечивает повышение ресурса восстанавливаемых деталей до уровня новых и более. Лазерная термообработка позволяет упрочнять наружные и внутренние поверхности различной конфигурации стальных и чугунных автотракторных деталей, работающих в условиях изнашивания при контактных и ударных нагрузках. Лазерному термоупрочнению подвергают шейки коленчатых валов двигателей после шлифования на ремонтный размер, детали топливных насосов, гидросистем, гильзы двигателей и др.

Технологический процесс лазерной наплавки: деталь сначала моют и обезжиривают, после чего с помощью шпателя или погружением на восстанавливаемую поверхность наносят специальную смесь металлических порошков с органическим клеем КМЦ (карбоксилметилцеллюлоза). Обмазку готовят растворением клея КМЦ в горячей воде в пропорции 1:1с последующим добавлением в раствор самофлюсующихся порошков ПГ- СРЗ, СНГН-55 или чугунного порошка ФБХ-6-2 в соотношении 8:1 до получения однородной массы. Нанесенную толщиной 1,2 мм смесь сушат при комнатной температуре в течение 3–4 мин. Поверхность детали с обмазкой обрабатывают лазерным лучом до плавления обмазки без существенного оплавления поверхности детали. После остывания на поверхности детали образуется покрытие толщиной 1,0 мм с высокими механическими свойствами и твердостью

HRC 59–63. Износостойкость покрытия в 1,5–1,8 раза выше, чем у закаленной стали 45.

Лазерное термоупрочнение основано на высокоскоростном разогреве (до $2...3 \cdot 10^4$ °C/c) металла поверхности упрочняемой детали под действием лазерного луча до температур выше температур фазовых превращений и последующем быстром самоохлаждении вследствие отвода теплоты в объем детали. При обработке лазерным лучом образуются мелкозернистый мартенсит и остаточный аустенит. Твердость углеродистых и низколегированных сталей возрастает до HRC 60–70, а износостойкость повышается в 3–4 раза. Глубина упрочненного слоя составляет 0,2–0,5 мм.

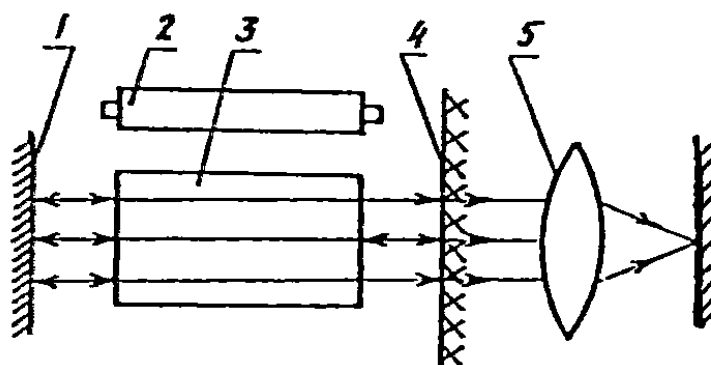


Рисунок 1.22 – Принципиальная схема лазера:

- 1 – отражающее зеркало; 2 – источник возбуждения;
- 3 – рабочее вещество; 4 – полупрозрачное зеркало;
- 5 – фокусирующая система

ВНПО «Ремдеталь» разработана лазерная технология восстановления и упрочнения деталей топливного насоса УТН-8, 5х10, деталей гидрораспределителя Р-75-23-А, деталей шасси трактора МТЗ и др.

Наплавка и термоупрочнение производится на установках 01.03-165 «Ремдеталь» и с использованием лазера ЛГН-702 «Кардамон». Промышленностью выпускаются мощные

технологические лазеры «Катунь», ЛТ-1-2; ЛТН-102; «Юпитер 1,0»; «Квант-16».

Однако, несмотря на высокую эффективность, лазерная технология не нашла пока широкого применения в ремонтном производстве из-за сложности и дороговизны оборудования и необходимости использования мощных источников энергии.

Контрольные вопросы и задания к главе 1

1. Что понимается под восстановлением детали? 2. Что понимается под упрочнением детали? 3. Что такое остаточная долговечность детали? 4. Что понимается под показателем надежности? 5. Что такое сварка металлов? 6. Как обозначаются способы сварки? 7. В чем различие между сварочными и наплавочными процессами? 8. Что такое статическая вольт-амперная характеристика сварочной дуги? 9. Какие внешние характеристики имеют сварочные источники тока? 10. Какую форму внешней характеристики должен иметь сварочный источник тока для ручной дуговой сварки? 11. Какие марки сварочной проволоки применяются для сварки и наплавки? 12. Какие покрытия принимаются для сварочных электродов? 13. Какие покрытия применяются для наплавки быстроизнашивающихся деталей? 14. Как определяется величина сварочного тока? 15. Охарактеризуйте стали по свариваемости? 16. Что такое газовая сварка? 17. Какие газы применяются при газовой сварке? 18. Какое оборудование применяется при газовой сварке? 19. В чем особенности сварки чугуновых деталей? 20. Опишите способы сварки чугуновых деталей? 21. В чем трудности сварки алюминиевых деталей? 22. Опишите особенности сварки нержавеющей сталей? 23. В чем состоит механизация процесса сварки? 24. Сущность сварки и наплавки под слоем флюса? 25. В чем особенности вибродуговой наплавки? 26. Где применяется автоматическая сварка и наплавка в среде защитных газов? 27. Что такое и где применяется контактная приварка металлического слоя? 28. Сущность процесса электроискровой обработки? 29. В чем сущность процесса электрохимической обработки? 30. Где применяются лазерные технологии восстановления деталей?

2. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДАМИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ И НАПЛАВКИ

Напыление является одним из способов изменения свойств рабочих поверхностей различных деталей машин и инструмента. Основное назначение напыления покрытий – восстановление износа, защита от эрозии, коррозии и других видов разрушения.

Напылением можно наносить покрытия с самыми различными свойствами. Можно напылять износостойкие, теплостойкие, теплоизоляционные, коррозионностойкие, электроизоляционные и другие покрытия. Универсальность и эффективность методов напыления определяется не только возможностью нанесения покрытий из самых различных материалов (сталей, сплавов, цветных металлов, интерметаллидов, металлоидов, органических веществ или композиций из этих материалов), но также и возможностью нанесения покрытий на различные материалы (металлы, пластмассы, керамику, стекло и даже на дерево, ткань, бумагу).

Все методы напыления принято классифицировать на два вида: газотермическое (ГТН) и вакуумное конденсационное (ВКН).

Общим для всех методов *газотермического напыления* является то, что исходный напыляемый материал нагревается до плавления или пластифицируется и ускоренно транспортируется в высокотемпературном потоке газа на напыляемую поверхность.

Напыляемый материал поступает на поверхность основы в виде потока диспергированных нагретых частиц, которые ударяются о нее и, закрепляясь, образуют покрытие. Обычно толщина покрытия составляет 100–500 мкм, а производительность для разных процессов достигает 1–20 кг/ч.

Общим для всех методов *вакуумного конденсационного напыления* является то, что исходный материал подвергается распылению до ионизированного парообразного состояния за счет нагрева или механической бомбардировки ускоренным ионным потоком и последующей конденсации образовавшегося пара на поверхности покрываемых изделий, находящихся в той же рабочей вакуумной камере, что и распыляемый материал. В рабочую камеру может напускаться реактивный газ, который вступает в плазмохимическую реакцию с продуктами испарения, образуя конденсат на поверхности изделий.

Таким образом, состав покрытия при вакуумном конденсационном напылении формируется непосредственно в процессе напыления. Толщина покрытия обычно составляет не более 100 мкм.

Для восстановления и упрочнения деталей машин наиболее рациональными являются методы газотермического напыления (ГТН).

2.1. Сущность процесса газотермического напыления

Сущность любого метода газотермического напыления (ГТН) заключается в получении высокоскоростного двухфазного потока, содержащего газ и нагретые частицы, из которых формируется покрытие в результате их соударения с предварительно подготовленной (активированной) поверхностью детали.

В зависимости от источника тепловой энергии для нагрева напыляемого материала различают следующие методы ГТН: электро-дуговая металлизация (ЭДМ), газопламен-

ное (ГПН), плазменное (ПН) и детонационно-газовое (ДГН) напыление.

Напыляемый материал при ГТН может быть в виде порошка, цельнотянутой или порошковой проволоки, экструдированных спеченных стержней, гибкого порошкового шнура в эластичной оболочке. Для электродуговой металлизации используют сплавную или порошковую проволоки.

Процесс получения покрытия при ГТН состоит из трех основных стадий:

- нагрев частиц порошка или нагрев расплавление и распыление (диспергирование) проволоки и формирование двухфазного потока «газ-частицы»;
- направленное ускоренное перемещение частиц и взаимодействие их с окружающей средой;
- соударение частиц с напыляемой поверхностью, их деформация, укладка и формирование покрытия.

Основные требования при формировании двухфазного потока и переноса частиц:

- скорость частиц должна быть максимально возможной для данного метода ГТН;
- частицы должны быть равномерно распределены по сечению потока;
- частицы должны находится в расплавленном состоянии; недопустим перегрев частиц, приводящий к их химическому разложению или испарению;
- химическое взаимодействие частиц с окружающей средой должно быть минимальным;
- концентрация частиц в потоке (струе) должна быть достаточно высокой для обеспечения требуемой производительности процесса и теплосодержания массы частиц в потоке.

Выполнение этих требований обеспечивается правильным выбором условий и технологических режимов процесса напыления. К ним относятся: состав, температура и скорость газового потока, размер частиц, способ и производительность подачи порошка или проволоки в рабочую зону струи.

В общем случае поток частиц при ГТН формируется в виде конуса, вершина которого расположена на срезе сопла распылителя, а основание находится на напыляемой поверхности (рисунок 2.1).

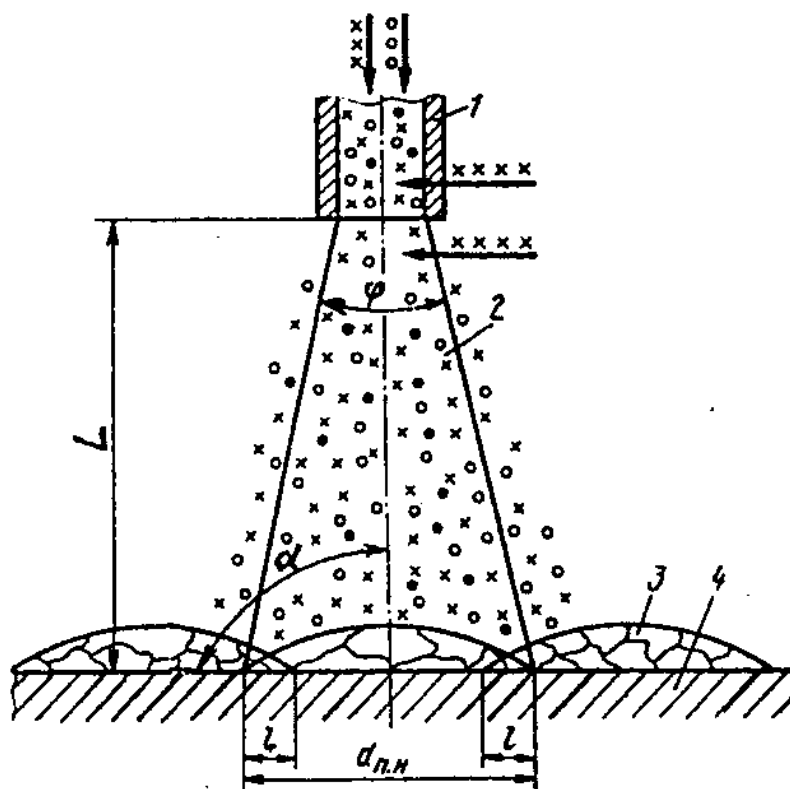


Рисунок 2.1 – Схема процесса газотермического напыления покрытий:
 1 - сопловая часть генератора частиц; 2 – двухфазная струя (газ и частицы напыляемого материала); 3 – покрытие; 4 – шероховатая поверхность детали. α – угол встречи потока с поверхностью напыления;
 φ – угол распыления потока (оптимальным считается $\varphi = 3-7^\circ$);
 d_n – диаметр пятна напыления; l – перекрытие проходов;
 L – дистанция напыления; xxx – напыляемый материал;
 ooo – поток газа

Покрытие формируется из полностью или частично расплавленными частиц, нерасплавленными или частично затвердевшими. Оптимальным является условие полного расплавления частиц до начала их кристаллизации.

В зависимости от метода ГТН основные показатели процесса имеют следующие значения:

- скорость движения частиц от 100 до 1200 м/с;
- плотность частиц в потоке: $10^4 - 10^7$ частиц/см² с;
- скорость охлаждения частиц: $10^3 - 10^8$ град/с.

Важнейшими критериями качества покрытия являются прочность сцепления с основой – $\sigma_{сц}$ и пористость – ϕ , твердость. Прочность сцепления обуславливается силами механического и физико-химического взаимодействия покрытия с основой.

Механическое взаимодействие усиливается за счет специальной активации напыляемой поверхности на стадии ее предварительной подготовки, которая заключается в очистке, обезжиривании и создании шероховатости. Наиболее эффективной заключительной стадией предварительной подготовки детали является дробеструйная обработка.

Физико-химическое взаимодействие обусловлено температурным состоянием частиц и основы, степенью окисления, напорным давлением в момент деформации частиц на подложке, т.е. на напыляемой поверхности.

Пористость является результатом газонасыщения частиц в период их движения в потоке и укладки в покрытие. Абсолютное значение пористости находится в непосредственной зависимости от факторов, влияющих на прочность сцепления.

Твердость покрытия, в основном, зависит от вида напыляемого материала.

2.2. Строение покрытия

Газотермическое покрытие – это слоистый материал, состоящий из сильно деформированных напыленных частиц, соединенных между собой по контактными поверхностям, на которых произошло физико-химическое взаимодействие (рисунок 2.2). Результатом этого взаимодействия являются сварные участки небольшого размера – очаги схватывания. Очаги схватывания возникают во время удара, деформации и затвердевания частиц, а их количество определяется уровнем развития химического взаимодействия материалов. В поперечном сечении покрытия можно различить границу между покрытием и основой, границу между частицами и слоями (проходами). Сцепления покрытия и основы называют адгезией, а сцепление частиц в покрытии – когезией. Граница раздела между слоями возникает из-за различной длительности выдержки между нанесением частиц в слое и между слоями. Поверхность нанесенного слоя покрытия окисляется, загрязняется периферийными слабо энергетическими частицами, и контактные процессы при следующем проходе затрудняются, что и является причиной возникновения границы.

Толщина покрытия может изменяться в широких пределах в зависимости от назначения покрытия, технологии его нанесения, напыляемого материала и способа напыления. Оптимальной считается толщина от 0,1–2 до 1,0 мм с учетом припуска на механическую обработку. Однако, например, при электродуговой металлизации толщина покрытия может достигать нескольких миллиметров. То же самое относится к использованию в качестве напыляемого материала самофлюсующихся порошковых сплавов, которые после напыления подвергаются термообработке – оплавлению. Общая зависимость (кроме оплавленных покрытий) проявляется в том, что с увеличением толщины слоя снижается его прочность сцепления с основой.

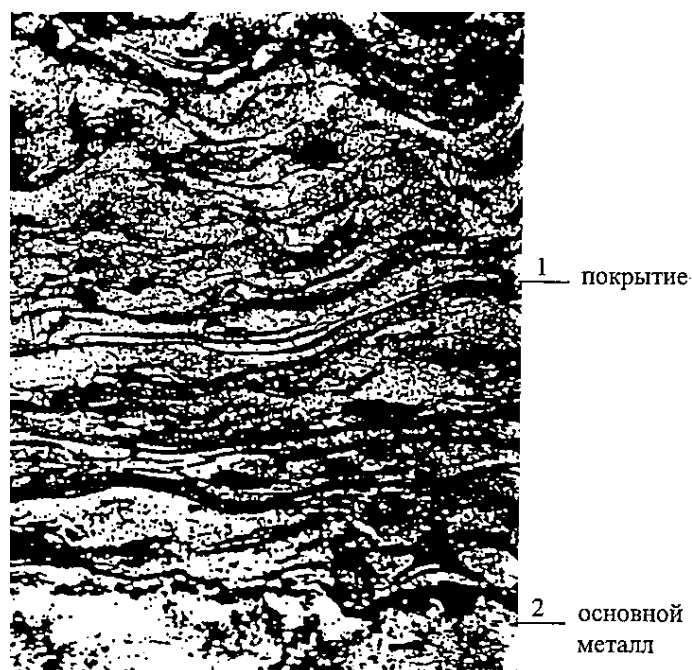


Рисунок 2.2 – Характерная микроструктура газотермического покрытия: 1 – покрытие; 2 – основной металл

2.3. Технология газотермического напыления

Технологический процесс газотермического напыления покрытий в общем виде состоит из следующих этапов:

- подготовка напыляемой поверхности;
- подготовка напыляемого материала;
- нанесение покрытия и контроль качества напыления;
- последующая обработка напыленного покрытия и выходной контроль.

2.3.1. Подготовка поверхности напыляемых изделий

Качественная обработка поверхности изделий перед напылением во многом гарантирует высокую адгезионную прочность покрытий. Поверхность изделий обычно содержит различные виды загрязнений:

- физические или механические (пыль, абразив, коррозию);

- органические (смазки, лакокрасочные покрытия и т.п.);
- химические связанные и растворимые (соли, кислоты, оксиды, нитриды и др.);
- газообразные загрязнители, адсорбированные поверхностью.

Особенно неблагоприятное воздействие оказывают органические и химические связанные загрязнения.

Подготовку напыляемой поверхности следует проводить с таким расчетом, чтобы наряду с очисткой осуществлялся и процесс ее активации, т.е. выведение из состояния термодинамического равновесия. Для этого необходимо разорвать связи между поверхностными атомами основы и инородными атомами, повысить энергию поверхностных атомов до уровня обеспечения их химического взаимодействия с напыляемыми частицами.

Кроме того, подготовка поверхности должна обеспечивать улучшение механического закрепления напыляемых частиц, что создается созданием шероховатости на напыляемой поверхности в пределах $R_a = 20-80$.

Наличие на поверхности напыления гребешков (выступов) увеличивает контактную температуру на выступах. При этом возрастает суммарная поверхность взаимодействия покрытия и подложки. Элементы «анкерного» зацепления усиливают фактор механического взаимодействия.

Практически предварительная подготовка проводится обезжириванием, механическими способами и абразивно-струйной очисткой.

Обезжиривание ведут в ваннах или применяют местное обезжиривание – протиркой. Используют щелочные растворы или органические растворители – керосин, бензин, толу-

ол, хлорированные углеводороды и т.п. В особо ответственных случаях используют электрохимическое обезжиривание в щелочных растворах и ультразвуковую очистку. Для капиллярного удаления адсорбированной жидкой смазки используют выжигание с нагревом в печи до 150–200°С.

Механическая очистка – крацевание вращающимися металлическими щетками, обработка ленточным абразивом.

Абразивно-струйная очистка (дробеструйная обработка) относится к наиболее распространенному методу подготовки поверхности при газотермическом напылении. В некоторых случаях она может заменять обезжиривание и механическую очистку.

Обработку проводят струей сжатого воздуха с абразивными частицами в защитных камерах. Направленный скоростной поток создается пистолетом инъекционного типа. Процесс ведут вручную, так и с применением автоматического перемещения обрабатываемой поверхности. В качестве абразивных частиц используют электрокорунд, карбид кремния, дробь чугунную (ДЧК) и стальную (ДСК). Размер абразивных частиц составляет 0,5–2 мм. Давление воздуха в пределах 0,4–0,7 МПа, воздух должен быть очищен от влаги и масла. Дистанция обработки составляет 100–150 мм, время очистки 25–30 сек; до образования равномерного матового оттенка поверхности. Интервал времени между обработкой и напылением должен быть минимальным, не более 0,5–1 ч.

В технологию подготовки напыляемой поверхности входят также операции по защите участков детали не подлежащих напылению. Эти участки защищаются экранами из жести или керамическими обмазками на основе жидкого стекла. Отверстия масляных каналов проще всего заглушить деревянной пробкой.

2.3.2. Подготовка напыляемого материала

Проволока, предназначенная для напыления, должна быть очищена от органических, химических и механических загрязнений – смазки, ржавчины и т.п. Для этого используют обезжиривание сильными растворителями с последующей сушкой и протиркой, выжигание смазки нагревом бухты проволоки в печи при 100–150°C. Очистку производят путем перемотки в двух кассетных приспособлениях простого устройства с протягиванием через абразивные, войлочные или тканевые фильтры.

Для ЭДМ целесообразно использовать омедненную проволоку, что значительно улучшает токосъем и сохраняет направляющие распылителя от истирания.

Подготовка порошков заключается в отсеве требуемой фракции 40–80 мкм, их сушке или прокаливании. При этом улучшается сыпучесть, снижается количество связанной и адсорбированной влаги, а также органических загрязнений. Температура сушки металлических порошков составляет 120–150°C, оксидные порошки прокаливают при 400–600°C. Порошки засыпают в противни толщиной засыпки 10–15 мм, время сушки 2-5 часов при периодическом перемешивании.

2.4. Газопламенное напыление

2.4.1. Сущность газопламенного напыления

Сущность процесса газопламенного напыления (ГПН) состоит в нагреве напыляемого материала (порошка, проволоки) теплом газового пламени и распылении его струей сжатого воздуха или кислорода. Газовое пламя образуется от сгорания ацетилен или пропан-бутана в кислороде или воздухе (в зависимости от типа установок). Для формирования

газотермического потока чаще используют инжекторные распылительные устройства (рисунок 2.3).

В таком устройстве кислород, подаваемый через инжектор 9 в смесительную камеру 8, развивает высокую скорость истечения и соответственно этому создается разрежение, за счет чего происходит подсос горючего газа. Образовавшаяся горючая смесь по кольцевому каналу и радиальным отверстиям в корпусе газового сопла 1 подается в газовое сопло 3 и образуется пламя 6. Напыляемый материал подают по центральному каналу 7, при выходе из которого он попадает в газотермическую струю, где нагревается, диспергируется (для проводки) и ускоренно транспортируется в сторону напыляемой поверхности. Для повышения интенсивности нагрева и скорости частиц предусмотрено воздушное обжимное сопло 5.

Кроме рассмотренной схемы подачи порошка по центральному каналу существуют схемы ввода порошка под углом к каналу транспортирующего газа (рисунок 2.4 а) или за пределами сопла горелки в зону газового пламени (рисунок 2.4 б).

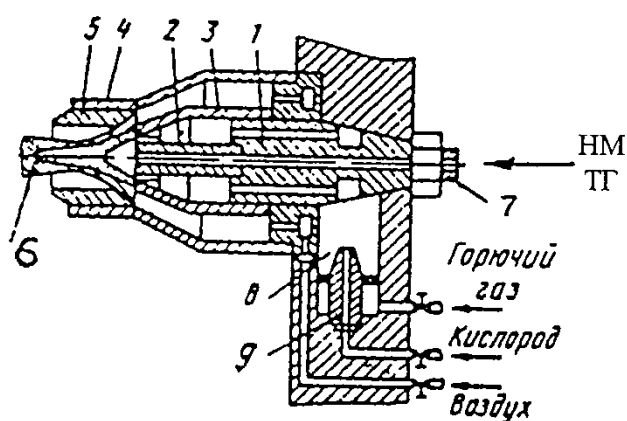


Рисунок 2.3 – Конструкционная схема газопламенного инжекторного распылителя: 1 – корпус газового сопла; 2 – наконечник сопла; 3 – газовое сопло; 4 – воздушный колпак; 5 – воздушное обжимное сопло; 6 – газовое пламя; 7 – канал для подачи напыляемого материала (НМ) и транспортирующего газа (ТГ); 8 – смесительная камера; 9 – инжектор

В первом случае порошок из емкости, закрепленной на горелке, после открытия клапана поступает в канал горелки и захватывается потоком транспортирующего газа.

Во втором способе порошок, стержни подаются непосредственно в факел пламени.

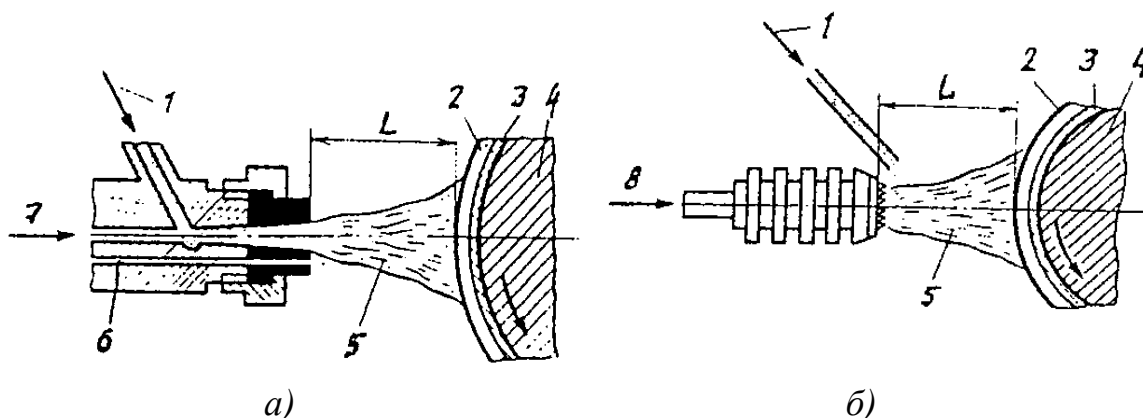


Рисунок 2.4 а, б – Принципиальные схемы подачи напыляемого материала при газопламенном напылении: а – инжекцией с боковым вводом; б – силами гравитации; 1 – подача напыляемого материала; 2 – напыленный слой; 3 – подслой; 4 – деталь; 5 – факел пламени; 6 – горючая смесь; 7 – транспортирующий газ; 8 – подача рабочего газа; L – дистанция напыления

Основными параметрами и показателями режима ГПН является: род горючего газа (ацетилен, пропан-бутан); рабочее давление газов, МПа: ацетилена 0,11–0,095; кислорода 0,6–0,15; воздуха 0,4–0,25; расход газов 0,5–2,5 м³/ч; соотношение кислорода к горючему газу 1,1÷1,4; дисперсность напыляемых частиц 20–120 мкм; диаметр проволоки 1–3 мм; расход порошка 0,5–10 кг/ч; скорость подачи проволоки 0,15–1,0 м/с; максимальная температура струи 3000–3200°С; скорость газопламенной струи 150–300 м/с, а скорость частиц в потоке 50–100 м/с.

По виду напыляемого материала различают установки для порошкового и проволочного напыления. Для напыления порошков разработаны установки типов УПН-8-68, УГПТ,

УПТР. Главное их назначение состоит в напылении порошковых материалов с достаточно высокой температурой плавления. Для напыления покрытий из порошков легкоплавких металлов, например, цинка, термопластичных пластмасс и других материалов с температурой плавления до 800°С используют установку типа УГПЛ.

ВНИИавтогенмаш разработаны и выпускаются промышленностью горелки ГАЛ-2-68 с подачей порошка транспортирующим газом и ГАЛ-6-73 с внешней подачей порошка в зону пламени, а также аппарат 021-4 «Ремдеталь» (рисунок 2.5).

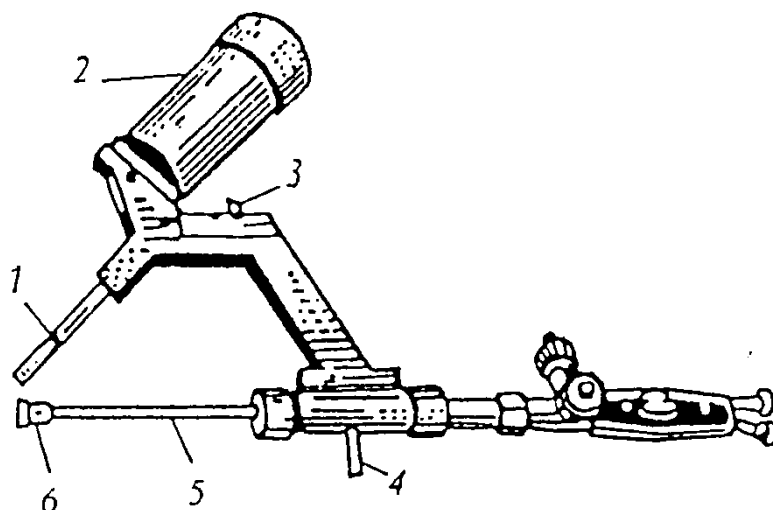


Рисунок 2.5 – Аппарат 021-4 «Ремдеталь»

- 1 – подводящая трубка; 2 – бачок с порошком; 3 – курок;
4 – штырь для установки горелки и суппорт станка;
5 – трубка подачи газовой смеси; 6 – мундштук-наконечник

2.4.2. Технология и применение газопламенного напыления

Получение качественных покрытий возможно только при строгом соблюдении режимов и тщательной подготовке поверхностей деталей, подвергающихся металлизации. Последовательность операций при подготовке поверхности к ГПН: детали очищают от грязи, пленок, масла, жировых пя-

тен, влаги, ржавчины, устраняют следы износа и придают детали правильную геометрическую форму, проводят механическую обработку, обрабатывают поверхность для получения шероховатости, необходимой для удержания наносимого слоя, защищают поверхности, не подвергающиеся металлизации.

Для придания шероховатости нарезают «рваную» резьбу резцом, установленным с вылетом 3–6 мм. Вибрация резца приводит к появлению шероховатой с заусенцами поверхности. Резьбу нарезают при скорости резания 8–10 м/мин с шагом 0,9–1,3 мм и глубиной 0,6–0,8 мм. Может быть применена накатка резьбы.

Для повышения сцепляемости напыляемого материала с основным металлом на поверхность детали наносят подслоя, состоящий из смеси алюминий-никель ($Ni = 80–82\%$ и $Al = 18–20\%$). Эта смесь представляет собой экзотический порошок из сферических частиц алюминия, покрытых никелем, или, наоборот, из частиц никеля, покрытых алюминием.

При нанесении подслоя в результате протекания экзотермической реакции частицы этого металла достигают высокой температуры (свыше $1500^{\circ}C$) и легко свариваются или сплавляются с поверхностью восстанавливаемой детали. Глубина зоны сплавления незначительна – 0,1 мм.

Для нанесения основного слоя используется, как правило, механическая смесь порошков ПГ-ХН80СР2 и СНГН (75–80%) с порошком алюминий-никель (20–25%). Смесь должна быть тщательно перемешана.

Для восстановления деталей из стали и чугуна с местным износом, работающих при знакопеременных нагрузках, в агрессивных средах и при повышенных температурах, применяются самофлюсующиеся порошки для газопорошковой

наплавки ПГ-10Н-01 (с твердостью покрытия HRC 56–63), ПГ-10К-01 (HRC 46,7–52), ПГ-10Н-04 (HRC 86–97). Для восстановления деталей типа «вал», работающих при знакопеременных и ударных нагрузках, абразивном изнашивании и при воздействии высоких температур, применяют самофлюсующиеся порошки с последующим оплавлением ПГ-12Н-01 (HRC 36,5–45,5), ПГ-12Н-02 (HRC 46,5–53), ПС-12НВК-01 (HRC 56–63). Для восстановления и упрочнения посадочных мест деталей, не подвергающихся в процессе эксплуатации ударным и знакопеременным нагрузкам, применяют порошковые материалы без последующего оплавления ПТ-19Н-01 (HRC 30–41,5), ПГ-19М-01 (HRC 65–72), ПГ-19Н-01 (HRC 72–74). Грануляция порошков должна быть 40–10 мкм.

Примерные режимы ГПН: для подслоя давление ацетилен 0,1 МПа, давление кислорода 0,25 МПа, давление воздуха 0,5 МПа, скорость напыляемой поверхности 18–22 м/мин, продольная подача металлизатора 2–3 мм/об, дистанция напыления 130–150 мм. Поверхность детали перед нанесением покрытия нагревается до 60–80°C, для нанесения основного слоя давление ацетилен равно 0,04–0,06 МПа, давление кислорода 0,2–0,7 МПа, расход ацетилен 240–850 л/ч, расход кислорода 600–2100 л/ч, давление воздуха 0,3–0,5 МПа, расход воздуха 0,6–0,8 м³/мин, скорость подачи проволоки 2–6 м/мин. Производительность процесса 1–10 кг/ч. Температура детали не должна превышать 150°C.

2.4.3. Плазменное напыление

Сущность процесса плазменного напыления

Плазмой называется газ, находящийся в сильно ионизированном состоянии. Процесс ионизации плазмообразующего газа происходит в результате потери электронной оболоч-

кой атома газа одного или нескольких электронов под воздействием внешних сил. Такими внешними силами могут быть упругие соударения атомов под действием высокой температуры либо высокого давления.

В современных устройствах для получения низкотемпературной плазмы (плазмотронах) обычно реализуется принцип нагрева плазмообразующего газа. Источником нагрева является электрическая дуга, возникающая при подаче напряжения на электроды плазменной горелки (плазмотрона). Дуга горит в пространстве, изолированном от атмосферы. В зону дуги подается плазмообразующий газ, который в результате нагрева ионизируется и выходит из канала сопла горелки в виде ярко светящейся струи плазмы. Температура плазмы внутри канала сопла $18000\text{--}20000^\circ\text{C}$, однако на выходе из сопла температура резко снижается и на расстоянии $15\text{--}25$ мм от торца сопла составляет $5000\text{--}8000^\circ\text{C}$.

Напыляемый материал подают в активную часть плазменной струи, где он нагревается и ускоренно транспортируется в сторону напыляемой поверхности. Средняя скорость напыляемых частиц составляет 300 м/с, а скорость потока плазмы до 800 м/с.

В качестве плазмообразующих газов обычно применяют аргон, азот или их смеси в различном соотношении. Для повышения теплосодержания плазмы добавляют $5\text{--}10\%$ водорода по объему. В настоящее время разработаны конструкции плазмотронов, работающие на углекислом газе или воздухе, что значительно снижает стоимость напыления.

Простейшая схема плазменного распылителя приведена на рисунке 2.6. Распылитель (горелка) состоит из двух основных частей: анодной 1 и катодной 5, разделенных электроизолятором 3. Эти части плотно закрепляются в одном корпусе при помощи стяжных болтов 6.

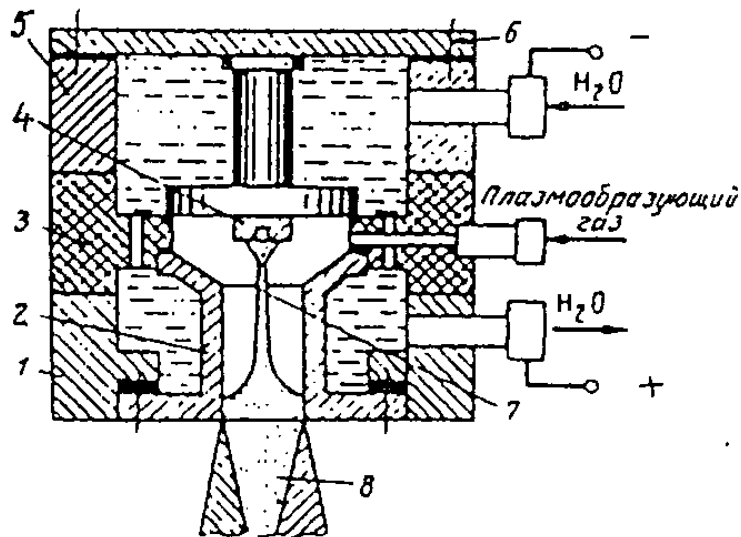


Рисунок 2.6 – Конструктивная схема плазменного распылителя

В анодном узле находится медное сопло 2, а в катододержателе закреплен неплавящийся вольфрамовый электрод 4. Катодный и анодный узел интенсивно охлаждаются проточной водой, подаваемой через токоподводы, совмещенными с каналами подачи вода. Попадание воды в канал сопла недопустимо, поэтому сопрягаемые поверхности должны быть надежно герметизированы резиновыми прокладками. Между электродом и соплом возбуждается и горит электрическая дуга 7. Тепло, выделяемое дугой, является источником нагрева плазмообразующего газа для его ионизации. Возбуждение дуги осуществляется замыканием электродов тонкой проволокой или графитовым стержнем, либо (в большинстве современных установок) с помощью высокочастотного высоковольтного разряда от осциллятора. Осциллятор – это высокочастотный генератор, обеспечивающий напряжение 1000–10000 В с частотой 200–400 Гц.

Плазменная струя 8, вытекающая из сопла, является источником нагрева, распыления и ускорения частиц. Распыляемая проволока подается на срез сопла. Порошок вводят в различные участки канала сопла или за его пределами.

Основными параметрами, характеризующими режим работы плазмотрона, являются: мощность дуги, определяемая силой тока и напряжением на дуге; состав, расход и давление плазмообразующего газа; производительность по распыляемому материалу (расход транспортирующего газа на подачу порошка или скорость подачи проволоки); дистанция напыления; конструкционные параметры распылителя (диаметр электрода, диаметр и длина канала сопла); коэффициент напыления (коэффициент использования напыляемого материала).

Оборудование плазменного напыления

Отечественная промышленность серийно выпускала две установки марок УМП-6 и УПУ-3Д. Последними разработками явились установки УПУ-7, УПУ-8М, УН 119 (Киев 7), полуавтомат 15 В-Б. В комплектность плазменной установки любого типа входят следующие агрегаты: плазменный распылитель (горелка) порошкового или проволочного исполнения; порошковый дозатор; пульт управления; источник тока; система газоснабжения (баллоны, влагомаслоотделитель); система водоохлаждения (подкачивающий насос из центральной сети или система замкнутой циркуляции с холодильником).

Применение плазменного напыления

Ввиду достаточно высокой температуры плазменной струи ограничений по температуре плавления напыляемого материала практически не существует. Плазменным напылением восстанавливают цилиндрические и плоские поверхности независимо от габаритов и материала детали.

Рассмотрим некоторые примеры применения плазменных покрытий из различных материалов.

1. Порошковые Fe-сплавы.

Нержавеющая сталь: втулки цилиндров дизелей; гнезда подшипников и сальников роторов компрессоров; кольца, лопасти и сопла гидравлических турбин.

FeCrV: ножи бульдозеров; опорные катки гусеничных тракторов.

Феррохром: поршневые кольца двигателей внутреннего сгорания, внутренние стенки камер сгорания.

2. Порошковые Ni - сплавы.

NiCrSiV: валы и опорные цапфы сельскохозяйственных машин; кулачковые валы, фурмы доменных печей (стойкость фурм повышается в 30 раз); винтовые транспортеры и шнеки используемые в экструдерах; втулки валов в центробежных насосах; ножи грануляторов; роторы смесителей; штамповочный инструмент (срок службы инструмента в 2–3 раза превышает срок службы инструмента из стали 5ХНМ и др.).

Ni-Cr: выхлопные трубы; головки поршней; стержни выхлопных клапанов; ящики для цементации; подслои.

Ni-Al: покрытия труб в теплообменниках; покрытия, стойкие к действию щелочей; корпус компрессора авиационного двигателя; подслои.

Ni-Ti: износостойкие; термостойкие; покрытия стойкие к действию щелочных и кислых растворов.

3. Карбиды, бориды, оксиды.

В основном применяют в виде композиционных плакированных порошков с подслоем. TiC, Cr₃C₂, WC, ZrC, NbC, TiB₂, CrB₂, ZrB₂, HfB₂, W₂B₅, TiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, ZrO₂. Для получения износостойких, термостойких, эрозионностойких и т.п. покрытий.

2.4.4. Плазменная наплавка

Сущность, оборудование и применение плазменной наплавки

Процессы плазменной наплавки, как и других способов наплавки, занимают одно из важных мест в современной сварочной технике. Они применяются как для восстановления изношенных деталей машин и оборудования, так и при изготовлении новых. Последнее обусловлено необходимостью придания рабочим поверхностям деталей и изделий определенных свойств: антифрикционных, жаропрочных, кислотоупорных, коррозионностойких, износостойких, электро- и теплопроводных и др. В связи с этим большое количество изделий изготавливаются биметаллическими: основа их состоит из недефицитных и наиболее дешевых материалов (например, из углеродистых или низколегированных сталей), а плакирующий слой наплавляется металлами и сплавами с особыми физико-химическими и механическими свойствами (например, сплавами на медной основе, хромоникелевыми нержавеющейими сталями, сплавами на основе тугоплавких материалов и т.д.). Масса металла наплавки в таких изделиях составляет всего несколько процентов от их массы, а работоспособность, как правило, значительно выше, чем у аналогичных изделий из однородных материалов. Таким образом, широкое использование биметаллических деталей или изделий, изготовляемых путем наплавки, обеспечивает получение как технических, так и экономических преимуществ.

С помощью наплавки получают самые разнообразные изделия и детали: валы различного назначения, зубья ковшей экскаваторов, вкладыши подпятников крупных турбогенераторов, поршни, штоки, подшипники, изделия химического машиностроения и др.

В биметаллических конструкциях, изготавливаемых методами наплавки, получается сварное соединение разнородных металлов. Свойства металла наплавки и всего изделия в целом в большой мере зависят от глубины проплавления основного материала, перехода элементов основного металла в металл наплавки, образование в зоне сплавления и в металле наплавки новых фаз и структурных составляющих, отсутствовавших в исходных основном и присадочном материалах. При этом, как правило, чем больше доля основного металла в металле наплавки, тем хуже свойства, как металла наплавки, так и соединения в целом. В связи с этим для изготовления ответственных биметаллических деталей или изделий наиболее целесообразно применять такие способы наплавки, которые обеспечивают минимальное проплавление или растворение основного металла.

При плазменной наплавке источником теплоты, обеспечивающим плавление присадочного материала, является плазменная струя. В наплавочных устройствах (плазмотронах) плазменная струя образуется при прохождении газа (аргона) в узком канале через столб дугового разряда между двумя электродами. Высокая концентрация тепловой энергии в плазменной струе, стабильность дугового разряда, возможность отдельного регулирования степени нагрева основного и присадочного материалов обуславливают преимущества плазменной наплавки, особенно в тех случаях, когда присадочный металл по составу и свойствам отличается от основного.

При плазменных способах наплавки присадочный материал может подаваться в виде проволоки, ленты или порошка.

Плазменная наплавка с присадочной проволокой может осуществляться дугой прямого действия, когда она горит между электродом плазмотрона и изделием, а проволока электрически нейтральна (рисунк 2.7 а, з); независимой ду-

гой, когда она горит между электродом плазмотрона и токоведущей присадочной проволокой, а основной металл (изделие) электрически нейтрален (рисунок 2.7 б), и комбинированным способом, когда горят две дуги: между неплавящимся электродом и изделием и между неплавящимся электродом и токоведущей присадочной проволокой (рисунок 2.7 в, д).

При наплавке дугой прямого действия только при относительно небольших токах обеспечивается минимальное проплавление основного металла. Однако в этом случае и производительность наплавки небольшая (1–2 кг наплавленного металла за 1 ч). Применение больших токов в цепи электрод – изделие приводит к значительному проплавлению основного металла, что может быть допустимо только при соединении однородных металлов (например, при наплавке для восстановления изношенных поверхностей).

При плазменной наплавке независимой дугой с токоведущей присадочной проволокой плазменная струя преимущественно используется для плавления присадочной проволоки и в незначительной степени для нагрева основного металла. Главным источником тепла для нагрева материала изделия является расплавленный присадочный металл, переходящий с проволоки на наплавляемую поверхность в виде капель, а при больших токах – даже в виде струи.

При таком способе плазменной наплавки по существу происходит заливка поверхности изделия жидким присадочным металлом. В этом случае для надежного сплавления присадочного металла в основном необходимо обеспечить смачивание поверхности последнего жидким присадочным металлом. Для этого поверхность основного металла надо нагреть до температуры не ниже температуры плавления присадочного металла. При наплавке относительно неболь-

ших изделий (валы диаметром до 100–150 мм, плоские изделия толщиной до 30–50 мм) тепла, переносимого к изделию жидким присадочным металлом, оказывается достаточно для обеспечения смачивания твердого металла жидким и получения наплавленных изделий высокого качества.

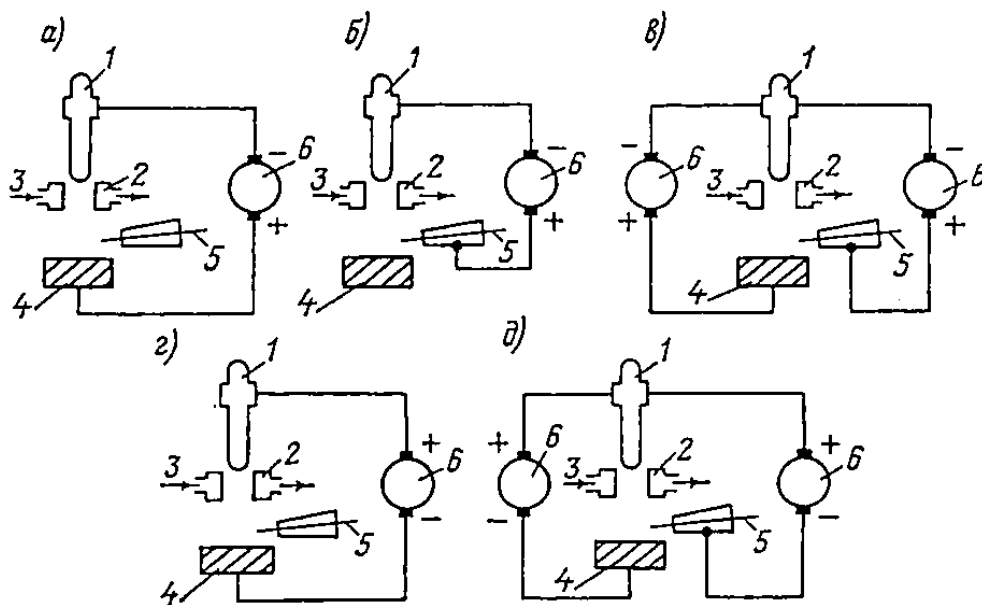


Рисунок 2.7 – Принципиальные схемы плазменной наплавки:
а – зависимой дугой на прямой полярности; *б* – независимой дугой на прямой полярности с токоведущей присадочной проволокой;
в – полунезависимой сжатой дугой на прямой полярности;
г – зависимой дугой на обратной полярности; *д* – полунезависимой дугой на обратной полярности с токоведущей присадочной проволокой; *1* – неплавящийся электрод; *2* – водоохлаждаемое сопло;
3 – охлаждающая вода; *4* – изделие; *5* – присадочная проволока;
6 – источник питания.

При плазменной наплавке независимой дугой с токоведущей присадочной проволокой массивных изделий (валов сплошного сечения диаметром свыше 150–200 мм, плоских изделий толщиной более 50 мм) тепла, переносимого на изделие жидким присадочным металлом, может оказаться недостаточно для обеспечения смачивания основного металла. В этом случае целесообразно применять комбинированный

способ наплавки (рисунок 2.7 *в* и *д*), при котором основной металл дополнительно подогревается маломощной дугой электрод-изделие.

Плазменная наплавка металлов, как с токоведущей, так и с нетоковедущей присадочной проволокой может выполняться как на прямой (минус на неплавящемся электроде, рисунок 2.7 *а*, *б*, *в*), так и на обратной (плюс на неплавящемся электроде, рисунок 2.7 *г*, *д*) полярности.

Недостатком первого способа является то, что в процессе наплавки на прямой полярности на поверхности основного металла и на ранее наплавленном валике образуется слой окислов, ухудшающий смачивание твердого металла жидким. Кроме того, указанным способом нельзя без применения специальных приемов наплавлять металлы и сплавы, в состав которых входят элементы, образующие в процессе наплавки тугоплавкие пленки окислов (например, алюминий, алюминиевые бронзы, никелевые сплавы и др.). Так, наплавка плазменной струей с токоведущей присадочной проволокой на токах прямой полярности бронзы БрАМц9-2 на сталь может осуществляться только с использованием специальных флюсов, удаляющих образующиеся в процессе наплавки окислы Al_2O_3 (например, флюс марки 34А).

Чтобы обеспечить в процессе наплавки очистку поверхности основного металла и сварочной ванны от окислов, загрязнений, наплавку осуществляют на токе обратной полярности. При этом способе используется эффект катодного распыления, при котором значительно улучшается смачивание поверхности изделия жидким металлом, обеспечивается разрушение образующихся или имевшихся на присадочной проволоке окислов и повышается качество сплавления металлов.

Пост для плазменной наплавки на токах как прямой, так и обратной полярности принципиально не отличается от по-

стов для автоматической наплавки под флюсом и в среде защитных газов. Он состоит из источника питания, сварочной головки и механизма перемещения ее относительно изделия (или изделия относительно сварочной головки). Сварочная головка состоит из механизма подачи присадочной проволоки, колебательного механизма и плазмотрона.

Во избежание выхода из строя плазмотрона из-за непредвиденного прекращения подачи или уменьшения расхода охлаждающей воды в электрическую схему установки целесообразно вводить водяное реле, обеспечивающее зажигание и горение дуги только при достаточном расходе охлаждающей воды.

В сварочную головку установки введен колебательный механизм, обеспечивающий поперечные колебания плазмотрона и присадочной проволоки относительно оси перемещения сварочной головки. Такой механизм дает возможность получать за один проход широкие (до 60 мм) наплавленные валики. Кроме того, как установили практически, при наплавке без колебания плазмотрона температура нагрева поверхности основного металла под ванной жидкого присадочного металла в поперечном к наплавленному валику направлении изменяется по нормальному закону с максимумом на центральной оси валика. Если на краях валика она достигает 1100–1150°C, то в центральной области шириной 10–12 мм она превышает 1550–1600°C, что приводит к расплавлению основного металла и к значительному перемешиванию его с жидким присадочным.

При поперечных колебаниях плазмотрона и присадочной проволоки температура по всей ширине валика находится практически на одном уровне и при правильно выбранном режиме наплавки проплавления основного металла либо не

происходит совсем (при наплавке легкоплавких металлов на тугоплавкие), либо осуществляется минимальное проплавление (при наплавке металлов с теплофизическими свойствами, близкими к теплофизическим свойствам основного металла).

На рисунке 2.8 приведена установка для плазменной наплавки плоских поверхностей на базе автомата АДС-1000.

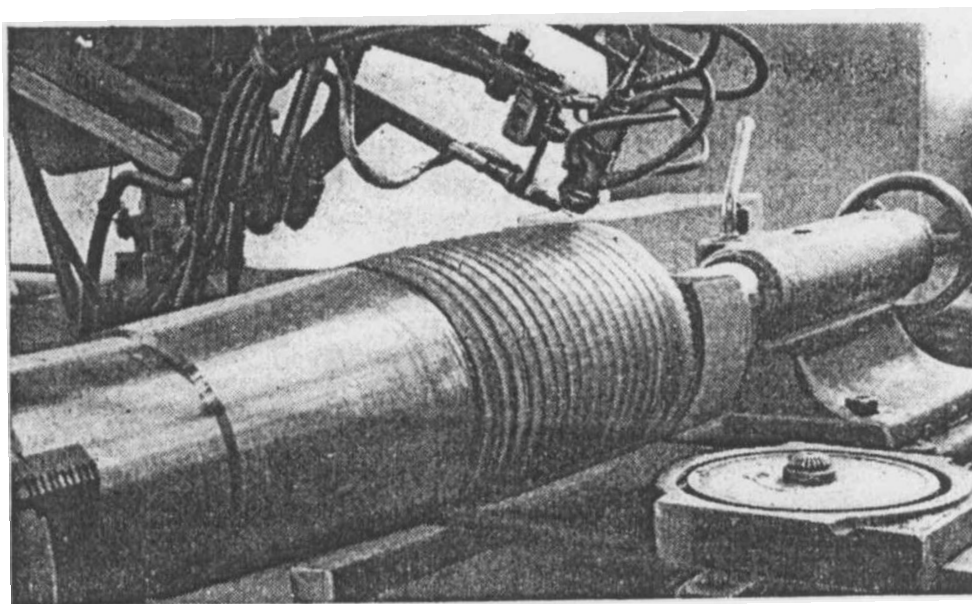


Рисунок 2.8 – Общий вид автомата для плазменной наплавки, оборудованного на базе автомата АДС-1000

Плазменную наплавку производят на установках УПУ-ЗМ, У МП-4-64, У МП-5-68, ОКС-11231, ОКС-11192, ОКС-9129, У-516 и др. Наплавочный станок ОКС-11231 служит для восстановления плазменной наплавкой деталей типа «вал» твердосплавными порошковыми материалами. Процесс позволяет получать покрытия толщиной 0,6–5 мм на диаметр с минимальной глубиной проплавления основного металла. Наплавочная установка ОКС-11192 предназначена для восстановления изношенной фаски тарелки клапанов двигателей внутреннего сгорания. Универсальная плазменная установка ОКС-9192 предназначена для плазменной наплавки цилин-

дрических, торцевых и плоских деталей машин при их восстановлении с использованием в качестве наплавочных материалов металлических порошков и проволоки. Установка У-516 служит для плазменной наплавки порошковыми материалами наружных цилиндрических поверхностей 0 до 300 мм и длиной 600 мм, торцевых поверхностей дисков, плоских поверхностей, конических и фасонных деталей, плунжеров насосов, валов и втулок.

В качестве присадочного материала при плазменно-дуговой наплавке используются твердосплавные порошки, как правило, на основе никеля ПГ-ХН80СР2 (HRC 45–50), ПГ-ХН80СР4 (HRC 55–60), ПН55Т5 (HRC 55–60). При отсутствии этих порошков могут быть применены порошковые сплавы на железной основе КБХ, ФБХ-6-2, УС-25, порошковый сормайт ПГ-С2, ПГ-СР2, Т-590. Размер частиц порошка должен быть в пределах 70–60 мкм, но высокое качество наплавки можно получить, если разница в размерах однородных частиц не превышает 30 мкм.

Особое внимание в установках для плазменной наплавки необходимо уделять механизму подачи проволоки, которая должна подаваться к плазмотрону плавно, без рывков и строго к оси канала сопла. Регулировка скорости подачи проволоки также должна осуществляться плавно с помощью потенциометра. При выполнении этих требований обеспечивается устойчивый процесс плавления присадочной проволоки и перенос расплавленного металла в сварочную ванну, перемещающуюся по поверхности изделия.

Кассета с присадочной проволокой устанавливается в вертикальной плоскости на расстоянии не менее 0,5–1,0 мм от подающих роликов. При сматывании с кассеты проволока поступает в упругую стальную спираль или во фторопласто-

вую трубку, выходной конец которой закреплен непосредственно у подающих роликов. Равномерная подача присадочной проволоки может быть обеспечена только при отсутствии ее перегибов, проскальзывания в подающих роликах и задержки в направляющем устройстве и токоподводящем наконечнике.

При использовании присадочной проволоки сплошного сечения подающие ролики целесообразно изготавливать гладкими (без насечки) с направляющей канавкой глубиной до 0,5 мм. При наплавке порошковой проволоки ролики должны иметь насечку и канавку глубиной 0,3–0,5 диаметра проволоки.

При наплавке деталей цилиндрической формы могут применяться манипуляторы или модернизированные токарные станки, обеспечивающие вращение детали в процессе наплавки и перемещение плазменной головки с присадочной проволокой вдоль оси детали со скоростью от 2 до 20 м/ч.

В состав поста для плазменной наплавки входят также баллоны с плазмообразующим и защитным газами, редукторы для регулирования давления и расхода газа, ротаметры типа РС-300 для измерения расхода плазмообразующего газа и РС-500 для измерения расхода защитного газа, а также электроизмерительные приборы.

В ремонтной практике для плазменной наплавки преимущественно используются порошки. Порошковая наплавка производится двумя методами: подачей порошка непосредственно в сварочную ванну и вдуванием его в плазменную струю. Схема наплавки с вдуванием порошка в плазменную струю приведена на рисунке 2.9. От источника тока G через балластные реостаты P_1 и P_2 питается дуга косвенного действия – катод 4 , внутреннее сопло – анод 6 и дуга прямого действия – электрод 4 , деталь 2 . В сопло 6 подается плазмообразующий газ 5 . Транспортирующим газом 8 из питателя 7

в плазменную струю вносится порошок, который в струе частично оплавляется и наносится на поверхность детали, где окончательно оплавляется, образуя наплавленный слой. Защитный газ 9, проходя через наружное сопло 3, изолирует зону наплавки от воздействия атмосферного воздуха.

Наплавка с присадочной проволокой может быть осуществлена плазменной струей прямого или косвенного действия.

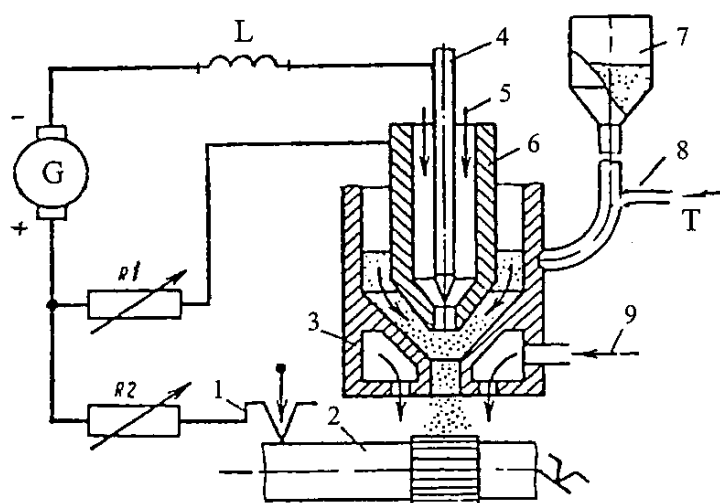


Рисунок 2.9 – Схема наплавки с вдуванием порошка в плазменную струю: 1 – провод; 2 – деталь; 3 – наружное сопло; 4 – вольфрамовый катод; 5 – плазмообразующий газ; 6 – внутренне сопло; 7 – питатель; 8 – транспортирующий газ; 9 – защитный газ; G – источники питания током; R1 и R2 – реостаты; L – дроссель

В первом случае присадочная проволока вводится в плазменную струю так же, как при газовой сварке. При дуге косвенного действия нагрев детали до требуемой температуры производится плазменной струей, а плавление присадочной проволоки – дополнительной дугой, горящей между катодом плазмотрона и проволокой. Для подачи электродной проволоки в плазменную струю могут быть использованы полуавтоматы ПШ-54, ПДШМ-500.

Плазменнодуговой способ наплавки порошковых материалов позволяет получать покрытия толщиной до 6 мм при производительности процесса 3–8 кг/ч для горелок мощностью 30–60 кВт и 50–80 кг/ч для горелок мощностью 150–200 кВт.

2.4.5. Детонационно-газовое напыление

Источником нагрева и ускоренного движения порошковых частиц при детонационном напылении является высокоскоростной поток газовой смеси, образующийся в результате воспламенения и последующего направленного взрыва в виде детонационных волн дозированного количества газовой смеси, подаваемой в камеру сгорания и в ствол установки.

Под детонацией понимают процесс химического превращения взрывчатого вещества, сопровождающийся распространением детонационной волны с максимально возможной скоростью, превышающей скорость звука в данной среде. Химическое превращение обеспечивает нагрев газовой смеси. При этом резко увеличивается объем продуктов реакции, в 1000 раз и более, и развивается давление до $(15 \div 30)10^5$ Па. Время протекания реакции составляет примерно $5-10^{-3}$ с. Скорость распространения детонационной волны составляет 1000–3000 м/с, а ее температура $(3-5)10^3$ К. Скорость напыляемых частиц в потоке составляет 800–1300 м/с. Однако в момент удара о напыляемую поверхность частица дополнительно разогревается, ее температура и энтальпия существенно возрастают. Этим объясняют более высокие свойства покрытий ДГН по сравнению с ранее рассмотренными методами ГТН. Так пористость покрытий может составлять 1–3%, а прочность сцепления с основой в 2–5 раз выше, чем плазменных покрытий.

Схема процесса приведена на рисунке 2.10. Метод основан на принципе работы огнестрельного оружия (пушки), в стволе которого формируется детонационная волна, увлекающая подаваемый порошок.

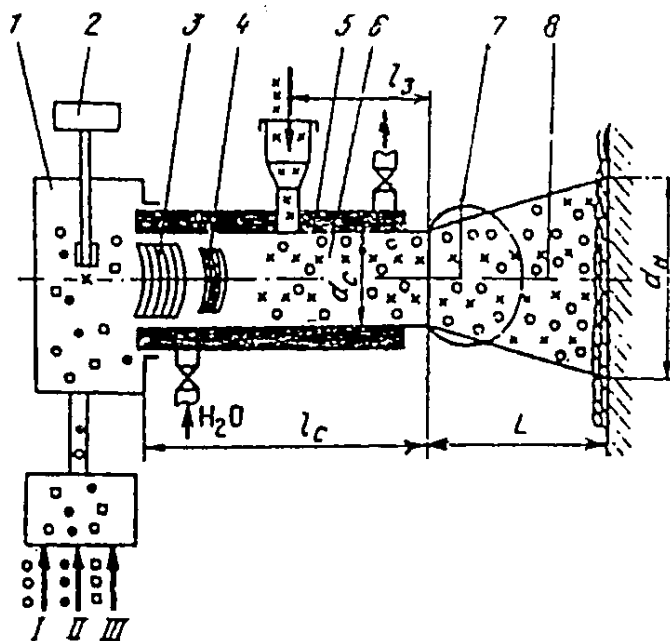


Рисунок 2.10 – Схема детонационно-газового напыления:

I – горючий газ; *II* – кислород; *III* – технологический газ (азот);
 d_c – диаметр ствола; l_c – длина ствола; L – дистанция напыления;
 d_n – диаметр напыления

В камеру сгорания *I* подается заданное количество газовой смеси, ацетилена (или его заменителей – пропан, бутан) и кислорода. Возможна также подача технологического газа (азот), которым регулируют теплофизические характеристики продуктов реакции. При помощи системы создания маломощного электрического разряда 2 (аналог автомобильной системы зажигания – батарея, катушка индуктивности, прерыватель, свеча) осуществляют поджигание смеси. Возникающие при этом тепловые волны 3 порождают затем детонационную волну 4. В канале ствола 5 детонационная вол-

на распадается с образованием горючей смеси 6. Напыляемый порошок из бункера-дозатора вводится в поток газа на определенном расстоянии от среза ствола – l_3 , называемой глубиной загрузки. Некоторые типы установок имеют прямоточную систему подачи порошка со стороны камеры сгорания вдоль оси ствола. На выходе из ствола образуется дульное пламя 7 и поток напыляемых частиц 8.

ДГН относится к циклическим процессам. Цикл состоит из трех составляющих:

1. Заполнение камеры горючей газовой смесью.
2. Воспламенение смеси, образование взрыва с одновременной подачей порошка в ствол.
3. Продувка камеры сгорания и ствола технологическим газом.

Общее время цикла составляет 0,2–0,5 с. При одном цикле образуется единичное пятно диаметром 20–30 мм, толщиной 10–30 мкм. Диаметр ствола пушки обычно составляет 18–25 мм, длина ствола 1000–2000 мм, дистанция напыления 150–300 мм.

Процесс ДГН механизирован и автоматизирован. Пушка с напыляемым изделием находится в специальном звукоизолированном боксе. Управление процессом дистанционное с пульта, вынесенного за пределы бокса. Пушка устанавливается на лафете, позволяющем поворачивать ее на определенный угол в горизонтальной плоскости, а также регулировать по вертикали относительно изделия.

ДГН применяют для получения покрытий различного назначения. Размеры и форма изделий не ограничены и определяются техническими возможностями устройств для их перемещения, а также размерами звукоизолированного бокса. Например, напылению подвергают изделия длиной до

10 м и диаметром 2–3 м, массой до 4 т, а также мелкие изделия, хирургический инструмент и т.п.

Для напыления могут быть использованы трудно деформируемые материалы – карбиды, оксиды, бориды, нитриды. При этом твердость покрытий достигает HRC 60, оптимальная толщина покрытия составляет 0,1–0,5 мм.

2.5. Электродуговая металлизация

Сущность электродуговой металлизации (ЭДМ) состоит в расплавлении проволочных электродов образующейся между ними электрической дугой, распылении расплавленного металла струей сжатого воздуха или газа и ускоренной транспортировке диспергированных частиц в сторону напыляемой поверхности со скоростью 60–120 м/с.

Металлические частицы, попадая на покрываемую поверхность, взаимодействуют и закрепляются на ней, образуя сплошное покрытие. При этом толщина слоя регулируется количеством подаваемого электродного материала за единицу времени, скоростью перемещения распылителя и числом его проходов относительно металлируемой поверхности.

Наибольшее распространение получила двухэлектродная схема (рисунок 2.11), кроме которой существует еще трехэлектродная схема и высокочастотное распыление. Распыляемый материал в виде проволоки 2 диаметром 1,0–2,5 мм подается в зону горения дуги 1 механизмом подачи 4. Напряжение от источника питания подводится к контактным устройствам 5.

Между скрещивающимися под определенным углом электродами расположено сопло 3, через которое подается распыляющий поток сжатого воздуха. Газовая струя срывает расплавленный металл с торцев проволоки, диспергирует его и образует поток напыляемых частиц совместно с распыля-

ющим газом 6 (двухфазная струя). Конфигурация потока формируется обжимающим соплом 7.

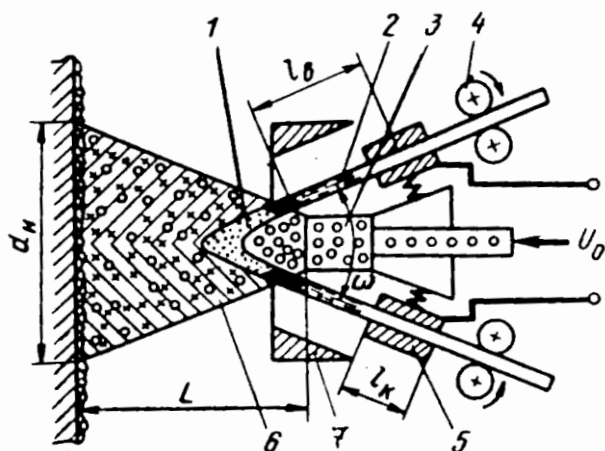


Рисунок 2.11 – Схема процесса электродуговой металлизации:
 L_b – длина вылета электродов; l_k – длина контакта токосъема;
 ω – угол схождения электродов; L – дистанция напыления;
 dh – диаметр пятна напыления

Основными параметрами режима ЭДМ являются: напряжение на дуге (18–35 В) – регулируется источником тока; сила тока (80–600 А) – зависит от диаметров электродов и скорости их подачи; давление сжатого воздуха (0,35–0,55 МПа); расход воздуха (50–150 м³/ч); скорость подачи проволоки (0,05–0,35 м/с); дистанция напыления L (60–150 мм).

2.5.1. Технологические особенности и применение электродуговой металлизации

Основной недостаток свойств покрытий при ЭДМ заключается в сравнительно низкой пористости сцепления покрытия с основой и повышенной пористости (5–15%). Твердость слоя, в основном, зависит от вида напыляемого материала.

Для снижения указанных недостатков необходимо выдерживать следующие условия:

1. Тщательная подготовка напыляемого материала и напыляемой поверхности.

2. Использование экранов (диск с отверстием), который устанавливается поперек потока напыляемых частиц примерно посередине дистанции напыления. Это позволяет отсекать периферийные энергетически слабые частицы, а покрытие формируется из активных частиц центральной части факела распыления.

3. Использование подслоя, увеличивающего адгезию, или комбинированных электродов. Например, один электрод из стальной углеродистой проволоки, а другой – из нихрома или бронзы, что позволяет регулировать состав и свойства покрытия.

4. Для толщин слоя более 1 мм положительно влияет нарезание «рваной резьбы».

Применение ЭДМ практически неограниченно. Можно напылять цилиндрические детали диаметром от 15-20 мм и более, а также плоские поверхности.

Имеется положительный опыт напыления шеек автомобильных коленчатых валов (при строгом соблюдении перечисленных выше технологических приемов), когда ходимость отремонтированных валов составляет не менее 40–50 тыс. км. пробега.

Примером использования толстых покрытий (10–12 мм) является напыление бронзой опорных шеек каландровых валов.

По литературным данным ЭДМ эффективно используют и для защиты плоских поверхностей больших площадей, например строительные металлоконструкции, емкости, корпуса судов и т.п.

Расширить технологические возможности ЭДМ, можно подавая жидкое углеводородное сырье, а также порошковые материалы в зону горения дуги вместе с распыляющим воздухом. Это существенно изменяет физико-механические свойства покрытий.

В Уральском институте сварки проведена модернизация серийно выпускаемых металлизаторов ЭМ-14 и ЭМ-17, и разработана серия оригинальных аппаратов активированной дуговой металлизации (АДМ), которые позволили улучшить характеристики и качество покрытий в сравнении с ЭДМ.

К отличительным особенностям АДМ относятся совместное использование продуктов сгорания восстановительных смесей в качестве транспортирующегося газа. АДМ позволяет наносить на изношенные детали покрытия из стали, бронзы, цинка, алюминия, нихрома и различных сплавов с получением необходимых механических характеристик.

На кафедре технического сервиса и ремонта машин Пермского ГАТУ совместно с Уральским институтом сварки разработана технология восстановления деталей сельскохозяйственной техники, рабочих органов почвообрабатывающих машин с применением оригинальных порошковых проволок с использованием технологии АДМ.

Установка АДМ-10 Уральского института сварки позволяет получать надежные износостойкие, жаростойкие антифрикционные покрытия на цилиндрических поверхностях (шейки валов, гнезда под подшипники качения, скольжения), различные плоские поверхности, антикоррозионные покрытия. Техническая характеристика установки АДМ-10: производительность до 18 кг/ч, толщина покрытия от 0,1 до 8 мм, диаметр проволоки: 1,6–2,2 мм, скорость подачи проволоки до 6,3 м/мин, напряжение: 14–40 В, рабочий ток: 100–380 А, рабочее давление газов – воздух: 0,3–0,8 МПа, пропан: 0,2–0,4 МПа.

Контрольные вопросы и задания к главе 2

1. В чем сущность процесса газотермического напыления?
2. Опишите технологию газотермического напыления?
3. В чем особенности подготовки поверхности напыляемых деталей?
4. Изложите сущность плазменного напыления. Укажите достоинство и недостатки, область применения и особенности подготовки поверхности.
5. В чем сущность процесса электродуговой металлизации. Опишите особенности технологии и применение. Каковы пути обеспечения и повышения сцепляемости покрытий с основой?
6. В чем особенности активированной дуговой металлизации?

3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Гальванические покрытия широко применяются в ремонтном производстве. Они имеют ряд преимуществ перед наплавкой металлов: процесс не вызывает структурных изменений в металле детали, так как практически отсутствует нагрев детали; процесс позволяет восстанавливать незначительные износы с минимальным припуском на механическую обработку, одновременно восстанавливать большое количество деталей; процесс поддается механизации и автоматизации.

В основу процесса положен электролиз металлов. При прохождении постоянного электрического тока через электроды, опущенные в электролит, в последнем образуются положительно и отрицательно заряженные ионы (рисунок 3.1.). Ионы несущие положительный заряд (катионы), перемещаются к отрицательному электроду-катоде, а ионы, несущие отрицательный заряд (анионы), движутся к положительному электроду-аноду.

Достигая поверхности электродов, ионы разряжаются, превращаясь в нейтральные атомы. При этом на аноде происходит растворение металла (переход его в раствор) с выделением кислорода, на катоде выделяется металл и водород.

По закону Фарадея теоретически количество металла, выделяющегося на катоде, определяется по формуле

$$g = C \cdot J \cdot t, \text{ г.}$$

где C – электрохимический эквивалент, выделяющегося на катоде вещества, г/а. ч. (для хрома 0,323, для железа 1,043, для никеля 1,095 и для меди 1,186); J – сила тока, А; t – продолжительность электролиза, ч. Но так как на катоде одновременно с осаждением металла выделяется водород и могут протекать другие процессы, то фактически осажденного металла будет меньше теоретически возможного.

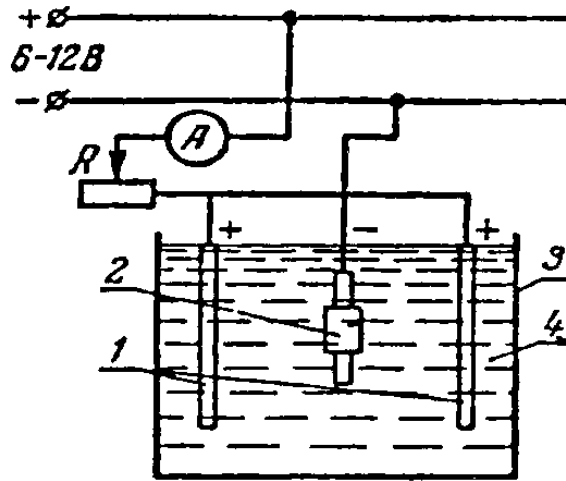


Рисунок 3.1 – Схема установки для электролитического осаждения металла: 1 – анод; 2 – катод (деталь); 3 – ванна; 4 – электролит

Отношение действительно полученного на катоде металла g_g к теоретически возможному называется катодным выходом металла по току, который выражается в процентах:

$$\eta = \frac{g_g}{g_T} \cdot 100\% = \frac{g_g}{C \cdot I \cdot t} \cdot 100\%$$

Физический смысл выхода металла по току заключается в том, что он представляет собой коэффициент использования электрического тока. Например, при хромировании $\eta=10...18\%$, при железнении $\eta=85...95\%$.

Продолжительность электролиза может быть определена по формуле:

$$T = \frac{100 \cdot h \cdot \gamma}{C \cdot D_K \cdot \eta}, \text{ ч}$$

где h – толщина осажденного металла, мм; γ – плотность осаждаемого металла, г/см³; D_K – катодная плотность тока, А/дм²; η – выход по току.

$$D_K = \frac{I}{S},$$

S – площадь катода, дм².

В ремонтном производстве получили распространение процессы электролитического наращивания хрома (хромирование), железа (железнение), реже никеля (никелирование), меди (меднение), цинка (цинкование).

3.1. Хромирование

Хромирование – электролитический процесс получения хрома для компенсации износа, а также использования его в качестве антикоррозийных и декоративных покрытий. Восстановление изношенных автотракторных деталей хромированием получило распространение благодаря тому, что покрытия имеют высокую твердость ($H_{\mu} = 4000\text{--}12000$ МПа), большую износостойкость, которая в 2–3 раза превышает износостойкость закаленной стали 45. Электролитический хром обладает также высокой кислотостойкостью и теплоустойкостью.

Наряду с достоинствами следует отметить и недостатки: плохая смачиваемость покрытия маслом, сравнительно низкая производительность процесса (не более 0,03 мм/ч) из-за низкого электрохимического эквивалента и малых значений выхода по току, невозможность восстановления деталей с большим износом (более 0,3–0,4 мм), сравнительно высокая стоимость.

В качестве электролита при хромировании применяется водный раствор хромового ангидрида (CrO_3) и серной кислоты. Концентрация серной кислоты должна соответствовать $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{CrO}_3=1:100$. В ремонтной практике применяются разные электролиты (таблица 3.1).

Таблица 3.1

Состав электролитов для хромирования

Электролит	Количество, г/л		Режим электролиза	
	CrO ₃	H ₂ SO ₄	D _к , А/дм ²	°С
Разведенный	120–150	1,2–1,5	10–40	50–65
Универсальный	200–250	2,0–2,5	20–60	45–55
Концентрированный	300–350	3,0–3,5	15–30	40–60

Для приготовления электролита необходимое количество С₂О₃ загружают в ванну и заливают подогретой до 50–60°С водой. Концентрацию С₂О₃ определяют по плотности электролита (при плотности 1,14 концентрация хромового ангидрида 200 г/л, при 1,21–300 г/л, при 1,09–130 г/л). Затем добавляют серную кислоту – 80 % расчетного количества. Электролит «прорабатывается» током D_к=4–6 А/дм² в течение 3–4 ч.

Разведенный электролит характеризуется лучшей рассеивающей способностью и более высоким выходом по току. (Рассеивающая способность – это равномерность распределения металла по покрываемой поверхности). Покрытия, полученные с использованием разведенного электролита, обладают наибольшей твердостью и износостойкостью. Этот электролит применяют для получения износостойких покрытий и восстановления изношенных деталей.

Концентрированный электролит обладает низким выходом по току и плохой рассеивающей способностью. Покрытия, полученные с использованием концентрированных электролитов, плотные и менее напряженные. Хромированные защитно-декоративные покрытия наносятся на детали сложной конфигурации.

Универсальный электролит позволяет получать как твердые, износостойкие покрытия, так и покрытия защитно-декоративные.

Технологический процесс хромирования включает подготовительные операции, хромирование, обработку деталей после хромирования.

Подготовительные операции выполняют в такой последовательности:

1) механическая обработка поверхностей, подлежащих хромированию, для выведения следов износа и получения правильной геометрической формы;

2) промывка деталей в органических растворителях (бензине, керосине, бензоле, трихлорэтане и др.);

3) монтаж деталей на подвеску;

4) электролитическое обезжиривание в растворе: едкий натр (NaOH) – 30–50 г/л, кальцинированная сода (Na_2SiO_3) – 10–20 г/л при температуре электролита 60–70°C и плотности тока 5–15 А/дм², время выдержки на катоде 2–3 мин, на аноде 1–2 мин;

5) промывка в горячей (60–80° С), а затем в холодной воде;

6) изоляция мест, не подлежащих хромированию, перхлорвиниловым лаком, лаком АК-20, целлулоидом, винипластом, изоляционной хлорвиниловой лентой и др.;

7) декапирование (травление) – процесс обработки в хромовом электролите в течении 30–90 с при плотности тока 25–40 А/дм². Назначение декапирования – окончательное удаление с поверхности деталей окислов, образующихся во время переноса деталей из одной ванны в другую и выявления структуры основного металла.

Для получения качественных осадков хрома необходимо строго соблюдать соотношение между плотностью тока и температурой электролита (рисунок 3.2). Меняя плотность тока и температуру электролита (не меняя состав электроли-

та), можно получить три вида осадков хрома: блестящий, молочный и матовый (серый). Блестящий осадок отличается высокой твердостью (6000–9000 МПа), высокой износостойкостью и небольшой хрупкостью, он применяется для восстановления деталей, работающих в условиях неподвижных посадок. Молочные осадки отличаются пониженной твердостью (4400–6000 МПа), пластичностью и повышенной коррозионной стойкостью, удовлетворительно смачиваются маслом и поэтому достаточно износостойкости. Применяются для восстановления деталей, работающих на износ при больших удельных нагрузках, при динамических и знакопеременных нагрузках.

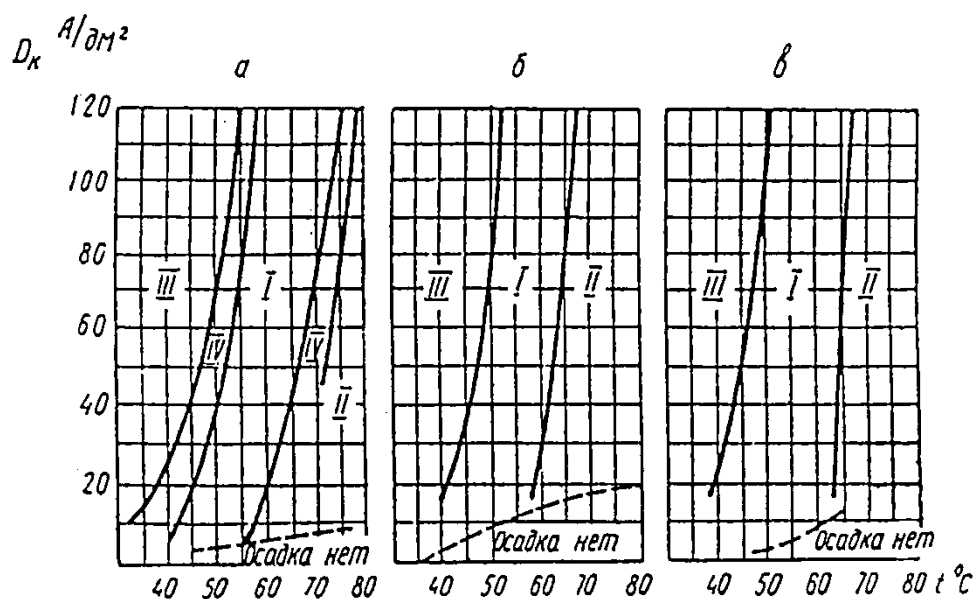


Рисунок 3.2 – Распределение зон хромовых покрытий:

A – в электролите с концентрацией CrO_3 150 г/л; *B* – 250 г/л;
B – 350 г/л; *I* – блестящий хром; *II* – молочный хром; *III* – серый хром;
IV – зона переходных осадков.

Матовый (*серый) осадок обладает высокой твердостью и повышенной хрупкостью, что ограничивает его использование в ремонтном производстве.

После декапирования детали загружают в ванну хромирования и прогревают в электролите без выключения тока в течение 5–6 мин., а затем включают полный ток согласно режиму хромирования. Аноды для хромирования изготавливают из свинца или сплава свинец – сурьма. Внутренняя поверхность ванны хромирования футеруется листовым свинцом или эпоксидной смолой. Электролит подогревается паром или водой до определенной температуры. Источником тока являются генераторы низкого напряжения АНД 500/250, АНД 750/375, АНД 1000/500, выпрямители типа ВСМР, ВАГГ, ВАКГ.

Пористое хромирование. Пористое хромирование применяется при ремонте деталей, работающих на трение в паре с различными металлами и сплавами при больших удельных нагрузках, высоких окружных скоростях и повышенных температурах. К таким деталям относятся коленчатые валы, гильзы цилиндров ДВС, поршневые кольца. При пористом хромировании создается покрытие, на поверхности которого имеется большое количество пор и сетка трещин, достаточно широких для проникновения в них масла. Пористые покрытия можно получать механическим, химическим и электрохимическим способами. Механический способ предусматривает нанесение на поверхность детали перед ее хромированием углублений, пор и канавок с помощью накатки или обдувкой песком. При хромировании сохраняется предварительно нанесенный рельеф. Химический способ заключается в травлении хромового покрытия в соляной кислоте. Хром быстрее растворяется в местах пор и трещин, расширяя и углубляя их. При электрохимическом способе хром осаждается в режиме блестящего хромирования, который обеспечивает появление

сетки микротрещин, для расширения и углубления которых покрытие подвергается анодной обработке в электролите того же состава, что и при хромировании. В зависимости от режимов хромирования и анодного травления получают покрытие точечной или канальчатой пористости (рисунки 3.3; 3.4).

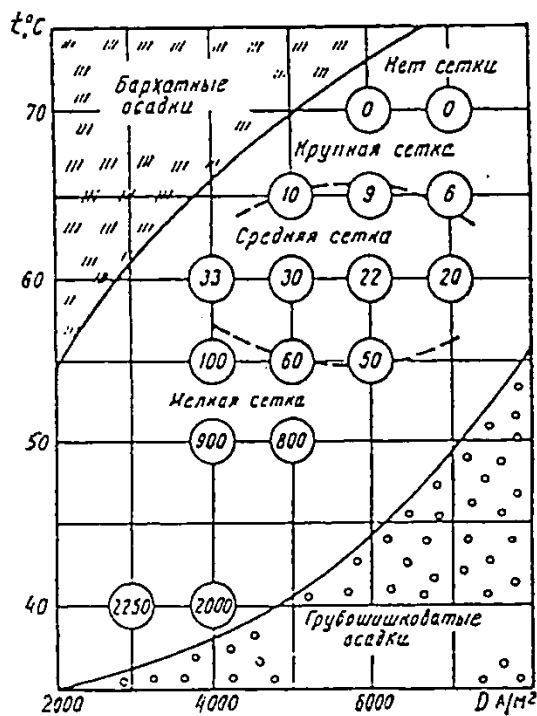
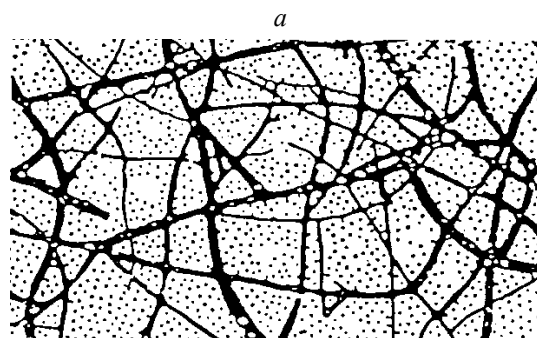
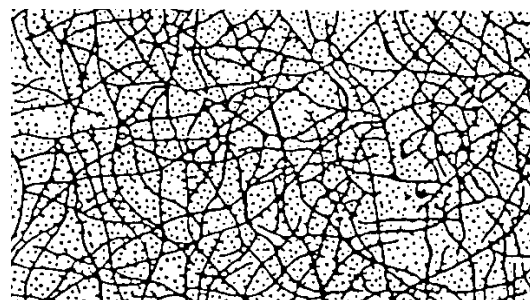


Рисунок 3.3 – Диаграмма получения пористых покрытий



б

Рисунок 3.4 – Сетка каналов на поверхности пористого хрома: а – мелкая; б – крупная

Обработка после хромирования включает промывку деталей в холодной и горячей воде – удаление оставшегося на детали электролита; демонтаж подвесок; удаление изоляции; нагрев деталей в сушильном шкафу до 150–200°C для удаления водорода и сушки; технический контроль покрытия (определение толщины, сцепляемости, твердости); шлифование и полирование.

3.2. Железнение (осталивание)

Железнение представляет собой процесс гальванического осаждения железа из водных растворов его солей при прохождении через электролит постоянного напряжения. Электролитическое железо обладает достаточно высокой твердостью (2000–6500 МПа) и износостойкостью (не ниже, чем у закаленной стали 45). Железнение имеет ряд преимуществ перед хромированием: высокий выход по току: 85–90 % (в 5–6 раз выше, чем при хромировании), высокая скорость осаждения (0,4–0,5 мм/ч), возможность получения осадков большей толщины (до 3 мм), низкая стоимость материалов для изготовления электролита. Железнением восстанавливается широкая номенклатура автотракторных деталей (посадочные места под подшипники на валах и в корпусных деталях, крестовины дифференциала, шкворни, поворотные кулаки, распредвалы, коленчатые валы и др.).

Для железнения применяют различные электролиты: сернокислые, хлористые и др. Хлористые электролиты отличаются повышенным содержанием железа и большой активностью ионов. Сернокислые электролиты в меньшей степени подвержены окислению и имеют меньшую агрессивность.

В ремонтном производстве наибольшее распространение получили хлористые электролиты, которые содержат водный раствор хлористого железа ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), небольшое количество соляной кислоты (HCl) и некоторые другие компоненты для повышения прочности сцепления покрытия с деталью (хлористый марганец, хлористый натрий). Концентрация хлористого железа может изменяться в пределах 200–250 г/л ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). При температуре 60–80°C и плотности тока 30–50 А/дм² электролит обеспечивает получение плотных, гладких, мелкозернистых осадков железа твердостью

4500–6500 н/мм², толщиной 1,0–1,5 мм. Скорость осаждения 0,4–0,5 мм/ч на сторону.

Среднеконцентрированный электролит содержит 300–450 г/л хлористого железа. Из него получают гладкие, плотные покрытия твердостью 2500–4500 МПа и толщиной до 2 мм. Широкое применение нашел электролит оптимальной концентрации с содержанием 300–350 г/л FeCl₂ · 4H₂O при температуре 75°C.

Высококонцентрированный электролит содержит 600–800 г/л хлористого железа. При температуре электролита 90–95°C и плотности тока 5–20 А/дм² получают мягкие покрытия 1200–2500 МПа толщиной до 3 мм.

Электролиты готовят путем растворения в подкисленной воде двуххлористого железа. Кислотность электролита должна быть рН = 0,8–1,5.

Технологический процесс железнения состоит из следующих операций: механическая обработка восстанавливаемых поверхностей, промывка органическими растворителями, изоляция мест, неподлежащих железнению, монтаж на подвеску, химическое и электрохимическое обезжиривание; промывка в горячей и холодной воде производится так же как, при хромировании.

Анодная обработка (травление) производится в электролите следующего состава: серная кислота: 360–400 г/л, сернокислое железо: 10–25 г/л. Для анодного травления можно использовать электролит железнения. Температура электролита 18–25°C, плотность тока 30–80 А/дм², время травления 30–60 с. После травления детали тщательно промываются в холодной и горячей воде. После анодного травления и промывки детали на подвеске загружают в ванну железнения и выдерживают без тока 10–60 с. Затем включают ток плотностью 2–5 А/дм² и проводят электролиз в течение 30–60 с, а

затем в течение 5–10 мин постепенно выводят на заданную плотность тока. При железнении применяют растворимые аноды из малоуглеродистой стали 10, 20, Ст.0, Ст.1, Ст.2, Ст.3. Площадь анодов должна быть примерно в 2 раза больше покрываемой поверхности. Для уменьшения загрязнения электролита и улавливания шлама аноды помещают в чехлы из стеклоткани.

По окончании процесса электролиза детали промывают в горячей воде, а затем подвергают нейтрализации. После нейтрализации детали промывают в горячей воде, демонтируют с подвесок, контролируют качество покрытий.

Оборудование, применяемое для процесса железнения, аналогично оборудованию, применяемому при хромировании, кроме ванны для железнения. Горячие хлористые электролиты отличаются высокой химической активностью, в них больше испаряется электролит, выделяется хлор, они имеют высокую температуру. Поэтому ванны должны быть снабжены хорошей вытяжной вентиляцией, нагревательными устройствами. Стенки ванны должны иметь высокую химическую стойкость. Внутреннюю поверхность ванн облицовывают антегмитовыми плитками, фаолитом, кислотостойкой резиной и др. (рисунок 3.5).

Свойства железных покрытий зависят от режимов электролиза. Твердость покрытия увеличивается с повышением катодной плотности тока и понижением температуры электролита (рисунок 3.6). С целью повышения качества покрытий, интенсификации процесса, используют асимметричный переменный ток. Особенность процесса состоит в том, что железнение ведется не на постоянном, а на асимметричном переменном токе, который получается наложением переменного тока промышленной частоты на постоянный (однополупериодно выпрямленный) ток от выпрямителя. Применение

асимметричного тока повышает сцепляемость покрытия с деталью и позволяет использовать холодные электролиты.

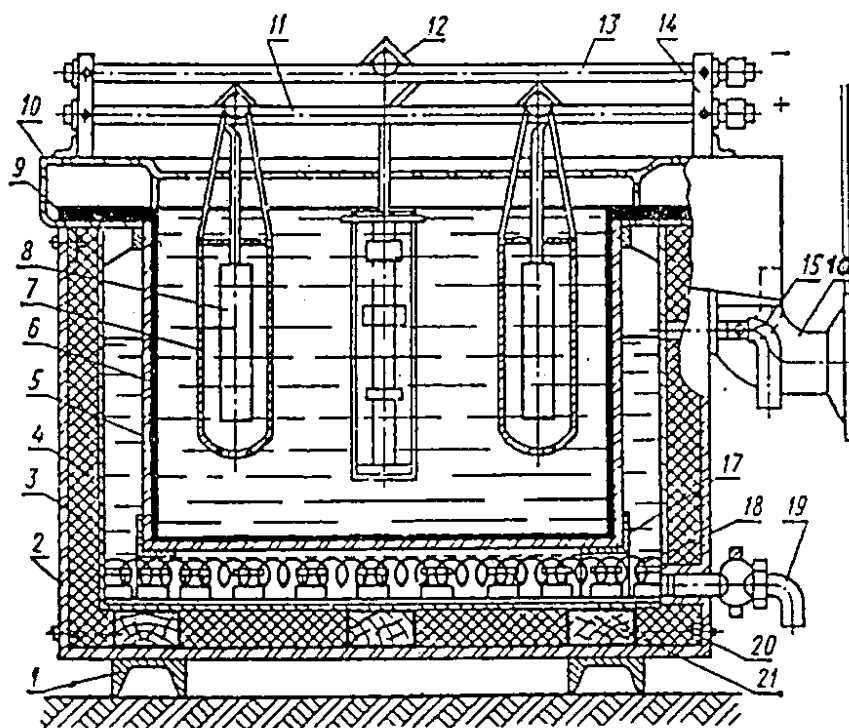


Рисунок 3.5 – Ванна для осталивания:

1 – подставка; 2 – наружный бак; 3 – теплоизоляция; 4 – бак для масла; 5 – бак для электролита; 6 – футеровка ванны; 7 – мешок из стеклоткани; 8 – анод; 9 – резиновая прокладка; 10 – бортовой отсос; 11 и 13 – штанга катода и анода; 12 – крючок подвески; 14 – стойка крепления штанг; 15 и 16 – патрубки; 17 – уголок; 18 – нагреватель; 19 – кран для спуска масла; 20 – каркас; 21 – деревянный брусок

Асимметричный ток есть отношение плотности катодного тока к плотности анодного тока, т.е.

$$\beta = \frac{Dk}{Da},$$

Применение железнения в ваннах для восстановления изношенных крупногабаритных, корпусных деталей затруднено, поэтому для таких деталей используется способ вневанного железнения.

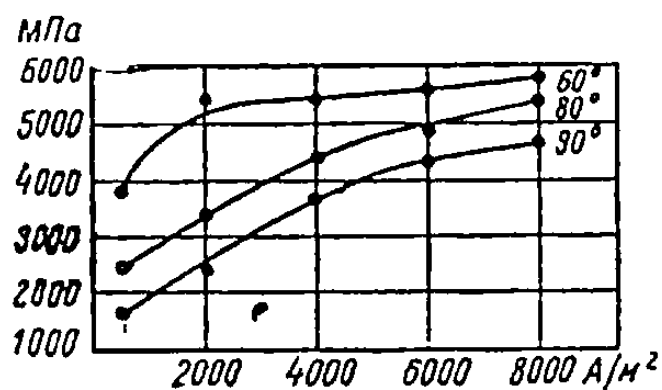


Рисунок 3.6 – Влияние плотности и температуры электролита на микротвердость покрытий

Местное железнение (осталивание) применяют для восстановления посадочных поверхностей корпусных деталей. Восстанавливаемую поверхность травят 20–30% раствором соляной кислоты и промывают. Затем монтируют приспособление (рисунок 3.7), которое представляет собой «местную» ванну. Приспособление состоит из резиновой прокладки, прижимной крышки и распорной гайки. В центре восстанавливаемого отверстия устанавливается электрод из малоуглеродистой стали 10, заливается электролит травления: 450 г/л серной кислоты и 20–30 г/л сернокислого железа. Деталь подключают к аноду и при плотности тока 20–25 А/дм², температуре электролита 20–25° С в течение 1–2 мин проводят анодное травление. Затем электролит удаляют резиновой грушей, промывают поверхность отверстия холодной водой. После тщательной промывки заливают хлористый концентрированный электролит, подогретый до 70–80°С, меняют полярность и проводят железнение в течение расчетного времени при $D_k=10-20$ А/дм².

При местном железнении возможно применение в процессе анодного травления электролита железнения. Травление производят в хлористом электролите, меняя полярность.

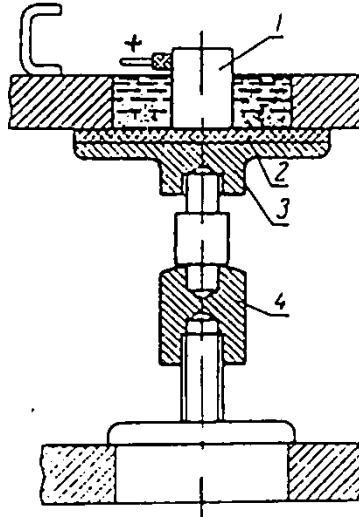


Рисунок 3.7 – Приспособление для местного железнения:
 1 – анод; 2 – резиновая прокладка; 3 – крышка; 4 – распорная гайка

При восстановлении цилиндрических деталей, имеющих небольшой износ, применяют электролитическое натирание. Сущность процесса заключается в том, что деталь устанавливается в центрах станка или специального устройства, а анод, которым служит угольный стержень, обернутый абсорбирующим материалом, пропитывается проточным электролитом (рисунок 3.8). Абсорбирующий материал, насыщенный электролитом, служит электролитической ванной; при включении тока происходит процесс электролиза.

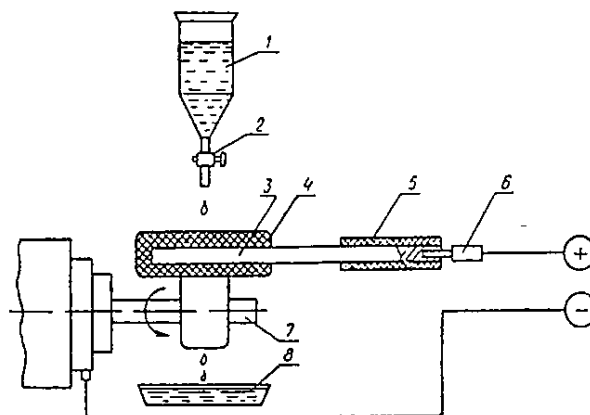


Рисунок 3.8 – Схема электролитического натирания:
 1 – емкость; 2 – кран; 3 – анод; 4 – тампон;
 5 – рукоятка; 6 – теккер; 7 – деталь; 8 – ванна

Технологический процесс электролитического натирания включает в себя: предварительную механическую обработку, обезжиривание, промывку горячей и холодной водой, травление (декапирование) с последующей промывкой, нанесение покрытия, промывку и контроль покрытия. Электролитическим натиранием могут наноситься железные и хромовые покрытия, как на наружные, так и на внутренние поверхности посадочных мест корпусных деталей.

3.3. Микродуговое оксидирование

Микродуговое оксидирование (МДО) – один из перспективных видов поверхностей обработки изделий из металлов и сплавов, позволяющий получать на поверхности многофункциональные износостойкие и коррозионностойкие, диэлектрические и термостойкие керамикоподобные покрытия.

МДО – это электрохимический процесс модификации (окисления) поверхностей вентильных материалов и их сплавов, оксиды которых, полученные электрохимическим путем, обладают униполярной проводимостью в системе металл-оксид – электролит (МОЭ), причем положительный потенциал на металле, на котором образовалась окисная пленка, соответствует запирающему или обратному направлению, т.е. система работает аналогично полупроводниковому вентилю. К таким сплавам относятся Al, Mg, Ti, Zr, Nb, Na и др.

Формирование покрытия при микродуговом оксидировании связано с протеканием высокотемпературных, химических превращений в зоне локальных микроплазменных, микродуговых разрезов, происходящих за счет окисления основного материала, а также переноса в покрытие ультрадисперсной фазы, находящейся в электролите. Ультрадисперсная фаза возникает вследствие перехода в электролит основного металла в виде его гидроксида.

Наибольшее применение МДО нашло при обработке алюминия и его сплавов. Метод МДО позволяет получить на алюминии и его сплавах принципиально новые высокопрочные, износостойкие и теплостойкие покрытия, прочно сцепленные с подложкой (основным металлом). Основу покрытия составляют твердофазные растворы компонентов алюминиевого сплава, главным образом α и γ оксиды Al_2O_3 . В зависимости от условий проведения процесса (состав электролита, его концентрации, температуры, плотности тока, его характера, продолжительности процесса) можно получать покрытия изменяющие по толщине и свойствам в широких пределах – толщина покрытия до 400 мкм, микротвердости до 2500 кг/мм², теплостойкость до 2500 °С, износостойкость на уровне твердых сплавов, пористость регулируется от 2 до 50%.

Общая схема микродугового оксидирования представлена на рисунке 3.9

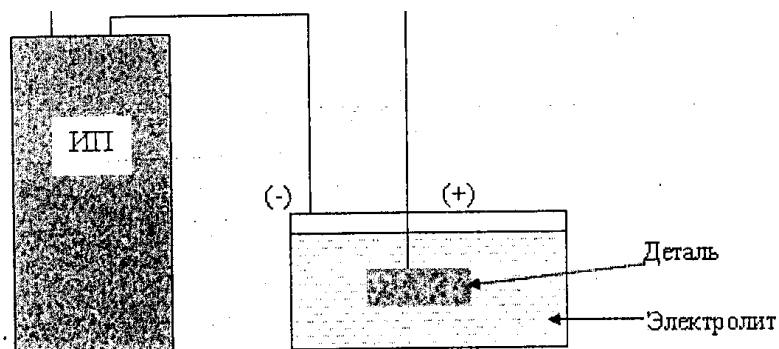


Рисунок 3.9 – Схема микродугового оксидирования

В качестве электролитов при МДО используются растворы кислот и щелочей. Кислые электролиты готовятся на основе серной или фосфорной кислоты или их смесей, щелочные – на основе едкого кали (KOH) или натра (NaOH) или гидрализующихся солей (Na_2SiO_3 , $NaAlO_2$). Наибольшее применение нашел простой и признанный раствор $KOH+Na_2SiO_3$, который позволяет не только упрочнять

деталь, но и увеличивать размер детали. Для увеличения толщины оксидного слоя на кафедре технического сервиса и ремонта машин, Пермской ГСХА предложен электролит дополнительно содержащий изопропиловый спирт и перекись водорода, в составе гидроксид калия 2–4 г/л, силинит натрия 3–8 г/л, изопропиловый спирт 15–35 г/л, перекись водорода 50–150 г/л, дистиллированная вода – остальное. Кроме простых электролитов возможно добавление в электролит различных порошков, которые позволяют влиять не только на свойства получаемых покрытий, но и на скорость их формирования. Температура электролита не должна превышать 40–45 °С.

МДО – покрытия, сформированные в подобных электролитах – суспензиях, содержат в своем составе материал, введенный в электролит в виде частиц дисперсной фазы. В качестве вводимых в электролит порошков используют неметаллические соединения: окислы, карбиды, бориды, нитриды металлов и др.

В качестве технических источников тока применяются источники, работающие по конденсаторным, трансформаторным схемам.

Ванны для электролита изготавливаются из нержавеющей стали с водяной рубашкой охлаждения, т.к. в процессе оксидирования выделяется большое количество тепла. Для перемешивания электролита производится путем продувки через электролит – путем барботажа, либо механическим путем при помощи мешалки.

Микродуговое оксидирование применяется для восстановления, упрочнения коррозионной теплостойкости деталей из алюминия и его сплавов. Это – детали цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания для защиты от

высокотемпературной газовой эрозии, детали вакуумных насосов и компрессоров, детали высокопроизводительных измельчителей – дезинтеграторов, изготавливаемых из алюминиевых и титановых сплавов в пищевой промышленности, для защитно-декоративных покрытий строительных конструкций и др.

Контрольные вопросы и задания к главе 3

1. В чем заключается сущность процесса электролиза металлов?
2. Как определить количество выделяемого металла на катоде?
3. В чем физический смысл выхода по току?
4. Какие гальванические процессы применяются в ремонтном производстве, их особенности?
5. В чем особенности хромирования. Приведите технологический процесс хромирования, состав электролитов, режимы электролиза и виды хромовых покрытий.
6. Опишите технологию железнения, применяемого оборудования, области применения.
7. Что такое местное железнение и электролитическое натирание?
8. В чем особенности микродугового оксидирования и области применения?

4. ПРИМЕНЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Широкое применение синтетических материалов (пластмасс) для восстановления деталей объясняется тем, что они имеют хорошие физико-механические свойства, незначительную стоимость. Кроме того, следует отметить высокую производительность и низкую трудоемкость технологических процессов восстановления.

Главной составной частью пластических масс являются полимеры. Многие пластмассы – это чистые полимеры (полиамиды, полиэтилен, полипропилен, полистирол и др.), но большая группа пластмасс представляет собой полимеры с добавками ряда компонентов. К этим компонентам относятся наполнители, пластификаторы, отвердители, красители и другие добавки, сообщающие пластмассам требуемые свойства. Все полимеры подразделяются на две большие группы: реактопласты (термореактивные) и термопласты (термопластические). Реактопласты при нагревании до определенной температуры размягчаются и переходят в вязкотекучее состояние, при котором производится их формование. При дальнейшем нагреве или охлаждении они затвердевают и переходят в необратимое состояние. Вновь перевести реактопласты в пластическое состояние невозможно. Термопласты при повторном нагревании размягчаются, и им можно вновь придать любую форму.

Пластификаторы применяют для повышения эластичности, ударной вязкости и прочности полимера. В качестве пластификатора применяют дибутилфталат – желтоватая маслянистая жидкость. Отвердители – полиэтиленполиамин, гексаметилендиамин, фталевый ангидрид, малеиновый ангидрид – предназначены для перевода полимера из жидкого со-

стояния в нерастворимое твердое состояние. Отвердители вводят в композицию непосредственно перед применением. Недостаток отвердителя в составе композиции значительно удлиняет процесс отверждения, а избыток обуславливает ее хрупкость. Поэтому количество отвердителя должно строго соответствовать рецепту. После введения отвердителя срок действия смеси 25–30 мин. Наполнители вводят для получения необходимых физико-механических свойств пластмассы и снижения ее стоимости.

В качестве наполнителей применяют железный порошок, графит, алюминиевую, бронзовую пудру, асбест, цемент, кварцевую муку, стекловолокно и другие материалы.

В настоящее время для композиционных материалов больше применяются терморезистивные связующие.

В ремонтной практике широкое применение нашли пластмассы на основе эпоксидных смол, синтетические клеи, герметики, анаэробные материалы, полиамидные смолы и другие материалы.

4.1. Применение полимерных композиций при восстановлении деталей (холодная сварка)

Полимерные композиции используются для заделки трещин, пробоин, раковин и других механических повреждений в корпусных деталях, а также для восстановления посадочных мест под подшипники.

В состав композиций входят четыре и более компонента: помимо полимера входят пластификатор, отвердитель, наполнитель.

Эпоксидные смолы являются одним из лучших видов связующих для большего числа композиционных материалов, что объясняется следующими причинами:

- эпоксидные смолы обладают хорошей адгезией к большинству наполнителей;
- разнообразие доступных эпоксидных смол и отвердителей, позволяющих получить различные физико-механические свойства материала после отверждения;
- незначительная усадка;
- хорошая химическая стойкость к бензину, маслам и специальным жидкостям.

К преимуществам композиционных материалов перед полимерными относятся: повышенная прочность, жесткость, теплостойкость, регулируемые электрические и фрикционные свойства, пониженная стоимость.

Для композиционных материалов при ремонте наиболее применимы смолы ЭД16, ЭД20, ЭД22. Наибольшей вязкостью обладает смола ЭД16, которую перед употреблением необходимо нагреть до 60–80°C, смолы ЭД20, ЭД22 пригодны для употребления при комнатной температуре.

Основное достоинство технологии ремонта при использовании эпоксидных композиций основано на возможности их отверждения при любых, даже отрицательных, температурах и получения требуемой формы и размеров отвердевшей композиции.

Отверждение композиции происходит под воздействием отвердителей, которые во много определяют не только технологические, но и эксплуатационные характеристики полимеров. Самым распространенным отвердителем эпоксидных смол является полиэтиленполиамин (ПЭПА).

Отвержденные эпоксидные смолы в чистом виде, обладают повышенной хрупкостью, плохо выдерживают удары и вибрации. Для повышения их эластичности в состав смол вводят пластификаторы. Пластификаторы уменьшают хруп-

кость, повышают морозостойкость и стойкость к резкому изменению температур отвердевших композиций. В ремонтном производстве в качестве пластификатора, в основном, применяется дибутилфтолат (ДБФ) – желтовато-маслянистая жидкость. Пластификаторы можно вносить вручную, но необходимо тщательное перемешивание для удаления пузырьков воздуха. Поэтому для облегчения процесса целесообразно использовать готовые компаунды, в которые уже введены пластификаторы – К-115, К-153, К-168, К-293.

Для получения необходимых физико-механических свойств эпоксидных композиций вводят наполнители, которые уменьшают усадку, снижают коэффициент линейного (термического) расширения, увеличивают теплопроводность, термостойкость и улучшают другие свойства композиций.

Наполнители в виде металлических порошков придают эпоксидным композициям свойства присущие металлам: теплопроводность и электропроводность. Кроме металлических порошков в качестве наполнителей могут применяться: цемент, молотая слюда, графит, стеклоткань и др.

Из отечественных композиционных материалов для ремонтных работ могут, рекомендованы компаунды «Десан» и «Десан-Авто».

Универсальный набор «Десан-Авто» состоит из трех баночек: белая – основа, синяя и красная – отвердители. Наличие двух отвердителей позволят получить два компаунда с различными физико-механическими свойствами. Компаунды «Десан», «Десан-Авто» могут применяться для заделки трещин в системе охлаждения двигателя, радиатора, ремонта глушителей.

Перед приготовлением композиции эпоксидную смолу подогревают до температуры 50–60°C, вводят в нее пласти-

фикатор и тщательно перемешивают. Затем вводят в пасту в требуемом количестве наполнитель. Перед непосредственным использованием композиции вводят отвердитель, после чего эпоксидная смола становится терморезактивной пластмассой, которая переходит в неплавкое и нерастворимое состояние.

При применении эпоксидной смолы для заделки трещин в корпусных деталях детали сначала подготавливают к нанесению эпоксидного состава: трещины так же, как при сварке, разделяют под углом $90\text{--}120^\circ$, засверливают концы трещины, зачищают кромки от ржавчины и окислов, обезжиривают растворителями. На трещину наносят слой подготовленной эпоксидной композиции. Для повышения прочности нанесенного слоя сверху наклеивается накладка из стеклоткани или комбинированная накладка из стеклоткани и металла (рисунок 4.1). Эпоксидная смола и наполнитель наносятся в несколько слоев с прикатыванием каждого слоя (рисунок 4.2). При заделке пробоин в корпусных деталях накладки располагают заподлицо или внахлестку (рисунок 4.3). В первом случае накладку 1 из стального листа закрепляют проволокой 2, а накладки 4 из стеклоткани чередуют со слоями эпоксидной смолы. 3. При заделке пробоин наложением накладок внахлестку (рисунок 4.1) вокруг пробоины сверлят отверстия диаметром 3 мм, которые перед наложением накладок 3 заполняют эпоксидным составом 2. Заделывать пробоину можно с помощью металлической накладки, устанавливаемой на винтах с последующим нанесением эпоксидной смолы.

Для заделки трещин и пробоин рекомендуются составы, в которые входят следующие компоненты в частях: эпоксидная смола ЭД-6 (100), дибутилфтолат (15), полиэтиленполиа-

мин (8), железный порошок (160), стеклоткань или техническая бязь 3–4 слоя; либо эпоксидная смола ЭД-6 (100), дибутилфтолат (20), полиэтиленполиамин (9), цемент-400 (120), стеклоткань или техническая бязь 3–4 слоя. Эпоксидные композиции с успехом применяются в качестве клеевых композиций при ремонте неподвижных сопряжений в посадочных местах под подшипники, резьбовых соединений, электрооборудования, таких как подшипники качения – гнездо под подшипник, подшипник качения – вал, трещины в аккумуляторах, электроизолирующие детали.

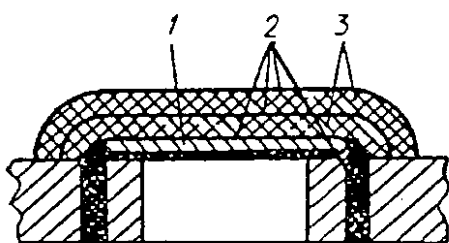


Рисунок 4.1 – Схема установки одной металлической и двух тканевых накладок на пробойну внахлестку

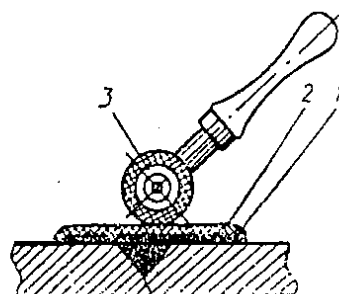


Рисунок 4.2. – Прикатывание первой накладки полиэтиленовым роликом

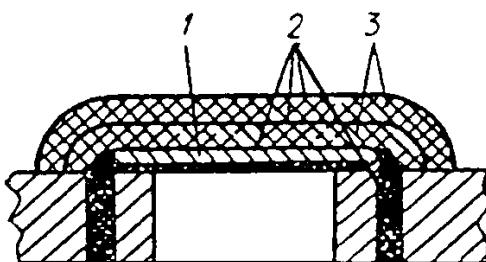


Рисунок 4.3 – Схема наложения металлотканевых накладок на пробойну заподлицо

При ремонте неподвижных соединений рекомендуются следующие составы: эпоксидная смола ЭД-16 (100), дибутилфтолат (15–20), полиэтиленполиамин (10), молотая слюда (40).

При ремонте алюминиевых деталей в качестве наполнителя используется алюминиевая пудра. Время отверждения составов на основе эпоксидных смол с применением в качестве отвердителя полиэтиленполиамина при температуре 15°С (24–48 ч.). При повышении температуры время отверждения уменьшается.

В качестве клеев в ремонтном производстве широкое применение нашли составы К-153, ВС-ЮТ, ВС-350, 88Н, БФ-2, БФ-4, БФ-52Т, КМ-200С, ТК-300С, ТК-301С, Ан-105, Ан-106, Ан-109, Ан-110, а для герметизации соединяемых поверхностей – замазка У20А и паста УН-01, герметик «Эластосил» 137-83, эластомер ГЭН-150 (В), анаэробные материалы.

Цианакриловые клеи КМ-200С, ТК-300С, ТК-301С являются универсальными клеями, обладают малым временем отверждения (1–5 мин.) высокой адгезией к любым металлам, сохранением рабочих характеристик в широком диапазоне температур. Клеи состоят из одного компонента и представляют собой бесцветную прозрачную жидкость.

Акриловые клеи Ан-105, Ан-106, Ан-109, Ан-110 применяются для склеивания металлов (в т.ч. замасленных), стекла, керамики, пластмасс. Особенность клеев состоит в том, что он состоит из двух компонентов (А и Б), которые наносятся на склеиваемые поверхности отдельно. Отверждение клея происходит только после совмещения склеиваемых поверхностей при комнатной температуре. Клеевой шов имеет высокую стойкость к вибрациям и ударным нагрузкам.

Клеи ВС-10Т, ВС-350 обеспечивают хорошую плотность и прочность соединения при высоких температурах – до 300° С. Они успешно применяются для приклеивания фрикционных накладок на тормозные колодки, на диски муфт сцепления, а также для склеивания металлов, пластмасс, тканей и других материалов в любых сочетаниях.

Клей типа БФ используют для склеивания металлов между собой (БФ-2), а также металлов с пластмассами, стеклом, керамикой, тканями (БФ-4, БФ-6).

Клей ВС-350 – многокомпонентный, применяется для склеивания стали, дюралюминия, стеклотекстолита, пенопластов.

Клей 88Н используют при склеивании резины с металлами.

Для герметизации соединений картер – головка – блок двигателя применяют герметизирующие замазки У-20А, УН-01. Герметизирующая замазка разбавляется керосином в соотношении 10:1, перемешивается до получения однородной массы и наносится слоем 0,3 мм на сопрягаемые поверхности.

Для восстановления посадок сопряжений большой интерес представляет эластомер ГЭН-150 (В), представляющий собой продукт сочетания нитрильного каучука марки СКН-40 со смолой ВДУ. Выпускается он в виде вальцованных листов толщиной 5 мм.

Герметизирующий эластомер ГЭН-150 (В) может быть использован для восстановления посадочных зазоров и натягов в сопряжениях для предупреждения от задиров и натягов в сопряжениях для предупреждения от задиров при запрессовке и распрессовке, защите сопрягаемых деталей от коррозии, для выравнивания удельных давлений по периметру, для заделки трещин в деталях, работающих на сжатие, склеивания металлов между собой и с другими материалами. Эластомер обладает высокой адгезией и хорошей эластичностью, выдерживает значительные нагрузки, маслостоек, создает высокое сопротивление прохождению тока и может наноситься на поверхность механическими способами (распылением и центробежным).

Для приготовления раствора эластомер нарезают мелкими кусочками (3–4 мм²), добавляют растворитель. В качестве растворителя используют ацетон, бутилацетат или этилацетат, толуол, бензол и их смеси. Массовые части компонентов раствора: эластомер сухой ГЭН-150 (В), ацетон-50, бутилацетат или этилацетат-35, толуол или бензол-15. Раствор будет морозостойким, если добавить в него шесть массовых частей пластификатора Н-135. Приготовленный раствор эластомера ГЭН-150 (В) следует хранить в герметически закрытой таре в огнебезопасном месте при температуре 15–20°С. Для лучшей адгезии поверхность, на которую наносят раствор эластомера, должна быть тщательно очищена, обезжирена бензином «Калоша» или Б-70, а затем протерта ацетоном. После обезжиривания поверхность выдерживают 5–10 мин для удаления с поверхности бензина и ацетона.

Эластомер наносится на поверхность в зависимости от конструкции восстанавливаемой детали вручную, напылением, центробежной заливкой или накаткой роликом.

Для отверждения пленки эластомера в целях получения максимальных прочностных свойств покрытия детали после выдержки на воздухе в течение 20 мин подвергают нагреву в сушильных шкафах при температуре 100–120°С; время выдержки 1 ч.

В ремонтном производстве находят применение новые полимеры – анаэробные материалы марок АН-1 У, АН-4, АН-6К, АН-8, АН-17, АН-5МД, герметики ДН-1, ДН-2, УГ-1К, УГ-2Н, УГ-6, УГ-7, УГ-9, УГ-11, которые представляют собой продукт полимеризующихся соединений акрилового или метакрилового ряда и обладают способностью при отсутствии кислорода воздуха полимеризоваться с высокой скоростью отверждения в узких зазорах между поверхностями при температурах 15–35°С. Они применяются для восстановления

неподвижных цилиндрических соединений, таких как посадочные места подшипников качения, стопорения, восстановления резьбовых соединений, устранения пор, раковин, трещин в литых и сварных деталях, фиксации дополнительных ремонтных деталей, герметизации трубопроводов и топливопроводов.

Технические характеристики анаэробных материалов отечественных и зарубежных фирм приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Технические характеристики анаэробных материалов

Марка материала	Уплотняемый зазор, мм	Время отверждения, при 20°С, ч	Рабочая температура, °С	Область применения
АН-1У	до 0,07	3–5	-50 ... +150	Герметизация трещин
УГ-7	до 0,20	3–5	-60 ... +150	Герметизация трещин и фиксация резьбы с повышенной прочностью
УГ-6	до 0,30	3–6	-60 ... +200	Фиксация резьбы
УГ-9	до 0,30	1–6	-60 ... +150	Фиксация резьбы с повышенной прочностью
АН-6К	до 0,26	3–6	-60 ... +200	Восстановление неподвижных соединений
ЛОСТИТЕ-262	до 0,25	1–8	-55 ... +150	Фиксация резьбы с повышенной прочностью
ЛОСТИТЕ-620	до 0,25	6–12	до 230	Фиксация неподвижных соединений

По прочностным свойствам анаэробные материалы делятся на высоко-, средне- и низкопрочные. Анаэробные материалы после отверждения обладают высокой термической и химической стойкостью, обеспечивают работоспособность узлов и деталей при эксплуатации их в контакте с органиче-

скими растворителями и агрессивными средами в широком диапазоне температур и давлений. Благодаря высокой проникающей способности анаэробные материалы плотно заполняют трещины, микродефекты сварных швов, зазоры. На скорость отверждения и время достижения максимальной прочности соединений влияет температура окружающей среды и материал, контактирующий с полимером. При температуре ниже 15°C полимеризация замедляется. Контактующие материалы подразделяются на три группы:

- активные – ускоряющие отверждение полимера (сплавы меди, никель, малоуглеродистые стали);
- нормальные – не влияющие на скорость отверждения (углеродистые стали, цинк);
- пассивные – замедляющие отверждение (высокоуглеродистые стали, алюминий, золото, титан и его сплавы, материалы с антикоррозийными покрытиями, пластмассовые изделия).

Применение чистых анаэробных материалов позволяет, в основном, фиксировать соединения деталей и герметизировать зазоры в соединениях от 0,05 до 0,20 мм, а композиции этих материалов с различными наполнителями обеспечивают устранение зазоров в соединениях до 0,6–0,8 мм. Это позволяет восстанавливать изношенные опорные поверхности под подшипники в корпусных деталях (блок цилиндров, коробка передач и т.п.), в отверстиях нижних головок шатунов, заделку пробоин, трещин в корпусных деталях, сварных швах и т.д. В качестве наполнителей могут быть использованы тальк, бронзовая пудра, алюминиевый порошок.

Анаэробные материалы могут применяться там, где ни один из общепринятых способов не подходит, например, для заделки трещин в блоке цилиндров, проходящих через мас-

ляную магистраль и систему охлаждения. Для герметизации трещин в корпусных деталях (при толщине стенок более 3 мм) используют одновременно две марки анаэробных полимеров: АН-1У и УГ-7. Трещину обезжиривают «проливают» ацетоном или бензином, продувают сжатым воздухом и сушат. После этого трещину пропитывают герметиком АН-1У, обладающим повышенной проникающей способностью, а после часовой выдержки при комнатной температуре – герметиком УГ-7, который способен герметизировать трещину шириной до 0,2 мм. Для дополнительной герметизации можно, при постановке головки блока, в резьбовое отверстие, через которое проходит трещина, поставить болт на герметик.

Полимерные материалы используются для получения антифрикционных и защитных покрытий, изготовления дополнительных ремонтных и новых деталей. Для получения покрытий применяются полиамид 68, полиамид НД, полиамид ВД, фенилон С-2, полиэтилен, полиамид ПП-610, ПФН-12, ТПФ-37. Покрытия наносятся на подготовленную поверхность газопламенным напылением. В псевдосжиженном слое деталь, нагретую до определенной температуры, помещают в камеру с полимерным порошком, находящимся в псевдосжиженном (взвешенном) состоянии (рисунок 4.4).

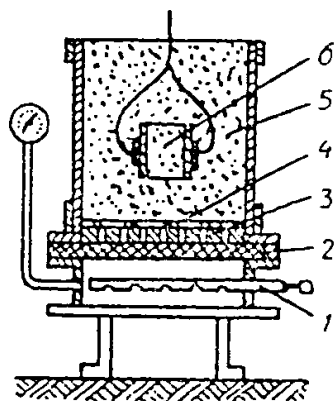


Рисунок 4.4 – Схема нанесения покрытий в псевдосжиженном слое

Для изготовления ремонтных деталей применяют пластические массы: полиамидные смолы, полистирол, полиформальдегид, фторопласт-4, полиэтилен, текстолит, стекло-текстолит, волокнит АГ-4. Детали изготавливаются прессованием, центробежным литьем, литьем под давлением.

Контрольные вопросы и задания к главе 4.

1. Что входит в состав пластических масс применяемых при ремонте. 2. Опишите технологию применения полимерных композиций при ремонте? 3. Какие клеи применяют при ремонте? 4. В чем особенности анаэробных материалов при их применении? 5. Опишите технологию заделки трещин составами на основе эпоксидных смол?

5. РЕМОНТ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ФИГУРНЫХ ВСТАВОК

Одним из дефектов, по которому выбраковываются корпусные детали, изготовляемые из чугуна, являются трещины, образующиеся в процессе эксплуатации машины. Применяемые сварочные способы ремонта трудоемки, происходит отбеливание чугуна в околошовной зоне, возможно образование новых трещин при охлаждении сварочного шва и изменение геометрических параметров детали. ГОСНИТИ разработан новый способ восстановления корпусных чугунных деталей, имеющих трещины, использованием фигурных вставок. Серийно выпускается комплект ОР-11362 ГОСНИТИ, содержащий фигурные вставки, технологическую оснастку и режущий инструмент.

Сущность способа состоит в том, что вдоль трещины и поперек ее высверливаются фигурные пазы, в которые устанавливаются специальные, соответствующие пазу, вставки. Заделываются трещины с помощью уплотняющих и стягивающих фигурных вставок. Уплотняющие вставки (рисунок 5.1) применяют для заделки трещин длиной более 50 мм, обеспечивая герметичность толстостенных и тонкостенных деталей. Стягивающие вставки (рисунок 5.2) используют для стягивания боковых кромок трещин на толстостенных деталях. Фигурные вставки изготовляют на специализированных предприятиях способом волочения из стали 20, Ст.3.

Процесс заделывания трещин фигурными вставками состоит из следующих операций: подготовка паза под фигурную вставку, установка фигурной вставки в паз, зачистка отремонтированного участка, контроль качества ремонта.

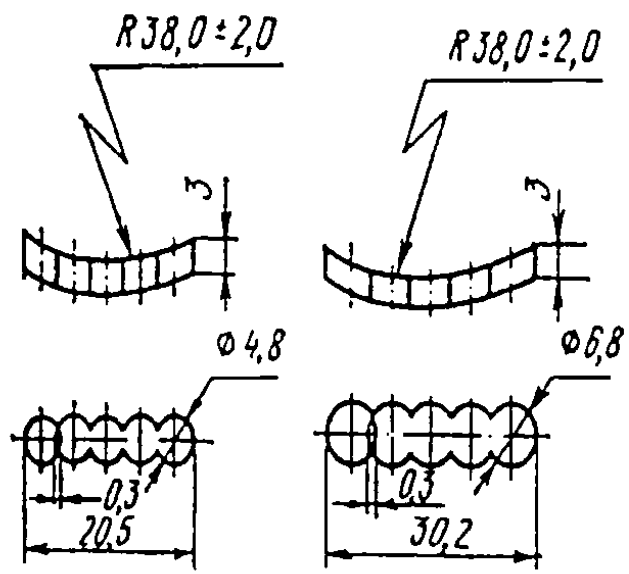


Рисунок 5.1 – Уплотняющие фигурные вставки

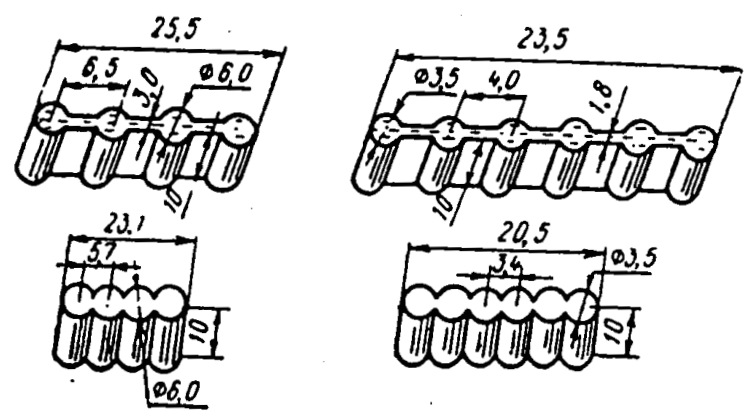


Рисунок 5.2 – Стягивающие фигурные вставки

Заделка трещин в тонкостенных деталях с помощью уплотняющих вставок производится в такой последовательности: на расстоянии 4–5 мм от конца трещины просверливается отверстие диаметром 4,8 мм на глубину 3,5 мм, в просверливаемое отверстие вставляется фиксатор специального кондуктора (рисунок 5.3) и сверлится следующее отверстие на такую же глубину. После перестановки кондуктора сверлится необходимое количество отверстий вдоль и поперек трещин (рисунок 5.4).

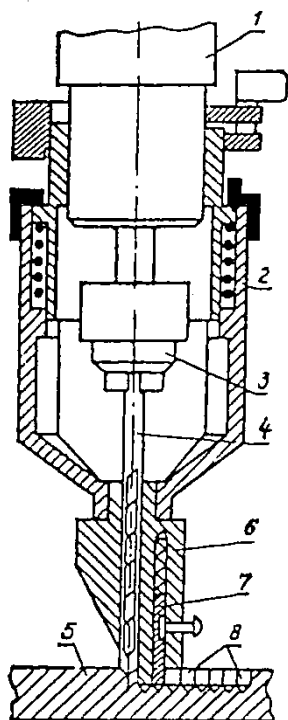


Рисунок 5.3 – Сверление отверстий по контуру:
 1 – шпиндель сверлильной машины; 2 – приспособление для сверления; 3 – патрон; 4 – сверло;
 5 – деталь; 6 – кондуктор; 7 – шпоры; 8 – трещины;

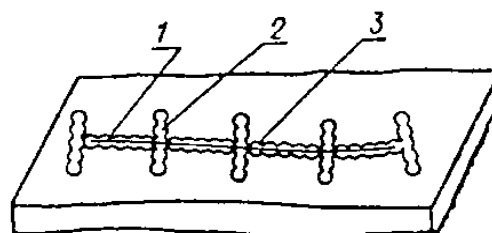


Рисунок 5.4 – Схема расположения отверстий:
 1 – трещина; 2 – отверстия поперек трещины; 3 – отверстия трещины

Поперечные отверстия сверлятся через пять продольных. Просверленные отверстия продуваются сжатым воздухом и смазываются эпоксидным композитом. В подготовленный паз устанавливают фигурные вставки диаметром 4,8 мм вначале поперек трещины, а затем вдоль, которые расклепывают пневматическим молотком. Поверхность зачищается заподлицо с поверхностью детали.

При заделке трещин в толстостенных деталях отверстия сверлят диаметром 6,8 мм на глубину 6,5; 9,5; 12,5 мм в зависимости от толщины стенки с таким расчетом, чтобы глубина фигурного паза была на 2–4 мм меньше толщины стенки детали. Фигурные вставки устанавливаются в несколько слоев до полного закрытия паза с расклепыванием каждого слоя.

Заделывание трещин стягивающими фигурными вставками производится в такой последовательности. По специальному кондуктору перпендикулярно трещине сверлят шесть отверстий (по три с каждой трещины) диаметром 3,5 мм на глубину 12 мм с шагом 4,2 мм. Затем пробойником с рабочей гранью в виде пластины толщиной 1,8 мм, шириной 22 мм и высотой не менее 10 мм удаляют перемычки между просверленными отверстиями. Ширина полученного паза должна быть 1,8 мм. Полученные отверстия продуваются сжатым воздухом. Вставку запрессовывают пневматическим молотком.

Качество заделки трещины на герметичность проверяют на гидравлическом стенде при давлении 0,4 МПа в течение 3 мин. Течь воды и потение в зоне ремонта не допускаются.

Контрольные вопросы и задания к главе 5

1. Опишите технологию ремонта трещин в корпусных деталях с помощью фигурных вставок? 2. В каких случаях применяются уплотняющие вставки? 3. В каких случаях применяются стягивающие вставки? 4. С помощью какого инструмента изготавливаются фигурные пазы?

6. ВОССТАНОВЛЕНИЕ РЕЗЬБОВЫХ ОТВЕРСТИЙ СПИРАЛЬНЫМИ ВСТАВКАМИ

Одним из наиболее встречающихся при ремонте машин дефектов является износ резьбовых отверстий деталей, изготовленных из алюминиевых сплавов и чугуна. Наиболее распространенными в тракторах, автомобилях и сельскохозяйственных машинах являются резьбовые соединения от М6 до М18.

Дефекты в резьбовых отверстиях устраняются установкой спиральных вставок, что обеспечивает высокое качество отремонтированного резьбового соединения. Спиральные вставки изготавливаются из коррозионностойкой стали IX18H9 или IX18H9T повышенной точности ромбического сечения в виде пружинящей спирали (рисунок 6.1). Спиральные вставки представляют собой строго концентрированные внутреннее и наружные резьбы повышенного класса точности. В свободном состоянии диаметр резьбовой вставки больше, чем наружный диаметр резьбового отверстия, поэтому после завертывания в отверстие спиральная вставка находится в напряженном состоянии и плотно прижимается к виткам резьбы в отверстии. Установленная резьбовая вставка образует калиброванную резьбу, обладающую высокой износостойкостью и выдерживающую высокие нагрузки в материалах малой прочности (алюминий, чугун, пластмасса), при этом исключается возможность заедания резьб, болтов и шпилек, так как отсутствует контактная коррозия в резьбовом соединении.

Для ремонта резьбовых соединений с помощью резьбовых вставок выпускается комплект инструмента ПИМ6331-ГОСНИТИ. В комплекте два набора: набор № 1 – для ремон-

та резьбовых отверстий от М8 до М14, набор № 2 – для ремонта резьбовых отверстий от М16 до М20. В комплект входят сверла, метчики, ключи для ввертывания спиральных вставок, бородки для удаления технологического поводка в спиральных вставках, трехгранные ключи для вывертывания бракованных вставок, набор спиральных вставок.

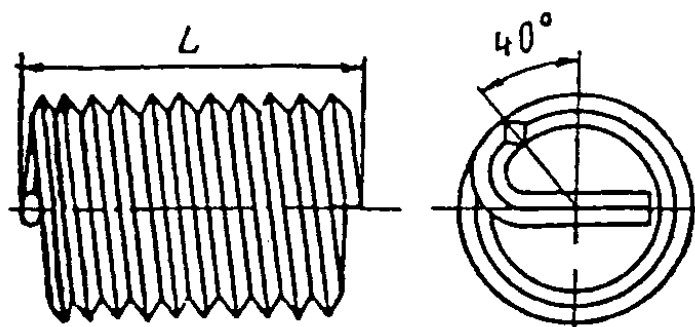


Рисунок 6.1 – Резьбовая спиральная вставка

Технологический процесс восстановления отверстий спиральными вставками включает в себя следующие операции: очистку, дефектацию, рассверливание отверстий, подлежащих восстановлению, нарезание резьбы в отверстиях детали под спиральную вставку, установку спиральной вставки в подготовленное отверстие, удаление технологического поводка с установлением резьбовой вставки, контроль восстановленного резьбового отверстия.

Рассверливание резьбовых отверстий в детали, подлежащей восстановлению, и нарезание резьбы производится до размеров, указанных в таблице 6.1.

Резьба рассверленных отверстий нарезается машинно-ручными метчиками на ту же глубину, что была до рассверливания.

Таблица 6.1

Размеры сверл, метчиков и рассверленных отверстий

Размеры изношенной резьбы	Диаметр сверла, мм	Диаметр рассверленного отверстия, мм	Размер метчика
M8	8,7	8,70–8,86	M10x1,25
M10	10,5	10,45–10,62	M12x1,5
M12	12,2	12,18–12,38	M14x1,75
M12x1,25	12,7	12,7–12,86	M14x1,25
M14x2,0	14,0	13,9–14,13	M16x2
M14x1,5	14,5	14,45–14,62	M16x1,5
M16x2,0	16,2	16,2–16,4	M18x2
M16x1,5	16,5	16,45–16,62	M18x1,5
M18x2,5	18,0	18,0–18,4	M20x2,5
M18x1,5	18,0	17,9–18,13	M20x1,5

Спиральные вставки в подготовленное резьбовое отверстие устанавливаются с помощью специального монтажного инструмента. Технологический поводок с установленной в резьбовое отверстие спиральной вставкой удаляют спиральными бородками соответствующих размеров.

Контролируют резьбовые отверстия, восстановленных спиральными вставками, резьбовыми калибрами.

Контрольные вопросы и задания к главе 6

1. Опишите технологию ремонта резьбовых отверстий с помощью спиральных вставок? 2. Из какого материала изготавливаются спиральные вставки? 3. Что входит в комплект инструмента для ремонта резьбовых отверстий с помощью спиральных вставок? 4. Для чего применяются технологический поводок у спиральной вставки?

7. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ

7.1. Обработка деталей, восстановленных наплавкой

Поверхности деталей, восстановленных сварочно-наплавочными способами, обладают неоднородностью структуры, химического состава. Механические свойства наплавленного покрытия различны по сечению и зачастую выше, чем у основного металла. К особенностям наплавленной поверхности, которые оказывают существенное влияние на механическую обработку, относятся макронеровности, пористость и наличие неметаллических включений, структурная неоднородность. Из-за макронеровностей припуск на механическую обработку наплавленных поверхностей достигает значительных величин (0,5–2,0 мм). Все это обуславливает колебание сил резания в процессе точения, воздействие ударных нагрузок на резец, выкрашивание и низкую стойкость режущего инструмента.

Для получения обработанной поверхности требуемой шероховатости, максимальной стойкости режущего инструмента и производительности необходимо применение определенной марки инструментального материала, оптимальной геометрии резцов и режимов обработки. Кафедрой «Ремонт машин» ПГСХА предложена схема технологического процесса механической обработки наплавленных поверхностей, состоящего из предварительной (черновой) обработки, чистовой обработки точением для снятия макронеровностей и чистового шлифования. Рекомендованы марки инструментальных материалов, оптимальные режимы резания и геометрические параметры резцов. Для обработки покрытий при твердости наплавленного слоя более HRC 40 рекомендуются

твердые сплавы группы ВК (ВК8, ВК6, ВК6М), при твердости наплавленного слоя НРС 28–35, твердые сплавы группы ТК (Т5К10, Т15К6, Т14К8, Т30К4). Оптимальные режимы резания при различных способах наплавки приведены в таблице 7.1, а геометрия режущего инструмента – в таблице 7.2.

Таблица 7.1

Оптимальные режимы резания
при обработке наплавленных деталей

Способ наплавки	Твердость покрытия НРС	Скорость резания, м/мм		Подача, мм/об		Глубина резания, мм	
		Черновая обработка	Получист. обработка	Черновая обработка	Получист. обработка	Черновая обработка	Получист. обработка
Вибродуговая наплавка проволокой Нп65Г	50...58	40	40	0,12	0,12	0,75	0,5
Вибродуговая наплавка проволокой Св08	32	80	90	0,32	0,11	0,75	0,5
Наплавка под слоем легир. флюса (АН-348А+ +феррохром +графит)	56...58	30	30	0,12	0,13	0,75	0,5
Наплавка под слоем флюса АНК-18	38	45	50	0,2	0,2	0,75	0,5
Наплавка в среде CO ₂	28...30	80	90	0,2	0,12	0,75	0,5
Наплавка порошковой проволокой ППЗХ5Г 2М-0	50...56	22	35	0,13	0,11	1,0	0,75

Оптимальные режимы резания и оптимальная геометрия резцов позволяют получить при высокой стойкости инстру-

мента высокое качество обработанной поверхности. Для повышения точности обработки и получения поверхности с малой шероховатостью при чистовой обработке рекомендуется применять шлифование абразивными или алмазными кругами.

Рекомендуемые абразивные круги должны быть из электрокорунда белого на керамической связке, структура среднеплотная (№ 5) с зернистостью 20–30 и твердостью CM1–CM2. Обработка алмазными кругами может быть рекомендована только для покрытий твердостью свыше HRC 50–55.

Стойкость кругов и качество поверхности при чистовом шлифовании наплавленных поверхностей можно повысить, снижая удельные нагрузки и температуру в зоне шлифования, применяя прерывистые круги. Для изготовления прерывистых кругов на их рабочей поверхности создаются пазы (впадины). Используются и сборные сегментные круги. Сборные круги имеют металлический корпус, на периферии которого закрепляются абразивные сегменты. Несплошность рабочей поверхности сегментных кругов уменьшает время теплового воздействия круга, в результате температура шлифования снижается на 30–40 % и устраняется вероятность образования прожогов, а стойкость сегментных кругов по сравнению с обычными возрастает в 2–3 раза за счет их высокой режуще-шлифующей способности.

Алмазные круги рекомендуется использовать на чистовых операциях при обработке восстановленных деталей с твердостью более HRC 50–55. При меньшей твердости наблюдается интенсивное засаливание алмазного круга, что приводит к повышению его износа и ухудшению качества обработанной поверхности.

В целом алмазное шлифование наплавленных деталей дает более высокую удельную производительность по сравнению с абразивным, но несколько худшую шероховатость.

Могут быть рекомендованы алмазные круги марки АСП25К6-100 % при таких режимах шлифования: скорость круга 30 м/с, скорость изделия 20 м/мин, продольная подача 1,0 мм/об, глубина резания 0,01–0,02 мм. Для алмазного шлифования используются станки повышенной точности.

7.2. Механическая обработка деталей, восстановленных гальванопокрытиями

Механические свойства электролитического железа, применяемого для восстановления изношенных деталей железнением (осталиванием), значительно отличаются от свойств обычных металлов и зависят от условий электролиза. Механические свойства, структура электролитического железа оказывают существенное влияние на износ режущего инструмента при механической обработке покрытий. С изменением твердости покрытий меняется структура осадков.

Структура осадков электролитического железа влияет на обрабатываемость. Плотная мелкокристаллическая структура как твердых, так и мягких осадков железа способствует получению поверхности с шероховатостью на 1–2 класса выше, чем при точении углеродистой стали такой же твердости. Вместе с тем образующееся при определенных условиях электролиза слоистое покрытие «шелушится» на поверхности резания и, как следствие, резко повышается шероховатость. Точение трещиноватых покрытий обуславливает образование элементной стружки, что также ведет к увеличению шероховатости. Малая пластичность твердых покрытий, наличие железа в осадках способствуют повышенному износу режущего инструмента, вязкость мягких покрытий создает условия для засаливания абразивно-алмазного инструмента.

Различные физико-механические свойства и структура обуславливают различную обрабатываемость покрытий мягких ($H_{ц}=2000–2500$ МПа) и твердых ($H_{м}=4800–5200$ МПа).

В зависимости от требований, предъявляемых к восстанавливаемым железными деталям (точность обработки, шероховатость поверхности и т.д.), и свойств покрытий рекомендуются следующие схемы механической обработки:

- 1) точение (расточивание);
- 2) точение и шлифование;
- 3) шлифование.

На выбор схемы механической обработки оказывает влияние припуск на обработку, который зависит от технологических особенностей наращивания (ванное или местное наращивание), формы и характера износа, размеров и конфигурации детали, технического состояния оборудования и оснастки т.д.

Как показали исследования, проведенные на кафедре «Ремонт машин» ПГСХА, в качестве инструментального материала при точении покрытий электролитического железа следует применять твердый сплав Т30К4 или минералокерамику ЦМ332. Рекомендуются следующие режимы резания: при точении покрытий с микротвердостью менее 3000 скорость резания 50 м/мин, глубина резания 0,2 мм, подача 0,12 мм/об.

$\gamma=0$; $\alpha=10$; $\varphi=60$; $\varphi_1=30$; $\lambda=+5$; $r=1,5$ мм, при точении покрытий с микротвердостью до 5500 МПа – скорость резания 40–50 м/мин, подача 0,12 мм/об., глубина резания 0,2 мм; $\gamma=0$; $\alpha=10$; $\varphi=50$; $\varphi_1=30$; $\lambda=0$; $r=1,0$ мм.

Стойкость резцов в зависимости от режимов резания при оптимальной геометрии резцов может быть определена для мягких покрытий

$$T = \frac{133,5}{V^{0,86} \cdot S^{0,26}}, \text{ мин};$$

для твердых покрытий

$$T = \frac{236}{V^{0,82} \cdot S^{0,2}}, \text{ мин}$$

Рекомендуемые режимы обработки наплавленных деталей приведены в таблицах 7.2, 7.3.

Таблица 7.2

Оптимальные геометрические параметры резцов при обработке наплавленных деталей

Способ восстановления	Марка твердого сплава		Оптимальные геометрические параметры									
			α°		γ°		φ°		φ_1°		λ°	
	Чернов. обраб.	Получист. обраб.	Чернов. обраб.	Получист. обраб.	Чернов. обраб.	Получист. обраб.	Чернов. обраб.	Получист. обраб.	Чернов. обраб.	Получист. обраб.	Чернов. обраб.	Получист. обраб.
Вибродуговая наплавка проволокой Нп65Г	ВК 8	ВК8	10	10	- 11	- 11	28	28	15	15	+ 13	+ 13
Вибродуговая наплавка проволокой Св08	T15K6	T15K6	10	12	-5	-10	32	28	15	15	+ 5	0
Наплавка под слоем легированного флюса (АН-348А + феррохром + графит)	ВК6М	ВК6М	10	10	- 10	- 10	30	30	15	15	+ 12	+ 12
Наплавка в среде CO ₂	T15K6	T15K6	0	10	-5	-8	28	28	15	15	+ 5	+ 5
Наплавка порошковой проволокой ППЗ Г2М-0	ВК6М	ВК6М	10	10	-5	-5	45	45	20	20	+ 10	+ 10
Наплавка под слоем флюса АНК-18	T15K6	T30K6	10	10	-5	-5	30	30	15	15	+ 5	+ 5

Примечание. Режимы шлифования наплавленных поверхностей приведены в таблице 7.3

Таблица 7.3

Рекомендуемые режимы шлифования наплавленных деталей

Способ восстановления	Марка шлифовального круга	Режимы резания			
		скорость круга, м/с	скорость вращения деталей, м/мин	глубина шлифования, мм	продольная подача, мм/об
Вибродуговая наплавка проволокой Нп65Г	АСП25К6-100 %	30	20–25	0,01–0,02	1,0
Вибродуговая наплавка проволокой Св08	ЭБ25СМ2К	25–30	20–28	0,01–0,03	1–1,5
Наплавка под слоем легированного флюса (АН - 348А + феррохром + графит)	ЭБ25СМ2К5	20–28	20–28	0,01–0,03	1,5–2,5
	АСП25К6-100 %	30	20	0,01–0,02	1–1,5

Зависимость шероховатости обработанной поверхности от подачи, радиуса при вершине резца определяется для мягких покрытий:

$$R_z = \frac{644,2 \cdot S^{2,58}}{r^{1,35}} ;$$

для твердых покрытий:

$$R_z = \frac{32,2 \cdot S^{1,27}}{r^{0,466}}$$

Шлифование электролитического железа абразивным инструментом рекомендуется проводить кругами Э9А20-25МЗК5 на режимах: скорость круга 30 м/с, скорость изделия при шлифовании мягких покрытий 46 м/мин, при шлифовании твердых покрытий 25 м/мин, продольная подача 3 мм/об; глубина шлифования 0,03 мм.

Круги из синтетических алмазов не пригодны для обработки покрытий, имеющих твердость менее 4000 н/мм², из-за интенсивного засаливания и появления ожогов на обработан-

ной поверхности. Целесообразно применение кругов из синтетических алмазов марки АСР25К5-50% при обработке твердых покрытий. Режимы обработки: скорость круга 20 м/с, скорость изделия 24,5 м/мин, подача 1 мм/об, глубина шлифования 0,02 мм/ход.

Для обработки посадочных поверхностей диаметром 90–150 мм, восстановленных местным осталиванием (железнением), может быть рекомендована двухрезцовая расточная головка (рисунок 7.1). Резцы (рисунок 7.2) армированы твердым сплавом Т30К4, размеры позволяют настраивать один резец для черного прохода (для снятия дендритов, эллипсности и конусности), другой – для чистого точения.

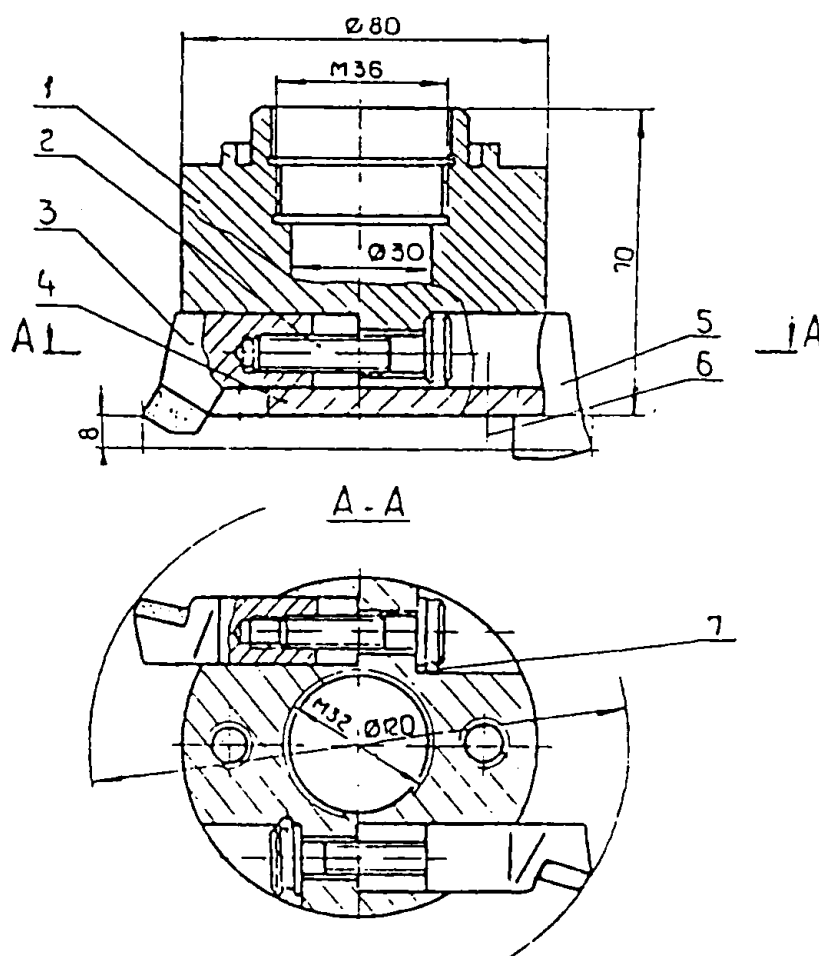


Рисунок 7.1 – Двухрезцовая головка для расточки посадочных мест

Шлифование является практически единственным способом механической обработки хромированных покрытий. Особенности физико-механических свойств и структуры хромированных покрытий предполагают особые требования к их механической обработке. Несоблюдение режимов шлифования ведет к отслаиванию покрытий, образованию трещин и прожогов. Для шлифования деталей, восстановленных хромированием, применяются абразивные круги из электрокорунда, нормального или белого на керамической связке К5, зернистостью 20–40, твердостью СМ1–С1, структуры 5–12. Режимы шлифования: окружная скорость круга 25–35 м/с, скорость изделия 0,2–0,3 м/с, поперечная подача 0,005–0,015 м/дв. ход, продольная подача 2–10 мм/об, количество СОЖ – 5–20 л/мин. После шлифования наружные цилиндрические поверхности обрабатывают (полируют) абразивными и алмазными бесконечными лентами с помощью специального приспособления.

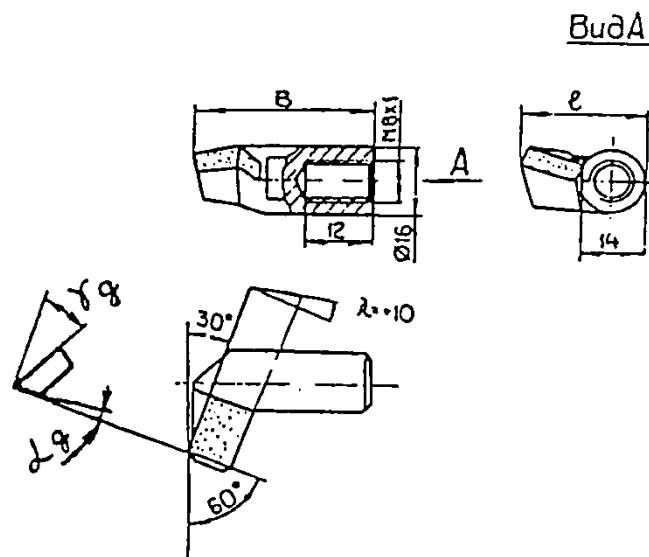


Рисунок 7.2 – Резцы обработки внутренних поверхностей

Для уменьшения шероховатости и повышения усталостной прочности и долговечности восстановленных и об-

работанных поверхностей рекомендуется применение отделочно-упрочняющей операции – выглаживания. В качестве рабочего инструмента используется гладилка с пластиной цилиндрической формы из твердого сплава Т30К4. Усилие выглаживания зависит от твердости выглаживаемого покрытия и выбирается в пределах 300–500 Н при радиусе гладилки 4,4–4,9 мм. С изменением режима выглаживания меняется процесс на отделочный или упрочняющий.

Контрольные вопросы и задания к главе 7

1. В чем особенности механической обработки покрытий, полученных наплавкой и железнением? 2. Какие режущие инструменты применяются при обработке наплавленных покрытиях? 3. В чем особенности и какой инструмент применяется при точении электролитического железа? 4. Какой инструмент применяется при шлифовании электролитического железа? 5. Какие режущие инструментальные материалы применяются при механической обработке наплавленных покрытий?

8. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Многообразие способов восстановления изношенных деталей позволяет устранять одинаковые дефекты различными способами, что влияет на стоимость восстановления и качество получаемых покрытий.

При выборе способа восстановления следует учитывать ряд факторов, обеспечивающих максимальный ресурс восстановленной детали, минимальную стоимость восстановления, конструктивные особенности и размеры детали, характер и величину износа, материал и вид термической обработки детали, возможный диапазон толщины наносимого покрытия, производительность процесса, трудоемкость и энергоемкость восстановления, наличие оборудования, ущерб, наносимый окружающей среде. Таким образом, вопрос о выборе рационального способа восстановления деталей должен рассматриваться с учетом технологических, организационных, экономических и экологических показателей.

Выбор рационального способа восстановления может осуществляться в следующем порядке. Вначале рассматриваются все способы восстановления конкретной детали с учетом вышеуказанных показателей, отбрасываются явно несоответствующие. Подобранные способы, применимые для восстановления данной детали, устанавливаем, какой из способов обеспечивает наибольшую долговечность детали. Долговечность численно выражается коэффициентом долговечности и определяется для каждого способа восстановления и каждой конкретной детали или группы деталей. По критерию долговечности определяется способ восстановления, обеспечивающий наибольший ресурс восстановленной детали. Примерные коэффициенты долговечности деталей при некоторых способах восстановления приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1

Примерные коэффициенты долговечности при различных способах восстановления

Деталь, вид сопряжения	Хромирование	Железнение	Вибродуговая наплавка	Наплавка под слоем флюса	Наплавка в среде CO ₂
Шейки коленчатых валов	1,0–1,25	0,85–1,0	0,8–0,9	0,85–0,9	0,85–0,9
Стержни толкателей и клапанов	2,0–2,5	0,85–1,5			
Посадочные места под подшипники на валах и осях	1,2–1,5	0,7–0,85	0,95–1,0		0,95–1
Наружные резьбы на валах и осях			0,85–1	0,9–1	0,9–1

В процессе выбора рационального способа восстановления производится технико-экономическая оценка всех сравниваемых способов на основе технико-экономического критерия, который отражает зависимость долговечности от затрат на ее восстановление:

$$C_B \leq K_g \cdot C_H,$$

где C_B – стоимость восстановленной детали; C_H – стоимость новой детали; K_g – коэффициент долговечности (отношение ресурса восстановленной детали к ресурсу новой).

Стоимость восстановленной детали определяется из выражения

$$C_B = C_{из} \cdot C_{з.р} \cdot C_{об} \cdot C_M \cdot C_{бр} \cdot C_H,$$

где $C_{из}$ – стоимость изношенной детали; $C_{з.р}$ – затраты на оплату труда производственным рабочим; $C_{об}$ – затраты на содержание и эксплуатацию оборудования; C_M – затраты на основные материалы, используемые при нанесении покрытий; C_H – накладные расходы; $C_{бр}$ – потери от брака. Стои-

мость изношенной детали определяют, как правило, по цене металлолома. При использовании ремфонда с других предприятий в стоимость изношенной детали входит 20 %-ная надбавка.

За сбор и сортировку детали. В стоимость материалов входят все затраты на все материалы, используемые при восстановлении данной детали. Заработную плату определяют с учетом всего комплекса операций, предусмотренных технологическим процессом. В затратах на содержание и эксплуатацию оборудования учитываются затраты на амортизацию, ремонт и обслуживание оборудования, затраты на электроэнергию, газ, пар, воду, сжатый воздух, на эксплуатацию вспомогательного оборудования. Накладные расходы (общепроизводственные и общехозяйственные) обычно определяют в процентном отношении к заработной плате производственных рабочих. Потери от брака учитывают с помощью коэффициента выхода годных деталей в процессе восстановления.

При внедрении технологического процесса восстановления деталей взамен приобретения новых запасных частей при условии $K_{ц}=1$ годовой экономический эффект (руб.) может быть подсчитан по формуле

$$\mathcal{E} = [a \cdot Ц_2 - (C_B + E_H \cdot K)] \cdot N_B,$$

где a – коэффициент, учитывающий затраты на доставку новых деталей на предприятие; $Ц_2$ – оптовая цена запасных частей, руб.; C_B – себестоимость восстановления, руб.; N_B – количество (программа) восстанавливаемых деталей в расчетном году, шт.; E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_H=0,15$); K – удельные капитальные вложения на восстановление детали, руб.

В таблице 8.2 приведены некоторые технико-экономические показатели способов восстановления деталей.

Таблица 8.2

Технико-экономические показатели способов восстановления

Способы восстановления	Твердость покрытия, HRC	Толщина покрытия за проход, мм	Производительность, кг/ч
Наплавка: электродуговая автоматическая	14–63	0,1–20,0	1,8–60,0
под слоем флюса	17–62	0,5–20,0	1,8–60,0
порошковыми проводами	21–60	2,5–3,0	2,0–20,0
в среде CO ₂	20–62	0,8–4,0	1,56–4,4
вибродуговая	14–63	0,5–5,0	0,6–4,4
плазменная	32–72	0,1–12,0	2,0–18,0
индукционная	46–63	0,3–5,0	20,0
газовая	13–42	0,5–1,5	1,41
электрошлаковая	51–62	10–60	10–60
Электроимпульсная	30–70	0,4–0,75	1,0
Гальванопокрытия: хромирование	35–72	0,05–0,3	0,007–0,0248
железнение	21–62	0,1–3,0	0,011–0,085
Металлизация: плазменно-дуговая	18–61	0,05–10	0,8–12
электродуговая	20–42	0,10–3	2,5–38
высокочастотная	20	0,05–12	4,0–12
газовая	43–48	0,05–12	0,8–20

При выборе способа восстановления, следует учитывать, что затраты снижаются примерно в такой последовательности: замена части деталей, установка дополнительной ремонтной детали, электролитическое наращивание, сварка и наплавка, восстановление полимерными материалами, восстановление давлением, восстановление под ремонтные размеры.

Сравнительные испытания различных покрытий позволяют рекомендовать использовать те или иные способы для восстановления типовых деталей машин.

Электродуговую автоматическую наплавку под слоем флюса целесообразно использовать для восстановления изношенных цилиндрических поверхностей крупногабаритных деталей, имеющих большие износы 2–10 мм). Этот метод эффективен при восстановлении деталей ходовой части гусеничных тракторов (направляющие колеса, опорные катки, поддерживающие ролики, ведущие колеса, траки гусениц), шлицевых поверхностей полуосей и карданных валов. Автоматическая наплавка под слоем флюса успешно применяется при восстановлении тяжело нагруженных термически обработанных до высокой твердости стальных деталей, а также некоторых ответственных деталей, таких как коленчатые валы. В этом случае упрочнение и улучшение качества наплавленного металла достигается тем, что используются специальные и легированные флюсы, легированная и порошковая проволока.

Вибродуговая наплавка в жидкости высокоуглеродистой проволокой применяется при восстановлении термически обработанных до высокой твердости цилиндрических наружных и внутренних поверхностей стальных деталей. Вибродуговая наплавка малоуглеродистыми проволоками в жидкости рекомендуется для восстановления деталей, не подвергающихся значительным нагрузкам, а также наружных и внутренних поверхностей цилиндрических деталей из чугуна. К деталям, восстанавливаемым вибродуговой наплавкой, можно отнести посадочные и резьбовые поверхности валов коробок передач, распределительные и коленчатые валы, крестовины дифференциала, крышки картера заднего моста, стаканы и муфты подшипников и др.

Электродуговую наплавку (сварку) в среде защитных газов целесообразно применять для восстановления цилиндрических поверхностей стальных деталей, термически необработанных или имеющих после термической обработки незначительную твердость. Электродуговая наплавка в среде защитных газов успешно применяется при восстановлении

посадочных и резьбовых валов коробок передач, коленчатых валов компрессов, крестовин карданного вала и дифференциала, цапф поворотных, кулаков разжимных тормозов, шлицевых поверхностей полуосей, осей педалей сцепления и др. Целесообразно применение полуавтоматической сварки в среде углекислого газа при ремонте тонколистовых деталей автомобилей, тракторов (кузова, оперения, кабины).

Электроконтактную приварку стальной ленты, стальной проволоки рекомендуется применять для восстановления посадочных мест под подшипники цилиндрических валов коробок передач, резьбовых концов валов, посадочных мест под подшипники в корпусных деталях из стали и чугуна, коленчатых и распределительных валов.

Электроконтактное напекание порошковых материалов, электродуговое, газопламенное и плазменное напыление используют при незначительных износах деталей, подвергающихся воздействию высоких температур, контактных нагрузок и работающих в агрессивных средах. Этими способами целесообразно восстановление клапанов, толкателей, распредвалов и коленчатых валов, посадочных мест под подшипники на осях, валах и в корпусных деталях, шлицевых концов карданных валов и др.

Электролитическое железнение (осталивание) целесообразно применять для восстановления деталей типа вала, а также внутренних поверхностей различных деталей – таких как толкатели клапанов, клапаны, шкворни поворотных цапф, поворотные цапфы, оси блоков шестерен коробок передач, валики педалей сцепления, валики водяного насоса, плунжерные пары, золотники, поршневые пальцы, шатуны, крестовины дифференциала и др.

Применение хромирования более ограничено. Так, электролитическое хромирование нецелесообразно применять при ремонте деталей, рабочие поверхности которых подвергаются контактными нагрузкам, а также деталей износы

которых превышают 0,8–1,0 мм. Этот способ эффективен при незначительных износах (до 0,01–0,3 мм), его следует использовать для ремонта в неблагоприятных условиях смазки. Вследствие высокой износостойкости покрытий хрома этот способ может конкурировать с другими, более высокопроизводительными способами восстановления в тех случаях, когда необходимо получать восстановленную деталь с ресурсом, равным сроку службы агрегата, в котором она находится. Хромированием могут восстанавливаться детали топливной аппаратуры, детали гидросистемы (штоки, золотники, поршни и др.).

Широкий диапазон нашли полимерные материалы – от заделки трещин в корпусных деталях, устранения вмятин в кузовах до восстановления посадочных мест поверхностей крупногабаритных деталей. Полимерные покрытия целесообразно использовать для восстановления изношенных поверхностей тормозных цилиндров, поршней амортизаторов, валиков водяных насосов, резьбовых соединений. Синтетические клеи, герметики, анаэробные материалы успешно применяются при заделке трещин, пробоев, закреплении втулок, колец, при восстановлении с использованием дополнительной детали, установке подшипников качения в корпусах коробок передач, гнездах водяных насосов и др.

Контрольные вопросы и задания к главе 8

1. Каков порядок выбора рационального способа восстановления деталей? 2. Как определяется технико-экономическая эффективность способа восстановления? 3. Какие факторы учитываются при выборе способа восстановления детали? 4. Что такое коэффициент долговечности? 5. Что учитывается при определении стоимости восстановления детали? 6. Для таких деталей можно рекомендовать различные способы восстановления?

9. УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Под упрочнением материала понимают повышение значений его физико-механических свойств, для обеспечения надежности устанавливаемых на машину деталей.

Упрочнение основано на преднамеренном искажении кристаллической решетки металла в результате механического воздействия, термической или термомеханической обработки.

Способы упрочнения в зависимости от вида воздействия на поверхностный слой включают: пластическое поверхностное деформирование, термическая и химико-термическая обработка.

9.1. Упрочнение деталей поверхностным деформированием

Сущность способа упрочнения с помощью поверхностного деформирования (ППД) заключается в упругопластическом деформировании поверхностного слоя детали инструментом с цилиндрической или сферической рабочей частью при взаимном перемещении инструмента и детали (выглаживание), динамическим воздействием на поверхность металлической дробью, ротационным упрочнением, ультразвуковым упрочнением, наклепом.

В результате воздействия деформирующего инструмента на обрабатываемой поверхности сминаются микровыступы, дробятся зерна, искажается микрорешетка и изменяется уровень микронапряжений в поверхностном слое. Все это способствует повышению твердости поверхностного слоя, что способствует повышению износостойкости, а возникающие в поверхностном слое сжимающие напряжения повышению усталостной прочности.

Дробеструйная обработка применяется для повышения усталостной прочности шатунов, рессор, а также повышения жесткости пружин, торсионов. Упрочняющий эффект при дробеструйной обработке достигается за счет пластического деформирования поверхности детали потоком металлической дроби. Такой поток поступает к поверхности детали со скоростью 30–100 м/с. В механических дробометах дробь выбрасывается за счет центробежной силы, при вращении барабана с лопатками. В пневматических устройствах дробь переносится струей сжатого воздуха под давлением 0,4–0,6 МПа. Применяют стальную или чугунную дробь диаметром 0,5–2 мм. На поверхности образуется наклепанный слой глубиной до 1 мм, микротвердость поверхности слоя увеличивается на 30–35 %.

Для упрочнения наружных и внутренних поверхностей деталей, таких как гильзы цилиндров, отверстия в головках шатунов, галтели коленчатых валов применяют обкатывание (раскатывание – для внутренних поверхностей) роликами и шариками. Приспособление устанавливают на суппорте станка. Инструмент (накатник) подпружинен и прижимается к детали усилием поперечной педали.

Эта обработка обеспечивает снижение шероховатости до $Ra=0,16$ мкм, микротвердость поверхностного слоя увеличивается на 40–60 %.

Упрочнение чеканкой (наклепом) проводят с помощью специальных отбойных молотков, что обеспечивает образование внутренних напряжений сжатия. Боек молотка приводится в движение с помощью кулачка. Повышается твердость поверхности, повышается усталостная прочность. Наклепом упрочняют зубья шестерен, сварные швы, галтели коленчатых валов.

При ультразвуковом упрочнении рабочая часть инструмента, выполненная из твердых сплавов ВК–8, Т15К6 и зака-

ленной стали ШХ15 приобретает ультразвуковые колебания, создаваемые ультразвуковым генератором. Под действием динамических сил создаваемых колебательной системой поверхности, слой детали пластически деформируется, что повышает микротвердость глубиной упрочнения до 0,5 мм, создаются благоприятные напряжения сжатия. Ультразвуковое упрочнение применяется для инструментов, зубьев шестерен, деталей из чугуна, цветных сплавов, деталей сложной формы.

Выглаживание основано на упругопластичном деформировании поверхностного слоя детали инструментом с цилиндрической или сферической рабочей частью при взаимном перемещении инструмента и детали. В отличие от обкатывания, где имеет место трение качения инструмента по поверхности детали, выглаживание основано на использовании трения скольжения.

9.2. Термическая обработка при упрочнении деталей машин

Термическая обработка металлов и сплавов – это технологический процесс нагрева с выдержки и последующего охлаждения заданной скоростью, вызывающей изменение внутреннего строения сплава и, как следствие этого, изменение механических, физических и других свойств. Термическая обработка состоит из нагрева, выдержке при определенной температуре и охлаждения, и в координатах температура – время график любого вида термической обработки может быть представлен, как показано на рисунке 9.1.

Процессы термической обработки принято подразделять на собственно термическую обработку, включающее только тепловое воздействие; термомеханическую, сочетающую тепловое воздействие с пластическим деформированием, и обработки с изменением химического состава поверхности металла и сплавов.

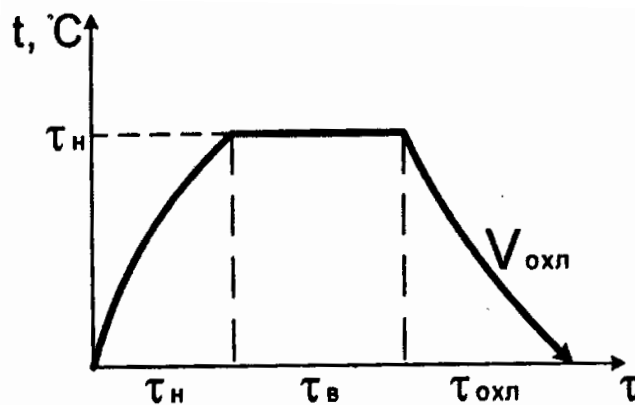


Рисунок 9.1 – График термической обработки

При выборе режима термической обработки рекомендуется использовать диаграммы состояния сплавов (для черных металлов диаграмму состояния железо-цементит).

Основные виды термической обработки – отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжигом называется нагрев стали до температуры выше фазовых превращений, выдержку при данной температуре и последующее медленное охлаждение (обычно вместе с печью).

Цель отжига зависит от видов отжига. Скорость охлаждения при отжиге должна обеспечить распад аустанита на феррито-цементитную смесь (перлит). Для углеродистых сталей она составляет 150–200 град/ч, для низколегированных 30–50 град/ч.

После отжига структура у доэвтектоидной стали состоит из перлита и феррита, у эвтектоидной стали – из перлита, у заэвтектоидных сталей – из перлита и вторичного цементита. Форма цементита при этом обычно пластинчатая.

В зависимости от температуры нагрева различают диффузионный отжиг (гомогенизация), полный отжиг, неполный отжиг (для заэвтектоидных сталей неполный отжиг называют отжигом на зернистый перлит), изотермический отжиг, нормализационный отжиг (нормализация), графитизирующий.

Диффузионный отжиг применяют для выравнивания и устранения неоднородности химического состава (ликвации) отливок, наплавленного металла за счет протекания диффузионных процессов при высоких температурах.

Отжиг осуществляется нагревом стали выше точки A_{c3} на $150\text{--}300^\circ\text{C}$ (рисунок 9.2) длительной выдержкой при данной температуре и последующем медленным охлаждением.

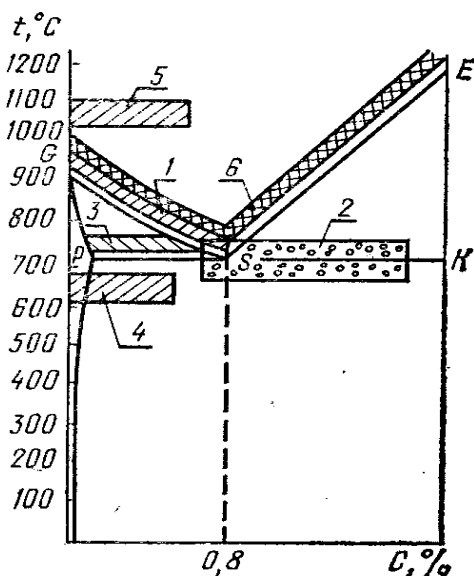


Рисунок 9.2 – Температуры нагрева стали при отжиге и нормализации:

- 1 – полный отжиг доэвтектоидной стали; 2 – неполный отжиг заэвтектоидной стали; 3 – неполный отжиг доэвтектоидной стали;
- 4 – низкотемпературный отжиг и рекристаллизационный отжиг;
- 5 – диффузионный отжиг; 6 – нормализация

При полном отжиге сталь нагревают выше критической точки A_{c3} на $30\text{--}50^\circ\text{C}$, выдерживают при данной температуре, а затем медленно охлаждают. Этот вид отжига проводят для того, чтобы снизить твердость, повысить пластичность и вязкость, т.е. привести сталь в равновесное состояние. Полный отжиг применяют для доэвтектоидных углеродистых и легированных сталей, находящихся в неравновесном состоянии, т.е. когда сталь закалена, недоотпущена после горячей обработки давлением.

Неполный отжиг – это нагрев стали выше критической точки A_{c1} на $30\text{--}50^\circ\text{C}$, выдержку при данной температуре и последующее медленное охлаждение. Его применяют для снятия внутренних напряжений, исправления структуры (измельчение зерна), снижение твердости и улучшение обрабатываемости резанием.

Нормализацией называют нагрев доэвтектоидных сталей выше критической точки A_{c3} , заэвтектоидных и эвтектоидной стали выше A_{cm} на $30\text{--}50^\circ\text{C}$, непродолжительную выдержку и последующее охлаждение на спокойном воздухе. После нормализации стали имеют более дисперсную структуру и, по сравнению с отжигом, более высокие механические свойства (повышенная прочность и твердость).

Закалка – это процесс термической обработки, состоящий из нагрева стали выше критической точки A_{c3} на $30\text{--}50^\circ\text{C}$ (для доэвтектоидных сталей) или A_{c1} (для заэвтектоидных сталей), выдержка при этой температуре и последующего быстрого охлаждения.

При закалке повышаются прочность, твердость, при сохранении достаточной вязкости. На результат закалки влияют температура нагрева, скорость нагревания, выдержка при температуре нагрева и охлаждения. Температура нагрева зависит от содержания углерода в стали и выбирается по диаграмме железо-цементит.

Доэвтектоидные стали нагревают под закалку на $30\text{--}50^\circ\text{C}$ и выше линии GS, в результате перлитно-ферритная структура превращается в аустенит. Аустенит при охлаждении со скоростью выше критической превращается в мелкоигольчатый мартенсит, при небольшом количестве остаточного аустенита. Этот процесс называется полной закалкой. При нагреве доэвтектоидной стали до температуры, лежащей между линиями PS и GS, то произойдет частичная перекристаллизация и кроме аустенита, остается некоторое количе-

ство феррита, который при охлаждении не претерпит изменений. Полученная закалка будет состоять из мартенсита и феррита, который снизит твердость закаленной стали. Такая закалка называется неполной.

Эвтектоидные и заэвтектоидные стали нагревают перед закалкой на 30–50°C и выше точки A_{c1} , т.е. применяют неполную закалку. После быстрого охлаждения в структуре эвтектоидной стали будут мартенсит и остаточный аустенит, а в заэвтектоидной стали – мартенсит, вторичный цементит и остаточный аустенит (рисунок 9.3).

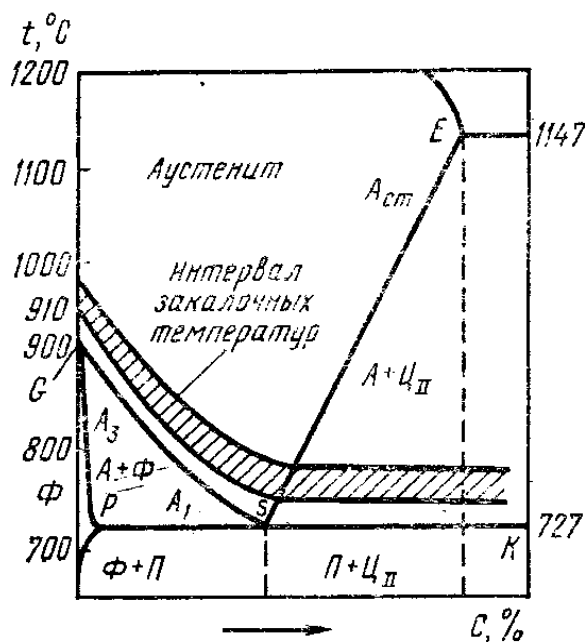


Рисунок 9.3 – Температурный интервал нагрева углеродистых сталей для закалки

Скорость охлаждения оказывает решающее влияние на результат закалки. Различная скорость охлаждения получают, применяя различные охлаждающие среды (вода, масло, соли и др.). особенно важно, чтобы охлаждающая среда обеспечивала большую скорость охлаждения стали в пределах 650–500°C во избежание распада аустенита на феррито-цементитную смесь. В тоже время необходимо замедлить

охлаждение стали в интервале температур 300–200°С, т.к. в этом интервале идет образование мартенсита.

В зависимости от метода охлаждения различают следующие способы закалки (рисунок 9.4): закалка в одном охладителе, закалка в двух средах, ступенчатая, изотермическая.

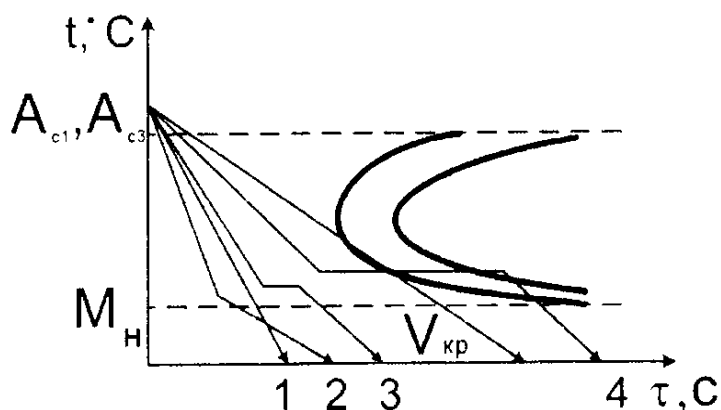


Рисунок 9.4 – Виды закалки в зависимости от характера охлаждения (на примере эвтектоидной стали): 1 – в одной среде (непрерывная); 2 – в двух средах; 3 – ступенчатая; 4 – изотермическая; $V_{кр}$ – критическая скорость охлаждения при закалке

В этих случаях, когда необходима высокая поверхность, твердость и способность воспринимать ударные нагрузки, выполняют закалку с самоотпуском. В этом случае охлаждение ведут не до конца, извлекают деталь из калочной среды. Оставшееся внутри детали тепло обеспечивает самоотпуск закаленной поверхности.

Для деталей, работающих при переменных нагрузках, при значительном поверхностном трении, когда необходимо получить твердую, прочностойкую поверхность при мягкой сердцевине проводят поверхностную закалку. Для этого закаливают поверхностный слой на глубину до 5 мм.

Все закаленные стали подвергают отпуску. Отпуск состоит из нагрева закаленной стали до температуры ниже точки A_{c1} , выдержке при заданной температуре и последующего охлаждения с определенной скоростью. Отпуск – окончатель-

ная операция термической обработки, в результате которой сталь приобретает необходимые механические свойства и структуру. Отпуск позволит уменьшить твердость, и хрупкость стали, повысить вязкость, уменьшить и снять напряжение.

Температуры для различных видов термической обработки приведены на рисунке 9.5.

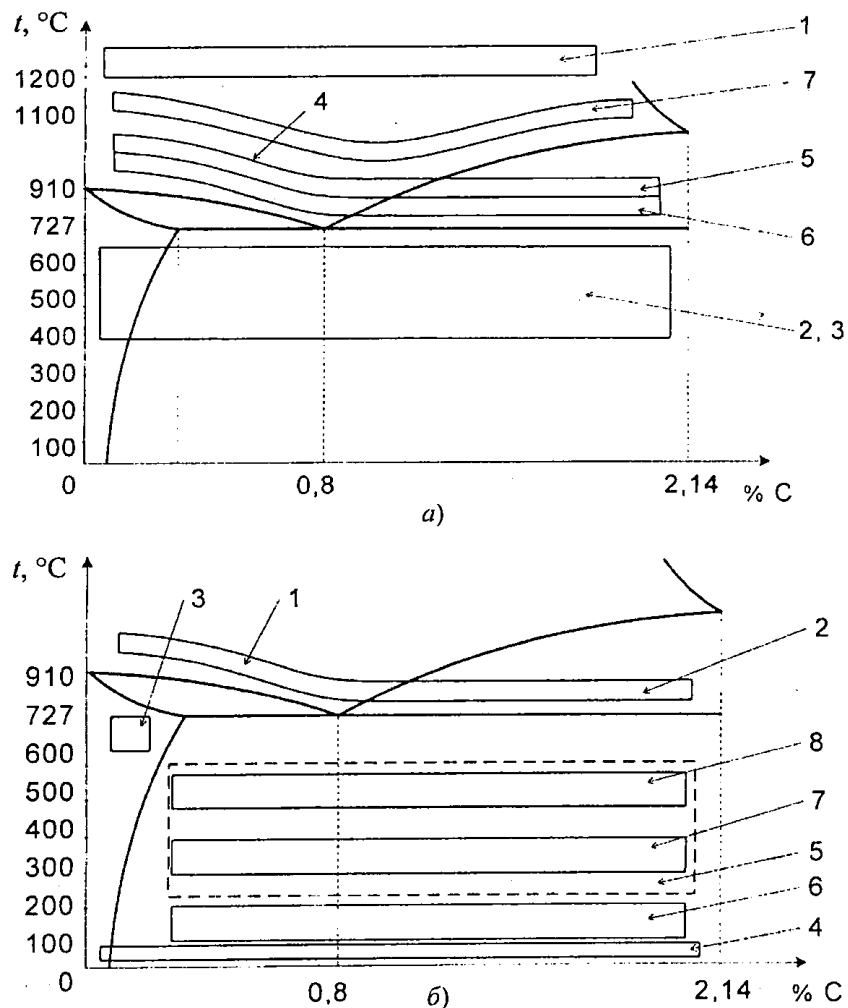


Рисунок 9.5 – Участок диаграммы состояния Fe-Fe₃C с нанесенными температурами для видов термической обработки углеродистой стали:

- а) – отжиг I рода [1 – гомогенизационный (диффузный); 2 – рекристаллизационный; 3 – для снятия внутренних напряжений (релаксационный)]; отжиг II рода [4 – полный, 5 – неполный (сфероидизирующий); б) – закалка, старение, отпуск: закалка с полиморфным превращением (1 – полная; 2 – неполная; 3 – без полиморфного превращения; 4 – естественное старение; 5 – искусственное старение; 6, 7, 8 – низкий, средний и высокий отпуск соответственно)

Различают низкий, средний и высокий отпуск. Низкий отпуск получают при нагреве до 150–200°C, при этой температуре в структуре стали сохраняется мартенсит, но с несколько измененной кристаллической решеткой, в результате чего уменьшается твердость и внутреннее напряжение. Такая структура называется мартенсит отпуска. Средний отпуск получают при нагреве до 350–500°C. При этом в стали, отпущенной при этой температуре, образуется структура, называемая троостит отпуска, состоящая из смеси феррита и цементита. У такой стали снижается твердость и прочность, но повышается пластичность и упругость. Такой вид отпуска применяют при термической обработке пружин, рессор.

Высокий отпуск проводят при нагреве закаленной стали до 500–650°C, при этом образуется структура сорбит отпуска. При высоком отпуске снимаются внутренние напряжения. При сорбитной структуре образуется наилучшее сочетание прочности и пластичности. Закалку с высоким отпуском называют улучшением. Улучшению подвергают конструкционные стали, содержащие 0,3–0,5% углерода.

9.3. Химико-термическая обработка при упрочнении деталей

Химико-термическая обработка (ХТО) – это процесс насыщения поверхностного слоя изделий углеродом, азотом и другими элементами с целью изменения химического состава, структуры и свойств поверхностных слоев деталей. Цель химико-термической обработки – поверхностное упрочнение металлов и сплавов и повышение их стойкости против воздействия внешних агрессивных сред, повышение твердости, усталостной прочности, износоустойчивости.

Процесс ХТО состоит из трех стадий: диссоциации, которая заключается в распаде молекул и образовании актив-

ных атомов диффундирующего элемента; абсорбции, т.е. контактирование атомов диффундирующего элемента с поверхностью стального изделия и образование химических связей с атомами металла; диффузии атомов насыщенного элемента вглубь металла.

Диссоциация протекает в газовой сфере и заключается в распаде молекул и образования активных атомов диффундирующего элемента, например окиси углерода $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$ или аммиака $\text{NH}_3 \rightarrow 3\text{H} + \text{N}$. Толщина диффузионного слоя зависит от температуры нагрева, продолжительности насыщения, концентрации диффундирующего элемента на поверхности.

Различают следующие виды химико-термической обработки стали: цементация, азотирование, цианирование, диффузионная металлизация.

Цементация – процесс поверхностного насыщения малоуглеродистой стали углеродом с целью получения высокой твердости и износоустойчивости поверхностного слоя при достаточной вязкости сердцевины детали. Детали после цементации подвергают термической обработке – закалке и отпуску.

Цементации подвергают различные детали: зубчатые колеса, пальцы, валы, оси, рычаги, червяки, детали подшипников и др. Цементацию проводят следующими способами: в твердом карбюраторе, в газовом карбюраторе. При цементации в твердом карбюраторе насыщающей средой является древесный уголь, каменноугольный кокс и торфяной кокс с добавлением активизаторов. Детали укладывают в ящики, обсыпают карбюризатором, герметично закрывают огнеупорной глиной и загружают в печь, выдерживают при температуре 930–950°C. Время выдержки зависит от требуемой толщины цементированного слоя. Как правило, за 1 час угле-

род проникает на глубину 0,1 мм. При газовой цементации в качестве карбюризаторов применяют различные газы и газовые смеси: природные газы, пропан, смеси метана, газы, получаемые при пиролизе керосина и других нефтепродуктов. Для газовой цементации детали помещают в муфельные печи, через которые пропускают газы при нагреве 900–950°C. После газовой цементации можно сразу же производить закалку, используя нагрев при цементации, а так же низкий отпуск, для получения на поверхности структуры отпущенного мартенсита с твердостью HRC 60, а сердцевина сохраняет вязкость и пластичность.

Азотирование – процесс диффузионного насыщения поверхности металлов азотом с целью повышения твердости, износостойкости, усталостной прочности и коррозионной стойкости деталей. Азотируют главным образом легированные стали, содержащие такие элементы как хром, молибден, вольфрам, алюминий, титан, которые способны образовывать с азотом прочные нитриды. Процесс ведут в газообразном аммиаке (NH₃) при температуре 430–600°C. Перед азотированием проводят термическую обработку деталей – улучшение (закалку и высокий отпуск). Продолжительность азотирования зависит от требуемой толщины слоя. Считают, что каждые 10 часов выдержки получают азотированный слой толщиной 0,1 мм.

Цианирование (нитроцементация) – процесс, при котором поверхности деталей одновременно насыщают углеродом и азотом, с целью повышения твердости, износостойкости и усталостной прочности изделий. Цианирование проводят чаще всего, в газовой среде, состоящей из науглероживающего и азотирующего газов (природного газа и аммиака). Жидкое цианирование проводят в растворах цианистых солей (NaCN, NaCl, Na₂CO₃, BaCl₂).

Цианированию подвергают цементируемые легированные стали. После цианирования проводят закалку и низкий отпуск.

Диффузионная металлизация – процесс насыщения стали алюминием, хромом, кремнием, бором, титаном и другими элементами. Ее осуществляют нагревом и выдержкой стальных деталей в контакте с одним или несколькими элементами, которые могут находиться в твердом, жидком и газообразном состоянии, в результате насыщения поверхность приобретает ценные свойства (твердость, износостойкость, коррозионную стойкость, жаростойкость).

Алитирование – поверхностное насыщение стали алюминием для повышения окалиностойкости (до 850–900°C). При нагреве алитированной стали на поверхности образуется плотная пленка окиси алюминия, которая в дальнейшем предохраняет металл от окисления.

Хромирование – поверхностное насыщение стали хромом в твердой, жидкой и газообразной средах для повышения коррозионной стойкости и износостойкости.

Борирование – поверхностное насыщение стали бором при нагреве в соответствующей среде с целью получения твердой и износостойкой поверхности. Благодаря тому, что поверхности сталей образуются слой боридов FeB, Fe₂B толщиной 0,1 мм значительно повышается твердость и износостойкость.

Силицирование – поверхностное насыщение стали кремнием для повышения износостойкости, коррозионной и кислотостойкости.

Практическое применение термической и химико-термической обработки для упрочнения деталей машин приведено в таблицах 9.1, 9.2, 9.3, 9.4.

Таблица 9.1

Материалы и методы упрочнения ответственных деталей станков, автомобилей, тракторов

Наименование детали	Твердость поверхности	Толщина упрочненного слоя, мм	Материал	Метод упрочнения
Валы, работающие при изгибе, кручении, контактных нагрузках	217–285 HB, 32–38 HRC, 45–52 HRC	Сквозная прокаливаемость	Стали 45, 40X, 40ХГТР, 40Х2НМА	Объемная закалка с высоким, средним и низким отпуском
	48–56 HRC	1,0–1,6	Стали 45, 40X, 50ХФА	Поверхностная закалка с индукционным нагревом
Втулки, направляющие, гайки передач, винтгайка	58–62 HRC	Сквозная прокаливаемость	ШХ15, ШХ15СГ	Объемная закалка
Винты передач скольжения	54–58 HRC		ХВГ, 7ХГ2ВМ	
Шпиндели, игольчатые подшипники, втулки	45–55 HRC	1,0–1,8	45	Поверхностная закалка с индукционным нагревом
Червяки силовых вспомогательных передач	45–52 HRC	Сплошная прокаливаемость	40X, 50ХН	Объемная закалка
Зубчатые колеса средненапряженные	48–54 HRC	2..3 ниже впадины зуба	40X	Поверхностная закалка с нагревом ТВЧ
Чугунные базовые детали	45–50 HRC	1,2–1,8	СЧ21-40, СЧ28-48	
Втулки, болты, гайки, шпильки	35–42 HRC	Сплошная прокаливаемость	Сталь 35	Объемная закалка с 850–860°С с отпуском 440°С
	267–313 HB			То же, 600°С
	187–241 HB			То же, 640°С

Материалы и методы упрочнения ответственных деталей станков, автомобилей, тракторов

Наименование детали	Твердость поверхности	Толщина упрочненного слоя, мм	Материал	Метод упрочнения	
Штифты, гайки, втулки	241–269 НВ		45	Объемная закалка с 830°C с отпуском 565°C	
	207–241 НВ			То же, 625°C	
	313–347 НВ			То же, 440°C	
Болты, винты, шпильки, гайки	347–406 НВ		40Х	Объемная закалка с 840°C с отпуском 520°C	
	241–285 НВ			То же, 630...680°C	
	267–313 НВ			То же, 600...650°C	
Пружины	42–48 HRC		65Г	Объемная закалка с 820°C с отпуском 390°C	
Бамперы	Не измеряют		60С2	Объемная закалка с 900°C с отпуском 430°C	
Торсион капота автомобиля	50–54 HRC			45ХН2МФА	Объемная закалка с 870°C с отпуском 350°C
Коленчатый вал	52–62 HRC		3,5–6,5	45	Закалка ТВЧ
Скользящие вилки кардана	42–56 HRC	2,6–4,6		Закалка с отпуском 190°C	
Поршневые кольца	60–62 HRC	3–5	55	Закалка ТВЧ	
Шаровые кольца	≥ 56 HRC	2,0–2,5	55, 40Х	Закалка сферы	
Коромысла клапанов	56 62 HRC	≥ 2	45 (50 ПП)	Закалка бойка	

Таблица 9.2

Типичные примеры применения ХТО и восстановленных деталей машин

Детали	ХТО	Термическая обработка	Материал	Твердость поверхности, HRC
Валы, пиноли и гильзы, шпиндели, зубчатые колеса, детали ручного тормоза (собачки, щеки, сухари и др.) кольца вкладыши, золотники, детали передней подвески, ведомые и ведущие шестерни детали рулевого управления	Цементная	Закалка с низким отпуском (толщина упроченного слоя 0,8–1,6 мм)	Сталь 15, 20, 20Х, 18ХГТ, 12ХН3А, 15ХГТН2ТА, 20ХН2ТА, 25ХГТ, 30ХГТ, 25ХГНМ	56–62
Винты передач винт-гайка, гильзы, шпиндели, червяки, накладные направляющие, зубчатые колеса	Азотирование	Улучшение (закалка с высоким отпуском до азотирования)	20ХЗМВФ, 30ХЗМФ, 38Х2МЮА, 40ХФА	60–68
Зубчатые колеса, втулки, шайбы, детали тормозной аппаратуры силовых агрегатов (червяки, шестерни), шаровые пальцы, вкладыши, золотники, крестовины, сателлиты, валы коробки перемены передач	Нитроцементация	Закалка с низким отпуском	08, 10, 20, 35, 25ХГТ, 25ХГМ, 20ХГНТР	58–62
Пальцы, втулки гусениц тракторов, втулки насосов, детали пресс-форм и др.	Борирование		Среднеуглеродистые и легированные стали с $\geq 0,4\% \text{ C}$	2000HV

Таблица 9.3

**Режимы окончательной термической обработки изделий
из рессорно-пружинной стали**

Марка стали	Закалка		Температура отпуска, °С	Твердость, HRC
	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда		
55	785...820	Вода	420...450	35...42
65	785...810	Масло	250	52...54
			400	45
75	780...820		500	37
85	770...800		375	40...46
65Г	790...810		380...420	42...47
50ХФА	840...870		375...420	42...50
60С2			400...475	43...48
60С22ВА	840...860		450	Не определяется
60С2Н2А	830...850		400...430	

Таблица 9.4

**Режимы окончательной термической обработки
нержавеющей стали**

Марка стали	Закалка		Температура отпуска, °С	Твердость, HRC
	Температура нагрева, °С	Охлаждающая среда		
10Х13	950–1050	Масло	500–600	Не определяется
20Х13			500	
30Х13			200–225	48–50
40Х13	1000–1050		200–300	50–55
			550–600	Не определяется
12Х18Н9Т	1050		Воздух	Не определяется

Контрольные вопросы и задания к главе 9

1. Что понимают под упрочнением деталей? 2. В чем сущность упрочнения деталей поверхностным деформированием. 3. Опишите способы поверхностного упрочнения деталей? 4. В чем состоит процесс термической обработки металлов сплавов? 5. Перечислите виды термической обработки, их режимы и назначение? 6. Виды закалки и их применение. 7. Что такое отжиг и отпуск их назначение? 8. В чем сущность химико-термической обработки. Цель химико-термической обработки. 9. Виды химико-термической обработки и их применение для упрочнения деталей?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии изложены основные способы восстановления и упрочнения деталей машин, применяемых в ремонтном производстве, возможности их использования при проведении ремонтных работ на предприятиях, станциях технического обслуживания автомобилей и сельскохозяйственной техники. Пособие является дополнительным источником при изучении вопросов технологии ремонта, выборе и назначении технологии восстановления изношенных деталей и упрочнения как новых, так и восстановленных различными способами деталей. При рассмотрении современных способов восстановления в пособие внесены результаты научных исследований авторов, проведенных на кафедре технического сервиса и ремонта машин Пермского ГАТУ.

В результате изучения настоящего пособия студенты и аспиранты должны получить ясные представления о современных способах восстановления и упрочнения изношенных деталей машин. Кроме того, они должны составить себе четкое представление об областях применения этих способов.

Учебное пособие может быть рекомендовано для студентов, изучающих дисциплины, связанные с технологией ремонта различной техники и оборудования, а также при выполнении курсовых проектов и выпускных квалификационных работ. Может быть использовано инженерно-техническими работниками и специалистами, занимающимися ремонтом сельскохозяйственной техники.

ГЛОССАРИЙ

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

Упрочнение деталей – это повышение сопротивляемости элементов этих деталей разрушению, остаточной деформации или изнашиванию. Цель восстановительного производства деталей заключается в экономически эффективном восстановлении их надежности в результате наиболее полного использования остаточной долговечности составляющих элементов.

Остаточная долговечность деталей – это потенциальная долговечность изношенных деталей, которая может быть использована после восстановления.

Надежность – комплексное свойство, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения включает безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или сочетание этих свойств.

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

Долговечность – свойство детали сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для восстановления. Показателями долговечности служит ресурс и срок службы.

Ресурс – это наработка детали до предельного состояния.

Срок службы – календарная продолжительность ее эксплуатации до исчерпания ресурса.

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

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батищев, А.Н. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники / А.Н. Батищев, И.Г. Голубев, В.П. Лялякин. – М. : Информагротех, 1995. – 296 с.
2. Башков, Г.П. Выглаживание восстановленных деталей. – М. : Машиностроение, 1979. – 8 с.
3. Бороненков, В.Н. Основы дуговой металлизации / В.Н. Бороненков, Ю.С. Коробов. – Екатеринбург: Университетское издательство, 2012. – 268 с.
4. Воловик, Е.А. Справочник по восстановлению деталей / Е.А. Воловик. – М. : Колос, 1981. – 351с.
5. Восстановление деталей машин : справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.]; под ред. В.П. Иванова. – М. : Машиностроение, 2003. – 672 с.
6. Горохов, В.А. Технология, оснащение и организация ремонтно-восстановительного производства : учебник / В.А. Горохов, В.П. Иванов, Л.Г. Схиртладзе, В.П. Борискин, под ред. В.П. Иванова. – Старый оскол, ТНТ, 2016. – 550 с.
7. Горчаков, А.И. Кинетика формирования покрытий увеличенной толщины на сплавах алюминия при микродуговом оксидировании / А.И. Горчаков, Ю.В. Щербаков, Н.М. Бородин // Труды Междунар. науч.-практич. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. профессора Д. Г. Вадивасова. – Саратов : Саратовский ГАУ, 2009. – С. 89 – 92.
8. Кудинов, В.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование : учебник для вузов / В.В. Кудинов, Г.В. Бобров. – М. : Metallургия, 1992. – 432 с.
9. Микотин, В.Я. Технология ремонта сельскохозяйственных машин и оборудования / В.Я. Микотин. – М. : Академия, Колос, 2000. – 365 с.
10. Технология восстановления и упрочнения деталей машин / под ред. М. И. Юдина, В.П. Лялякина. – Краснодар, 2000. – 352 с.
11. Технология ремонта машин: учебник для вузов / Е.А. Пучин, В.Е. Новиков, Н.А. Очковский [и др.]; – М. : КолосС, 2007. – 488 с.
12. Технология конструкционных материалов : учебник / А. И. Дальский, И. А. Арутюнова, Т. И. Барсукова [и др.]; под ред. А. И. Дальского. – М. : Машиностроение, 1985. – 448 с.
13. Устройство для микродугового оксидирования вентильных металлов: пат. 117443 Российской Федерации МПКС25D11/02 / А. И. Горчаков, Ю. В. Щербаков, Н. М. Бородин, А. М. Кашфуллин; заявитель и патентообладатель Пермская ГСХА. – № 2010145323/02; заявл. 08.11.11; опубл. 27.06.12, Бюл. № 8. – 4 с.
14. Черноиванов, В. М. Организация и технология восстановления деталей машин / В. И. Черноиванов, В. П. Лялякин, И. Г. Голубев. – М. : ФГБНУ, Росинформагротех, 2016.– 568 с.
15. Щербаков, Ю. В. Активированная дуговая металлизация как метод восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственных машин / Ю. В. Щербаков, А. М. Кашфуллин // Инновации аграрной науки – предприятиям АПК. – Пермь : Пермская ГСХА, 2012. – С. 141-145.
16. Щербаков, Ю. В. Краткие рекомендации по механической обработке деталей сельскохозяйственной техники, восстановленной автоматической наплавкой и осталиванием / Ю. В. Щербаков, Мальцев Г. М., Башков Г. П., Зильберман Г. М. – Пермь, 1973. – 20 с.
17. Щербаков, Ю. В. Современные способы восстановления деталей машин: учебное пособие / Ю. В. Щербаков, А. И. Горчаков. – Пермь : ПГСХА, 2002. – 139 с.

Учебное издание

Щербаков Юрий Васильевич, **Кашфуллин** Артур Миннахматович

**СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

Учебное пособие

Подписано в печать 23.04.2018 г. Формат 60×80 ¹/₁₆
Усл. печ. л. 11,94. Тираж 50 экз. Заказ № 61.

ИПЦ «*ПрокростЪ*»

Пермского государственного аграрно-технологического университета
имени академика Д.Н. Прянишникова
614990, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23
Тел. (342) 217-95-42