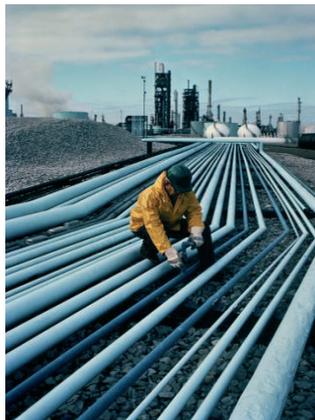


Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Институт машиностроения
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

В.В. Ельцов



ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Электронное учебное пособие

УДК 621.791+621.78
ББК 34.641+34.65

Рецензент:

д-р техн. наук, профессор Волжского университета
им. В.Н. Татищева *С.В. Краснов*.

Ельцов, В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин : электронное учеб. пособие / В.В. Ельцов. — Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. — 1 оптический диск.

В учебное пособие включены разделы, связанные с классификацией восстанавливаемых изделий, рассмотрены характеристики их дефектов. Дано представление о сущности различных способов восстановления и упрочнения изделий из конструкционных материалов. Приведены способы упрочнения и восстановления геометрии поверхности изделий, а также различные способы повышения износостойкости деталей машин. Рассмотрены конкретные примеры восстановления деталей автомобилей и тракторов. Обобщены материалы собственных исследований автора, а также других исследователей и практиков.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки магистров 15.04.01 «Машиностроение» и занимающихся исследованиями в области реновации и инженерии поверхностей. Рекомендуется также для помощи в усвоении читаемого курса студентам направления 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство» (бакалавр) всех форм обучения.

Текстовое электронное издание

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; Adobe Reader.

© ФГБОУ ВПО «Тольяттинский
государственный университет», 2015

Редактор Г.В. Данилова
Технический редактор З.М. Малявина
Компьютерная верстка: Л.В. Сызганцева
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: Г.В. Карасева

Дата подписания к использованию 26.12.2014.

Объем издания 7,4 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-81-13.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14
тел.: 8(8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	6
Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ РЕМОНТА И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	10
1.1. История развития ремонтных технологий.....	10
1.2. Комплексная характеристика способов восстановления и упрочнения поверхностей деталей.....	16
1.3. Классификация деталей, подлежащих восстановлению. Дефекты деталей.....	38
1.4. Подготовка деталей к ремонтно-восстановительному процессу. Выбор способа восстановления и упрочнения поверхностей.....	45
Глава 2. СПОСОБЫ МЕХАНИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ.....	56
2.1. Холодная и горячая правка металла.....	56
2.2. Упрочнение и восстановление деталей пластическим деформированием.....	63
2.3. Ультразвуковое упрочнение деталей машин.....	75
2.4. Восстановление деталей слесарно-механической обработкой.....	80
Глава 3. НАПЛАВКА И РЕМОНТНАЯ СВАРКА.....	85
3.1. Классификация способов наплавки. Преимущества и недостатки технологии наплавки.....	85
3.2. Электродуговые способы наплавки. Ручная дуговая наплавка.....	90
3.3. Наплавка под флюсом, в защитных газах и порошковой проволокой.....	95
3.4. Плазменная и плазменно-порошковая наплавка.....	113
3.5. Наплавка токами высокой частоты (индукционная).....	122
3.6. Наплавка трением. Электроконтактная наварка	129
3.7. Ремонтная сварка литых деталей из чугуна, магниевого и алюминиевого сплавов.....	137
3.8. Газовая сварка и наплавка стальных деталей. Заварка трещин.....	171
3.9. Вибродуговая наплавка.....	179

Глава 4. НАПЫЛЕНИЕ И МЕТАЛЛИЗАЦИЯ	185
4.1. Газопламенное и детонационное напыление	185
4.2. Плазменное напыление	197
4.3. Металлизация (электродуговая, газовая)	204
4.4. Вакуумное напыление	211
4.5. Электроискровое наращивание и легирование.....	227
Глава 5. ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ	236
5.1. Основные виды термической обработки.....	236
5.2. Характеристика основных видов химико- термической обработки	244
Глава 6. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	252
6.1. Гальванические покрытия поверхности деталей.....	252
6.2. Электрохимическое микродуговое оксидирование.....	258
Глава 7. ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ ...	263
7.1. Ремонт кузовных деталей, рам и кабин сваркой	263
7.2. Технология восстановления деталей агрегатов автомобиля и трактора	272
7.3. Технология восстановления деталей двигателя.....	292
7.4. Восстановление деталей автомобилей с использованием синтетических материалов.....	314
Библиографический список.....	321
Глоссарий.....	324
Приложение 1.....	327
Приложение 2.....	331

ВВЕДЕНИЕ

Для освоения студентами дисциплин «Технологические методы восстановления и упрочнения деталей машин» и «Ремонт и упрочнение деталей автомобилей», предусмотренных учебными планами направлений подготовки 150700.68 «Машиностроение» и 190600.62 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» по профилю «Автомобили и автомобильное хозяйство» (бакалавр) всех форм обучения, разработано настоящее учебное пособие. На вопрос студентов: «Зачем нам это знать (изучать)?» – можно ответить так.

Во-первых, мировые тенденции в области машиностроения, а также при производстве и эксплуатации транспортных средств связаны с развитием энерго- и ресурсосберегающих технологий, одной из которых является восстановление и упрочнение изношенных деталей.

Во-вторых, практически любое предприятие, в том числе автотранспортные, на которых выпускники перечисленных направлений подготовки будут вести трудовую деятельность, имеет в своей структуре цех (участок) ремонта, где, как правило, ремонтно-восстановительные технологии занимают не последнее место, и знание информации из предлагаемого курса и умелое ее использование гарантирует им статус компетентных специалистов.

• *Каковы обязательные условия для освоения указанных курсов?*

Для их изучения какие-либо специальные условия не требуются. Нужно умение пользоваться компьютером в рамках пользователя для выполнения виртуальных лабораторных или практических работ и работы в сети Интернет для отыскания полезной информации в рамках самостоятельной работы по учебному плану.

Цели:

1) способствовать формированию профессиональной компетенции ПК-1, предусмотренной ФГОС для магистерских программ 150700.68 «Машиностроение», а именно способности разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, систем и нестандартного оборудования, средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку;

2) способствовать формированию профессиональной компетенции ПК-3, предусмотренной ГОС для бакалавров, а именно уметь разрабатывать техническую документацию и методические материалы, предложения и мероприятия по осуществлению технологических процессов ремонта узлов и отдельных элементов транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения.

Задачи:

- 1) дать представление о методах, материалах и оборудовании для восстановления и упрочнения деталей машин и механизмов;
- 2) привить навыки составления карт технологических процессов восстановления и упрочнения поверхностей электродуговыми способами;
- 3) развить умения принятия обоснованных решений при разработке технической и технологической документации.

В результате изучения курса студент должен:

• *знать:*

- сущность технологических процессов, применяемых для реновации изделий и инженерии поверхностей;
- характеристики дефектов изделий и методы их устранения;
- способы, устройства и материалы для восстановления и упрочнения деталей и узлов автомобилей, тракторов;
- преимущества и недостатки способов восстановления геометрии изделий и устранения дефектов;

• *уметь:*

- выбирать наиболее эффективный метод ремонта и упрочнения детали какого-либо узла или агрегата транспортно-технологического комплекса;
- выбирать требуемый материал для восстановления и упрочнения поверхности детали;
- определять характеристики детали на ремонтную пригодность;
- составлять карты технологического процесса ремонтной сварки, наплавки, нанесения покрытия на поверхности изделий;
- выдавать необходимые рекомендации и принимать обоснованные решения в ремонтно-восстановительном процессе;

- *владеть* способностью разрабатывать технологии, выбирать способы, оборудование и материалы для восстановления эксплуатационных свойств изношенных деталей и упрочнения поверхностей изделий, подвергаемых различного вида износу.

Содержание курса

- *Что студенты уже знают из того, что относится к данному предмету, как можно это использовать?*

Студенты, приступая к изучению курса, уже имеют представление о конструкции автомобилей, устройстве двигателей внутреннего сгорания, условиях эксплуатации автомобилей и тракторов АТП. Они знают конструкционные материалы, из которых изготавливают все детали и узлы транспортных средств, умеют определять причины отказа того или иного агрегата автомобиля. Эти знания и умения можно использовать в предлагаемом курсе, в той его части, которая касается определения вида и степени износа автомобильных деталей для выбора способа восстановления или упрочнения детали, а также для назначения наплавочного материала для конкретной технологической операции восстановления эксплуатационных свойств изделия.

- *Как учебное пособие соотносится с другими курсами по данному предмету?*

Учебное пособие связано с дисциплинами «Основы технологии производства и ремонта автомобилей» и «Организация процессов технического обслуживания и ремонта автомобилей» учебного плана подготовки бакалавров, являясь их логическим продолжением в плане получения и углубления знаний и приобретаемых компетенций в области реновации и инженерии поверхностей деталей и узлов автомобильного транспорта. Этот курс полезен студентам с практической точки зрения, поскольку ремонтная сварка и наплавка являются основными методами восстановления геометрических размеров, а химико-термическая обработка, нанесение покрытий на поверхности и другие методы упрочнения повышают эксплуатационные свойства изношенных деталей.

• *Как распределяются основные темы?*

Учебное пособие включает семь разделов.

1. Общие сведения о процессе ремонта и упрочнения деталей машин.
2. Способы механического упрочнения и восстановления изделий.
3. Наплавка и ремонтная сварка.
4. Напыление и металлизация.
5. Термическая и химико-термическая обработка деталей.
6. Электрохимические способы упрочнения деталей машин.
7. Типовые технологии восстановления и упрочнения деталей автомобилей и тракторов.

Логика распределения материала курса подчинена дедуктивному методу. Сначала следуют общие сведения о процессах, устройствах и материалах, применяемых для реновации и инженерии поверхностей, а затем рассматривается их использование в отдельных случаях для ремонта деталей автомобилей и тракторов.

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ РЕМОНТА И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1.1. История развития ремонтных технологий

В России практической ремонтной сваркой и наплавкой с 1887 года занимался инженер Н.Г. Славянов. В 1891 году он получил привилегии (патенты) № 86 и 87 на способ электрического уплотнения металлических отливок и способ электрической отливки металлов, в 1890—1892 годах — патенты на свое изобретение во Франции, Англии, Австро-Венгрии, Бельгии, Германии, США, Швеции, Италии. За границей сразу высоко оценили все преимущества электрической сварки. Для ремонтной сварки Н.Г. Славянов выбирал такие детали, которые можно было проверить в работе после ремонта, например, ступенчатые шкивы от токарных станков, зубчатые колеса, маховики от сверлильных станков. В 1907 году Н.Г. Славянов успешно применил ремонтную сварку для восстановления станины мощного пресса на одном из заводов Санкт-Петербурга.

Появление технологии наплавки за рубежом относится к 1896 году, когда английский инженер М. Спенсер получил патент на это изобретение.

Промышленное применение ремонтной сварки и наплавки в США началось несколько позднее. В частности, в 1922 году братья Студди впервые осуществили наплавку коронок нефтяного бура способом газовой сварки с использованием присадочного материала в виде стальной трубки, заполненной хромовым сплавом. Примерно в это же время была осуществлена наплавка клапанов двигателя внутреннего сгорания с помощью изобретенного инженером Д. Хейнзом (США) сплава — стеллита. В первое время для наплавки использовали газовую сварку, но впоследствии с развитием новых источников тепла стали применять и другие методы наплавки.

Начало автоматической наплавки относится к 1939 году, когда советские специалисты Г.П. Михайлов и В.А. Ларионов осуществили наплавку с помощью покрытых электродов прямоугольного сечения. В настоящее время ее широко используют для нанесения коррозионно-стойкого покрытия на сосуды высокого давле-

ния атомных реакторов, для упрочнения валков прокатных станков и других крупногабаритных изделий. В Японии исследования в области наплавки были начаты в 1955 году.

Наплавка сыграла большую роль в деле увеличения производительности труда, повышения качества продукции и экономии сырья при производстве промышленного оборудования, его эксплуатации и ремонте. В дальнейшем предстоит освоение новых разработок по созданию сварочных материалов, обладающих высокими технологическими и эксплуатационными характеристиками, и высокопроизводительного оборудования.

Экономические и технологические предпосылки возникновения ремонтных технологий

Изготовление новых деталей, а также восстановление изношенных и поврежденных составляет значительную часть расходов ресурсов при ремонте машин. Так, даже на специализированных заводах они доходят до 50 % стоимости и 40 % трудоемкости ремонта машин. Поэтому сокращение расходов – важная задача, одним из путей ее решения является восстановление дефектных деталей. Типичные дефекты деталей и сборочных единиц:

- нарушение посадки между сопряженными поверхностями;
- нарушение размеров, геометрической формы и относительного положения в пространстве поверхностей деталей;
- ухудшение свойств материала;
- ухудшение внешнего вида.

Задача восстановления дефектных сопряжений и деталей состоит в возврате утраченных свойств: посадки, формы, относительного положения в пространстве поверхностей, свойств материала и внешнего вида детали. Восстановить посадку между сопряженными поверхностями деталей можно следующими методами:

- 1) обработкой изношенной поверхности одной детали и заменой сопряженной детали (способ ремонтных размеров);
- 2) применением дополнительной ремонтной детали (компенсатора износа);
- 3) восстановлением первоначальных размеров сопряженных поверхностей деталей.

Восстановить деталь или ее отдельные поверхности можно следующими методами:

- 1) наращиванием на дефектную поверхность детали другого материала (осуществляют наплавкой металлических и полимерных материалов, напылением, электролитическим и химическим осаждением и др.);
- 2) перемещением посредством пластической деформации материала детали с одного участка к другому, изношенному (осуществляют осадкой, раздачей, обжатием, вытяжкой и накаткой);
- 3) восстановлением целостности тела детали (способы включают сварку, пайку и склеивание);
- 4) снятием (удалением) материала с поверхности детали (включают обточку, шлифование и фрезерование);
- 5) восстановлением относительного положения поверхностей детали в пространстве (включают статическое нагружение, чеканку, местный нагрев).

Экономическая целесообразность ремонта обусловлена тем, что около 45 % деталей машин, поступающих в ремонт, изношены в допустимых пределах и могут быть использованы повторно, а около половины деталей могут быть использованы после восстановления при его себестоимости 15...30 % цены новых деталей. Только 5...9 % деталей не подлежат восстановлению [3]. Восстановление деталей является основным источником экономической эффективности ремонта, технически обоснованным и экономически оправданным мероприятием.

Восстановление деталей позволяет ремонтно-обслуживающим предприятиям сократить время простоя машин в ремонте, повысить качество их технического обслуживания, положительно влияет на улучшение показателей надежности и использования машин. Установлено, что 85 % деталей теряют работоспособность при износе, не превышающем 0,2...0,3 мм. Это подтверждают значительные размеры ремонтного фонда и целесообразность его восстановления.

Во времена регулируемой советской экономики проводилась планомерная работа по созданию производств, занимающихся восстановлением деталей. Эта работа была тесно увязана с развитием ремонтной базы страны. Солидная финансовая поддержка со стороны

государства обеспечивала динамику роста объемов восстановления на ремонтных предприятиях (табл. 1). Лучшие показатели были достигнуты в 1986 году, когда удельный вес восстановленных деталей в общем объеме поставок новых запасных частей составлял до 19 %.

В настоящее время удельный вес восстановленных деталей в общем объеме поставок новых запасных частей, только по данным АПК, составляет около 8 %.

Таблица 1

Восстановление деталей на ремонтных предприятиях
в 1985–1990 гг.

Показатель	Год					
	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Объем восстановления, млн руб.	550	574,8	554,4	539,5	442,9	483
Экономия металла, тыс. т	1100	1120	1110	1110	880	890
Содержание восстановленных деталей в общем объеме поставок запасных частей, %	17,9	19,0	18,0	17,5	15,6	16,0

Уместно привести сведения о восстановлении деталей за рубежом. В Японии, восстанавливая изношенные детали, удовлетворяют до 40 % потребности в запасных частях, в США, Германии, Австрии – до 30...35 %.

В экономически развитых странах на рынке запасных частей восстановленные детали преобладают, они в 1,5...2,5 раза дешевле новых, а по ресурсу, как правило, не уступают им. Это достигается прежде всего за счет участия в ремонте фирм, производящих машины, и специализированных фирм по восстановлению изношенных деталей. Например, на мотороремонтном заводе английской фирмы «Бинз Индастриз Лимитед» ремонтируют ежегодно около 60 тыс. двигателей автомобилей «Форд» и восстанавливают блоки цилиндров, головки блоков, коленчатые и распределительные валы, шатуны, гильзы и другие дорогостоящие детали. Аналогично поставлено восстановление деталей на ремонтных заводах компании «Перкинс» и др. Примером современного организационного и технологического уровня восстановления деталей может служить швейцарская компания Castolin-Eutectic, имеющая дочерние предприятия

в странах Европы и США. Разработку технологий, оборудования и материалов, документации на восстановление деталей проводят в исследовательском центре, насчитывающем около двух тысяч специалистов, а также в исследовательских лабораториях, находящихся в различных странах.

Необходимо особо отметить экономическую эффективность восстановления деталей, исключая экологически разрушительный и энергоемкий металлургический процесс производства. Поэтому при восстановлении 1 т стальных деталей экономят 180 кВт·ч электроэнергии; 0,8 т угля; 0,8 т известняка; 175 м³ природного газа. Стоимость восстановленных деталей существенно ниже стоимости новых деталей, так как для восстановления работоспособности изношенных деталей требуется на 5...8 технологических операций меньше по сравнению с изготовлением новых деталей.

Очень эффективна электродуговая наплавка при восстановлении крупногабаритных деталей (промежуточных опор тракторов Т-150 и К-700, опорных катков гусеничных тракторов, деталей сцепных устройств автомобилей и тягачей, шкворней, корпусных деталей КПП и двигателей автомобилей и др.). При вложении в наплавочные процессы затрат на 1 руб. можно получить экономию до 4...5 руб.

Проблема подготовки производства и организации восстановления деталей является более сложной по сравнению с изготовлением новых деталей. Детали, поступающие на восстановление, имеют деформации, изношенные базы, остаточную термообработку, трещины и пониженную усталостную прочность. Все это требует детального изучения и учета при разработке технологических процессов. Несмотря на это, восстановление и упрочнение деталей позволяет возобновить ресурс машины, а в некоторых случаях значительно его повысить. Исследования показывают, что восстановлением и упрочнением сопряжений деталей можно увеличить их ресурс в 2,5 раза.

Результаты внедрения ресурсосберегающих технологий восстановления и упрочнения деталей машин на предприятиях агропромышленного комплекса, по данным ВНИИТУВИД «Ремдеталь», представлены в табл. 2.

Таблица 2

Эффективность восстановления деталей в 1998–2005 гг.

Показатель	Значение показателя		
	1998	2000	2005
Объем восстановленных деталей на предприятиях АПК, млн руб.	213	639	1055
Экономия металла, тыс. руб.	425	1270	2125
Удельный вес восстановленных деталей, %	7	8	25

Предполагается, что в 2011–2013 гг. стоимость восстановленных деталей сохранится на уровне 35...50 % стоимости новых деталей; ресурс восстановленных деталей составит 85...95 %, а ресурс деталей, восстановленных с использованием упрочняющих технологий, – 120...150 %.

Развитие производства по восстановлению изношенных деталей сократит расходы на обслуживание стареющего парка машин и содержание техники в работоспособном состоянии.

Согласно исследованиям специалистов ВНИИТУВИД «Рем-деталь», необходимо развивать два приоритетных направления, в которых проблема восстановления деталей должна занять должное место [3].

1. Восстановление или создание новых участков в АТП по ремонту топливной аппаратуры, гидроагрегатов, коробок передач и других агрегатов. Эти участки должны обеспечивать отремонтированными агрегатами весь автотракторный парк предприятия.

2. Модернизация на промышленной основе имеющегося парка машин на специализированных ремонтных заводах и в мастерских. Там в первую очередь должно превалировать в массовом порядке восстановление корпусных деталей, в том числе восстановление их опорных поверхностей.

1.2. Комплексная характеристика способов восстановления и упрочнения поверхностей деталей

Восстановление 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 уровня свойств, изменившихся за время длительной эксплуатации.

Упрочнение деталей — это повышение сопротивляемости элементов этих деталей разрушению, остаточной деформации или изнашиванию.



Рис. 1.1. Способы восстановления и упрочнения поверхностей деталей

Для восстановления изношенных деталей машин и аппаратов, а также для упрочнения и нанесения слоев на поверхность деталей с особыми свойствами в промышленности применяют различные способы.

- *Электролитическое металлопокрытие* — осаждение металла с образованием покрытия на поверхности изделия при пропускании тока между анодом и катодом, например: никелирование, хромирование.

Хромирование — нанесение хрома или его сплава на металлическое изделие для придания поверхности комплекса физико-химических свойств: коррозионной стойкости, износостойкости, жаростойкости, высоких механических и электромагнитных свойств. В зависимости от характера взаимодействия поверхности изделия

с хромом процесс хромирования осуществляется различными способами, среди которых наиболее распространены электролитический и диффузионный.

Электролитическое хромирование – наиболее распространённый гальванический процесс, вошедший в промышленную практику в 20-х гг. XX века. Хромированию подвергают преимущественно изделия из стали и чугуна, а также из сплавов на основе меди, цинка, никеля и алюминия. Хромовое покрытие характеризуется высокой химической стойкостью, обусловленной способностью хрома пассивироваться. Из-за трудностей получения тонкого беспористого покрытия надёжная защита от коррозии может быть достигнута при нанесении более экономичного трёхслойного защитно-декоративного покрытия медь-никель-хром (толщина слоя хрома 1 мкм). Осажденный на предварительно отполированную поверхность хром имеет зеркальный блеск и серебристый с синеватым отливом цвет. Для предотвращения коррозии и придания декоративного вида хромируют многие детали автомобилей, велосипедов, трамвайных и железнодорожных вагонов, измерительных приборов, счетных и пишущих машин, часов, паро- и водопроводной арматуры, медицинские инструменты и т. д. Другое ценное свойство хромового покрытия – высокое сопротивление механическому износу. Для повышения поверхностной твёрдости и износостойкости хромируют трущиеся детали, например цилиндры двигателей внутреннего сгорания, поршневые кольца, калибры. В этих случаях наносят покрытия толщиной более 1 мм. Разработан способ «пористого хромирования», заключающийся в анодной обработке хромированных деталей, при котором в покрытии формируются поры, удерживающие смазку. Иногда стальные изделия подвергают комбинированному хромированию, обеспечивающему как защиту металла от коррозии, так и высокое сопротивление износу. Главный компонент электролита при электролитическом хромировании – хромовая кислота.

Никелирование – нанесение на поверхность изделий никелевого покрытия (толщиной, как правило, от 1...2 до 40...50 мкм). Никелированию подвергаются преимущественно изделия из стали и сплавов на основе Cu, Zn и Al; реже – изделия из Mg, Ti, W, Mo и сплавов на их основе; разработаны способы нанесения никеля на

неметаллической поверхности — керамику, пластмассы, бакелит, фарфор, стекло и др. Никелирование применяется для защиты изделий от коррозии (в атмосферных условиях, в растворах щелочей, солей и слабых органических кислот), повышения износостойкости деталей, а также в защитно-декоративных целях.

Наиболее распространенными способами являются электролитическое и химическое никелирование. Чаще никелирование (так называемое матовое) производится электролитическим способом. Наиболее изучены и устойчивы в работе серноокислые электролиты. При добавлении в электролит специальных блескообразователей осуществляется так называемое блестящее никелирование. Электролитические покрытия обладают некоторой пористостью, которая зависит от тщательности подготовки поверхности основы и от толщины покрытия. Для защиты от коррозии необходимо полное отсутствие пор, поэтому обычно производят предварительное меднение или наносят многослойное покрытие, которое при равной толщине надёжнее однослойного (например, стальные изделия часто покрывают по схеме Cu — Ni — Cr). Недостатками электролитического никелирования являются неравномерность осаждения никеля на рельефной поверхности и невозможность покрытия узких и глубоких отверстий, полостей и т. п.

Никелирование используется, например, для покрытия деталей химической аппаратуры, автомобилей, велосипедов, медицинского инструмента, приборов, предметов домашнего обихода, измерительного инструмента, клише, а также деталей, эксплуатируемых с небольшими нагрузками в условиях сухого трения. Никелевые покрытия с течением времени несколько теряют свой первоначальный блеск. Поэтому часто слой никеля покрывают более стойким слоем хрома.

• *Химическое металлопокрытие — образование покрытия за счет осаждения ионов металла из водного раствора без применения электрического тока.*

Впервые металлическое покрытие методом химического восстановления было получено Ю. Либихом в 1836 году. Он осуществил химическое серебрение стекла и впоследствии разработал технологию процесса серебрения, которая получила промышленное приме-

нение. Покрытия такого типа известны в литературе как химические покрытия.

Отличительной особенностью химических покрытий является высокая равномерность их осаждения по всей поверхности. Благодаря низкой пористости такие покрытия обладают высокой защитной способностью, что имеет важное значение при их эксплуатации. Например, никелевое покрытие с успехом применяют для защиты от коррозии энергетического оборудования, работающего при температуре 600...650 °С в газовой среде, для покрытия магниевых и титановых деталей вертолетных роторов, а также алюминиевых зеркал, используемых на спутниках в условиях космоса. Оно применяется для защиты от коррозии хирургических инструментов и деталей часов.

В последние десятилетия химический способ нанесения покрытий находит применение для металлизации диэлектриков, придавая поверхности электропроводящие свойства. В частности, металлизированные пластмассы обладают химической устойчивостью, износостойкостью, теплостойкостью и механической прочностью, имеют декоративный вид и устойчивы к свету. Благодаря этим свойствам металлизированная пластмасса широко используется в автомобиле- и приборостроении. Из декоративно-металлизируемых пластмасс изготавливают фурнитуру для мебели, бижутерию, игрушки и другие бытовые изделия.

Существует несколько способов химического осаждения металлических покрытий из водных растворов: 1) контактный; 2) контактно-химический; 3) метод химического восстановления.

Контактный способ основан на вытеснении ионов металла из раствора более активным металлом. Сущность способа заключается в следующем: покрываемый металл погружается в раствор, содержащий соль более электроположительного металла, и покрытие в этом случае осаждается за счет разности потенциалов, возникающей между покрываемым металлом и ионами, находящимися в растворе. Примером может быть хорошо известная из школьного курса реакция омеднения железного гвоздя, помещенного в раствор сульфата меди.

Контактно-химический способ осаждения металлов заключается в создании гальванической пары между металлом основы и более ак-

тивным металлом. Так, при осаждении серебра на медную основу создают гальваническую пару с помощью более активного металла алюминия или магния. В этом случае более активный металл отдает свои электроны меди и на отрицательно заряженной медной поверхности ионы Ag^+ восстанавливаются до металла. Рассмотренный процесс используют при нанесении серебряного покрытия на волноводные трубы и изделия сложной конфигурации из меди и её сплавов.

Метод химического восстановления (химическая металлизация) заключается в том, что металлические покрытия получают в результате восстановления ионов металла из водных растворов, содержащих восстановитель. В первых двух методах осаждение покрытия основано на принципе обмена электронами между двумя металлами. В случае метода химического восстановления необходимые для восстановления металла электроны получаются за счет применяемого восстановителя.

Покрытия, получаемые методом погружения, очень тонкие, обычно их толщина составляет доли микрометра и поэтому защитными свойствами не обладают. Такие покрытия используются в качестве подслоя при гальванической металлизации, для обеспечения процесса пайки и т. д. Методом химического восстановления и контактно-химическим получают покрытия значительной толщины – 5...30 мкм и более, пригодные для защиты от коррозии. Из химических способов нанесения покрытия нашли широкое промышленное применение никелирование, омеднение и серебрение.

• ***Горячее металлопокрытие погружением – образование покрытия путем погружения изделия в ванну расплавленного металла.***

Цинкование. Среди многочисленных процессов нанесения защитных покрытий на стальные и чугунные изделия цинкование занимает одно из ведущих мест. По объему и номенклатуре защищаемых от коррозии изделий цинковым покрытиям нет равных среди других металлических покрытий. Это обуславливается многообразием технологических процессов цинкования, их относительной простотой, возможностью широкой механизации и автоматизации, высокими технико-экономическими показателями. Практический опыт показывает, что особо жесткими условиями эксплуатации характеризуются нефтедобывающая отрасль, судостроение и морс-

кой флот, нефтеперерабатывающая и автомобильная промышленность. В связи с этим представляет большой практический интерес использование в этих условиях эксплуатации защитных цинковых покрытий нового поколения. Анализ свойств цинковых покрытий и условий эксплуатации различных металлоконструкций и трубопроводов в указанных выше областях промышленности показывает, что покрытие для использования в этих условиях должно обладать не только повышенной коррозионной стойкостью, но быть также устойчивым к абразивному износу и иметь высокую степень сцепления с поверхностью защищаемого изделия. Например, для труб нефтяного сортамента с нарезными концами покрытие должно не только защищать от коррозии, но и обеспечивать резьбовому соединению труб высокую износостойкость и герметичность. Сравнение основных свойств и результатов коррозионных испытаний различных цинковых покрытий показывает, что для жестких условий эксплуатации наиболее подходят диффузионные цинковые покрытия, которые наносят на изделия путем их химико-термической обработки в порошковых смесях на основе цинка или в расплаве цинка методом горячего цинкования.

Одним из важнейших свойств защитных покрытий является прочность сцепления их с поверхностью покрываемого изделия. При соблюдении технологии нанесения покрытия сцепление цинкового покрытия, полученного в расплаве цинка, определяется главным образом температурой расплава цинка и продолжительностью взаимодействия расплавленного цинка с поверхностью покрываемого изделия, например трубы. Эти параметры определяют степень проникновения атомов цинка в стальную подложку покрываемого изделия и в конечном итоге степень сцепления покрытия с подложкой. Известно, что время контакта стальных изделий, например труб, при горячем цинковании составляет от 30...45 секунд до 1,0...2,0 минуты, однако при этом атомы цинка не глубоко проникают в покрываемое изделие и степень сцепления образующегося цинкового покрытия с подложкой невелика.

Алюминирование. По данным различных исследований, алюминиевое покрытие примерно в 6 раз устойчивее цинкового при одинаковом весе и в 2,5 раза при одинаковой толщине покрытия.

Из всех методов погружения в расплавленный металл алюминирование получило в США промышленное применение еще в тридцатые годы прошлого столетия. В настоящее время этот процесс широко распространен во многих странах, производящих листовой прокат и трубы. Этот метод используют для покрытия листов достаточной ширины, а также для покрытия изделий различной формы. Основные затруднения на пути развития горячего алюминирования – это окисление стали и расплавленного алюминия, а также образование хрупкого соединения $FeAl_3$ при повышенной температуре. И то и другое препятствует адгезии покрытия к основному металлу.

Алюминированная сталь отличается рядом ценных свойств, в том числе хорошей адгезией лакокрасочных покрытий (после хромирования). В ряде случаев алюминированная сталь может заменять более дорогие жаростойкие сплавы. Механические свойства алюминированной стали при повышенной температуре значительно выше, чем алюминия. При температуре выше $470\text{ }^{\circ}\text{C}$ алюминий диффундирует в промежуточный сплав и сталь, образуя твердый раствор. В результате этого жаростойкость покрытия повышается.

• *Диффузионное насыщение слоя металла при высокой температуре в специальной среде.*

Химико-термическая обработка (ХТО). С целью повышения износостойкости поверхностей деталей машин применяются различные виды химико-термической обработки. Химико-термической называется обработка, заключающаяся в сочетании термического и химического воздействия с целью изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя стали. Одним из видов ХТО является диффузионное насыщение. При ХТО происходит поверхностное насыщение стали соответствующим элементом (С, N, Al, Cr, Si и др.) путём его диффузии в атомарном состоянии из внешней среды (твёрдой, газовой, паровой, жидкой) при высокой температуре.

ХТО включает три последовательные стадии:

- 1) образование активных атомов в насыщающей среде вблизи поверхности или непосредственно на поверхности металла;
- 2) адсорбцию образовавшихся активных атомов поверхностью насыщения;

3) диффузию-перемещение адсорбированных атомов в решётке обрабатываемого металла.

Для повышения долговечности наиболее ответственных деталей машин широко используются процессы цементации (науглероживания), нитроцементации и азотирования. Несколько в меньшей степени применяется поверхностное насыщение бором, кремнием. Примером могут служить детали автомобилей, тракторов, станков и др.

Ниже перечислены основные методы насыщения, применяемые при ХТО.

1. Порошковый метод. Этот процесс нашёл применение в мелкосерийном и серийном производстве.

2. Прямоточный циркуляционный метод диффузионного насыщения из газовых сред.

3. Диффузионное насыщение из расплавов металлов или солей, содержащих диффундирующий элемент (с электролизом или без электролиза). Жидкий метод позволяет сократить длительность технологического процесса, однако не всегда обеспечивает высокое качество поверхности и стабильность толщины диффузионного слоя.

4. Насыщение из паст и суспензий (шликерный способ). Не нашёл особого применения, но может применяться для местного упрочнения поверхности и при обработке крупногабаритных деталей.

5. Диффузионное насыщение с использованием вакуума. Насыщение осуществляется из сублимированной фазы испарением диффундирующего элемента при высоких температурах в вакууме. Развитие процесса диффузии приводит к образованию диффузионного слоя, под которым понимают слой материала детали у поверхности насыщения, отличающийся от исходного по химическому составу. В результате концентрация диффундирующего элемента уменьшается от поверхности вглубь металла. Материал детали под диффузионным слоем, не затронутый воздействием насыщающей активной среды, называют сердцевиной. Диффузионный слой и его качество характеризуют следующие параметры: фазовый состав и структура, толщина общая или эффективная, распределение по толщине слоя концентрации диффундирующего элемента, поверхностная твёрдость и распределение её по толщине слоя, поверхностная хрупкость, однородность, сплошность и равномерность распределения

по конфигурации изделия диффузионного слоя, прокаливаемость и закаливаемость слоя.

Азотированием является химико-термическая обработка, состоящая из диффузионного насыщения поверхностного слоя стали азотом и углеродом при нагревании в соответствующей среде. Азотирование чаще проводится при температуре 500...600 °С, хотя применяется и высокотемпературное азотирование (600...1200 °С). Азотирование повышает твёрдость поверхностного слоя детали, его износостойкость, предел выносливости и сопротивление коррозии в атмосфере, воде и т. д. Твёрдость азотированного слоя стали выше, чем цементированного и сохраняется при нагреве до высоких температур. В процессе азотирования обрабатываемые изделия испытывают небольшие деформации. Азотированный слой хорошо шлифуется и полируется.

- ***Вакуумное осаждение ионов.***

Одним из методов нанесения защитных покрытий, основанных на воздействии на поверхность детали потоков частиц с высокой энергией, являются вакуумные ионно-плазменные методы. Характерная черта – прямое преобразование эклектической энергии в энергию технологического воздействия, основанное на структурно-фазовых превращениях в осажденном или в самом поверхностном слое детали, помещенной в вакуумную камеру.

Основным достоинством данных методов является возможность создания весьма высокого уровня физико-механических свойств материалов в тонких поверхностных слоях, нанесение плотных покрытий из тугоплавких химических соединений. Кроме того, эти методы позволяют обеспечивать высокую адгезию покрытия к подложке, равномерность покрытия по толщине, варьировать состав покрытия в широком диапазоне в пределах одного технологического цикла, получать высокую чистоту поверхности покрытия.

В промышленности имеют место следующие методы вакуумной ионно-плазменной обработки поверхностей.

1. Модифицирование поверхностных слоев:

- ионно-диффузионное насыщение (ионное азотирование, науглероживание, борирование и др.);
- ионное (плазменное) травление (очистка);

- ионная имплантация (внедрение);
- отжиг в тлеющем разряде.

2. Нанесение покрытий:

- полимеризация в тлеющем разряде;
- ионное осаждение;
- электродуговое испарение;
- катодное распыление (на постоянном токе, высокочастотное);
- химическое осаждение в плазме тлеющего разряда.

Современные вакуумные ионно-плазменные методы упрочнения (модифицирование) поверхностей деталей машин включают следующие этапы:

- генерацию (образование) корпускулярного потока вещества;
- его активизацию, ускорение и фокусировку;
- конденсацию и внедрение в поверхность деталей (подложек).

Генерация корпускулярного потока вещества возможна его испарением (сублимацией) и распылением. Испарение – переход конденсированной фазы в пар осуществляется в результате подводок тепловой энергии к испаряемому веществу. Сублимация – переход твердого вещества в газообразное состояние, минуя жидкую фазу.

Нагрев испаряемого вещества может осуществляться:

- за счет выделения Джоулева тепла при прохождении электрического тока через испаряемый материал или испаритель;
- в результате бомбардировки поверхности металла ускоренным потоком электронов (электронно-лучевой нагрев) или квантами электромагнитного излучения (лазерный нагрев);
- высокочастотным электрическим магнитным полем (индукционный);
- электрической дугой.

Выбор способа нагрева и конструкция испарения зависят от природы испаряемого материала, его исходной формы (гранулы, порошок, проволока), требуемой скорости испарения, постоянства во времени и т. д.

Наибольшее распространение получил нагрев при помощи электронной бомбардировки, что позволяет достигать температуры 4000 градусов Цельсия и плотности энергии в луче до 5×10^8 Вт/см².

Электронно-лучевой способ нагрева состоит в том, что на образец металла направляют поток электронов от катода, ускоренных электрическим полем до энергии 5...25 кэВ. Поток электронов (электронный луч) получают с помощью электронно-лучевых пушек.

Средняя энергия частиц в потоке, образованном испарением, невысока, поэтому необходимо увеличить энергию частиц, прибывающих на подложку. Простой способ ускорения заряженных частиц – электрическим полем, но так как для создания потоков в основном используются нейтральные частицы, их активацию можно осуществлять действием на атомы потоком электронов, ионов, атомов или фотонов.

В результате образования активированного корпускулярного потока в контакт с подложкой металла детали входят нейтральные частицы (возбужденные и невозбужденные) с высокой энергией и ионы. Процесс взаимодействия такого сложного по составу потока с поверхностью металла сводится к протеканию взаимосвязанных физических явлений: конденсации, внедрения и распыления.

• *Эмалирование – нанесение эмалей на поверхности металлических изделий для защиты их от коррозии, истирания и высоких температур, а также в декоративных целях с последующим нагревом (обжигом) изделия для оплавления и закрепления эмали.*

Эмаль представляет собой стеклообразное вещество, в основном состоящее из оксидов, полученное плавлением, которое одним или несколькими слоями наносят на металлическое изделие. В технологии эмали существует та же проблема, что и при изготовлении металлостеклянных спаев, – согласование физико-механических характеристик металлической и оксидной систем для обеспечения их прочного сцепления и допустимого уровня напряжений в обеих составляющих. В связи с этим разные металлы эмалируют разными эмалями.

Химический состав эмали определяется назначением эмалевого покрытия и характеристиками защищаемого металла. Области применения эмалевых покрытий столь разнообразны, что выделение каких-либо общих физико-химических их характеристик невозможно.

Процессы, обуславливающие сцепление эмали с металлом, более подробно исследованы для черных металлов. В этом случае применяют эмали на основе щелочноборосиликатных стекол с вве-

дением в качестве способствующих адгезии и сцеплению оксидов переходных металлов – кобальта, никеля, марганца, меди (так называемых оксидов сцепления). Начальными стадиями процесса, обеспечивающего сцепление твердой эмали с металлом, являются смачивание и химическое взаимодействие металла с эмалью или стекловидной составляющей неорганического эмалевого покрытия. Во многих случаях сцепление определяется не столько этими критериями, сколько составом и свойствами переходного слоя толщиной в десятки микрометров, образующегося в результате взаимодействия эмали с металлом. Однако во всех случаях особо велика роль площади действительного контакта металла с эмалевым покрытием, которая зависит не только от состава эмали, но и от всей технологии формирования покрытия.

Первоначально целью эмалирования было создание декоративного эффекта, в основном на изделиях из драгоценных металлов. Высокого художественного уровня декоративное эмалирование достигло в начале нашей эры в Византии, что оказало существенное влияние на развитие этой техники в других странах, в том числе Киевской Руси. При изготовлении украшений с использованием техники «перегородчатых» и «выемчатых» эмалей ювелир должен был решить задачу прочного соединения эмалей с металлами и обеспечить многообразие цветов и оттенков покрытия.

Наряду с традиционным применением в качестве декоративных покрытий на изделиях бытового и технического назначения эмалевые покрытия все в возрастающей степени призваны решать задачу антикоррозийной защиты металлов в самых разнообразных областях. Известно, что в результате коррозии ежегодно теряется около 10 % мирового выпуска черных металлов. Развитие науки и техники связано с использованием все более высоких температур. По этой причине непрерывно возрастают требования к защите разнообразных металлов, в первую очередь жаропрочных сталей и сплавов, от газовой коррозии, в особенности от окисления. Эту задачу призваны решать жаропрочные эмали и покрытия. Современная техника нуждается, например, в аппаратуре, работоспособной в парах серы до 1000 °С, йода и иодидов – до 1100 °С. При таких высоких температурах многие стекла ведут себя не как твердое тело,

а как высоковязкая жидкость, и не могут обеспечить длительной эксплуатации изделия. В указанных условиях работоспособными могут быть лишь кристаллические соединения. Таким образом, для решения подобных задач технология эмалирования должна использовать метод направленной кристаллизации эмалей или основываться на введении в покрытие при его формировании значительных количеств кристаллических огнеупорных наполнителей.

В то же время усиливающийся интерес вызывает и технология эмалирования легких сплавов, особенностью которой является применение возможно более легкоплавких эмалей. Например, алюминий чистотой 99,5 % имеет температуру плавления 658 °С, а температура плавления эвтектик в литейных алюминиевых сплавах лежит около 450 °С. Таким образом, температура формирования эмалевого покрытия на этих сплавах должна существенно различаться, чтобы избежать деформации изделий. Особые трудности возникают при необходимости обеспечения электрической изоляции или антикоррозионной защиты полупроводниковых металлов – кремния, германия и других, так как для сохранения их характеристик температура их нагрева не может превышать 300...350 °С.

• ***Наплавка – нанесение слоя расплавленного металла на оплавленную металлическую поверхность путем плавления присадочного материала теплотой газового пламени, электрической или плазменной дуги.***

Ручная дуговая наплавка покрытыми электродами (РДН). Универсальный способ, пригодный для наплавки деталей различной формы и назначения во всех пространственных положениях. Легирование наплавленного металла производится через стержень электрода и (или) через покрытие. Плотность тока при наплавке должна составлять не более 10...12 А/мм², чтобы избежать интенсивного перемешивания основного и наплавляемого металлов.

Преимуществами РДН являются простота, доступность и мобильность оборудования и технологии, возможность получения наплавленного металла практически любой системы легирования.

Недостатки – низкая производительность; тяжелые условия труда; непостоянство качества наплавленного слоя; большое проплавление основного металла.

Полуавтоматическая и автоматическая дуговая наплавка проволоками. Применяется механизированная наплавка под флюсом одной проволокой (сплошной или порошковой) или лентой (холоднокатаной, порошковой или спеченной). Легирование наплавленного металла осуществляется, как правило, через электродный материал, легирующие флюсы применяются реже. При дуговой наплавке самозащитным и порошковыми проволоками и лентами стабилизация дуги, легирование и защита расплавленного металла от азота и кислорода воздуха осуществляются за счет компонентов сердечника электродного материала. Дуговая наплавка проволоками в среде защитных газов применяется реже вследствие интенсивного разбрызгивания электродного металла и большой глубины проплавления основного металла. При дуговой наплавке проволоками по причине большого проплавления основного металла необходимый состав наплавленного металла удастся получить только в третьем-пятом слое.

Преимуществами механизированных способов наплавки проволоками являются универсальность, высокая производительность, возможность получения наплавленного металла практически любой системы легирования.

Электродшлаковая наплавка (ЭШН) — заключается в том, что основной и наплавляемый металлы расплавляются за счет выделения тепла в шлаковой ванне при пропускании через нее электрического тока. Процесс осуществляется в вертикальном или наклонном, реже в горизонтальном положениях, как правило, с принудительным формированием наплавленного слоя. Способ применяется там, где требуется нанести слой металла большой толщины (свыше 10 мм). В металлургии ЭШН применяется для наплавки прокатных валков, в производстве заготовок — для прокатки биметалла, в горнорудной промышленности — для восстановления зубьев ковшей экскаваторов, зубьев крупномодульных шестерен, в машиностроении — для наплавки штампов. Антикоррозионная наплавка лентами используется в атомном, энергетическом и нефтехимическом машиностроении.

Преимуществами ЭШН являются устойчивость процесса в широком диапазоне плотностей тока (от 0,2 до 300 А/мм²); высокая производительность; возможность наплавки сталей и сплавов с повышенной склонностью к образованию трещин; возможность

наплавки за один проход слоев большой толщины; возможность придавать наплавленному металлу необходимую форму и сочетать наплавку с электрошлаковой сваркой.

Недостатки способа: большая погонная энергия процесса вызывает перегрев основного металла и зоны термического влияния; невозможность получения наплавленных слоев малой толщины; большая длительность подготовительных операций.

Плазменно-дуговая наплавка (ПДН) – состоит в нанесении покрытия из расплавленного присадочного порошкового или проволочного материала на металлическую поверхность с использованием в качестве источника нагрева плазменной дуги, горящей между электродом плазмотрона и изделием. Применяется при изготовлении новых деталей и изделий со специальными износо- и коррозионно-стойкими свойствами поверхности, а также для восстановления размеров изношенных и бракованных деталей. Плазменно-дуговой наплавкой наносится слой, обладающий высокой плотностью и прочностью сцепления с изделием, способный работать в условиях высоких динамических, знакопеременных нагрузок или подверженных абразивному изнашиванию.

Номенклатура наплаваемых материалов: углеродистые, легированные и высоколегированные стали, легированные чугуны, сплавы на основе железа, никеля, кобальта, цветные металлы, смеси с карбидами и др. Производительность ПДН порошковыми материалами составляет до 10 кг/ч, проволочными – до 18 кг/ч, минимальная толщина наплавленного слоя – 0,5 мм. В качестве присадочного материала используются различные порошковые сплавы размером частиц 60...300 мкм, сварочные и наплавочные проволоки диаметром 1–3,6 мм. ПДН выполняется в один или несколько слоев с поперечными колебаниями или без них.

Преимущества:

- минимальная доля основного металла в наплавленном;
- высокая стабильность и устойчивость дуги;
- незначительный припуск на последующую мехобработку;
- максимальная производительность;
- минимальный расход вольфрамового электрода;
- возможность процесса наплавки деталей малых размеров;

- высокий уровень механизации и автоматизации технологического процесса.

ПДН используется при изготовлении и восстановлении различных деталей оборудования нефтяной и газовой промышленности, металлургических производств, сельскохозяйственной техники, тракторов, автомобилей, бумагоделательного производства, дорожных машин, деревообрабатывающего производства, землесосных снарядов, горнодобывающего и горно-перерабатывающего производств, штампов, пресс-форм, режущего инструмента, уплотнительных поверхностей энергетического, химического и нефтяного оборудования.

Индукционная наплавка – процесс, легко поддающийся механизации и автоматизации, особенно эффективный в условиях серийного производства. Сущность способа заключается в разогреве наплавляемого материала и поверхности основного материала токами высокой частоты под воздействием мощного электромагнитного поля, генерируемого специальным устройством – индуктором. Применяются два основных варианта индукционной наплавки: с использованием твердого присадочного материала (порошковой шихты, стружки, литых колец и т. п.), расплавляемого индуктором непосредственно на наплавляемой поверхности, и жидкого присадочного металла, который выплавляется отдельно и заливается на разогретую индуктором поверхность наплавляемой детали. Широко используется в сельскохозяйственном машиностроении.

Преимущества: малая глубина проплавления основного металла; возможность наплавки тонких слоев, высокая эффективность в условиях серийного производства.

Недостатки: низкий КПД процесса; перегрев основного металла; необходимость использования для наплавки только тех материалов, которые имеют температуру плавления ниже температуры плавления основного металла.

Электродная наплавка (наварка). Соединение основного и присадочного металлов осуществляется в результате их совместной пластической деформации, сопровождающейся пропусканием в месте контакта импульсов тока. В качестве оборудования используются модернизированные машины для шовной контактной свар-

ки. Присадочные материалы — стальная лента, проволока, порошки и их смеси. Применяется при ремонте и восстановлении валов, осей, штоков, фланцев, барабанов и прочих деталей, износ которых по диаметру не превышает 1,0...1,5 мм.

Преимущества: отсутствие проплавления основного металла; минимальные деформации наплавленных деталей; возможность наплавки слоев малой толщины.

Недостатки: низкая производительность процесса; ограниченная номенклатура наплаваемых деталей.

Лазерная наплавка. Разработаны три способа лазерной наплавки: с подачей присадочного порошка в зону плавления, оплавление предварительно нанесенных паст, оплавление напыленных слоев. Требуемые составы и свойства наплавленного металла можно получить уже в первом слое небольшой толщины. В опытно-промышленном производстве лазерно-порошковым методом наплавляют коленчатые и распределительные валы двигателей внутреннего сгорания, клапаны и некоторые другие детали.

Преимущества: малое и контролируемое проплавление при высокой прочности сцепления; возможность получения тонких (менее 0,3 мм) слоев; небольшие деформации наплаваемых деталей; возможность наплавки труднодоступных поверхностей; возможность подвода лазерного излучения к нескольким рабочим местам, что сокращает время на переналадку оборудования.

Недостатки: низкая производительность, невысокий КПД процесса, сложное и дорогостоящее оборудование.

Электронно-лучевая наплавка. Использование для наплавки электронного луча позволяет отдельно регулировать нагрев и плавление основного и присадочного материалов, а также свести к минимуму их перемешивание. Наплавка производится с присадкой сплошной или порошковой проволоки. Поскольку наплавка выполняется в вакууме, то шихта порошковой проволоки может состоять из одних легирующих компонентов.

Преимущества: малое и контролируемое проплавление основного металла, возможность наплавки слоев малой толщины.

Недостатки: сложность и высокая стоимость оборудования, необходимость защиты персонала от рентгеновского излучения.

Наплавка трехфазной дугой неплавящимися электродами в аргоне.

В трехфазной дуге в каждый момент времени горят не менее двух дуг переменного тока. Способ применяется для наплавки изделий из алюминиевых и магниевых сплавов с подачей присадочной проволоки в зону сварки. Используется как источник тепла одновременно и для сварки, и для подогрева зоны наплавки межэлектродной (косвенной) дугой. Наиболее эффективен способ для ремонтной сварки и наплавки изделий из магниевых и алюминиевых сплавов, склонных к образованию горячих трещин в зоне ремонта.

Преимущества: широкие технологические возможности, большая мощность дуги, стабильность и устойчивость горения фазных дуг, высокая производительность процесса, хорошее качество наплавленного слоя.

Недостатки: сложность и высокая стоимость оборудования, малая распространенность способа вследствие отсутствия промышленного производства оборудования для сварки трехфазной дугой.

Газовая наплавка. Металл нагревается и расплавляется пламенем газа, сжигаемого в смеси с кислородом в специальных горелках. Горючий газ – ацетилен или его заменители: пропан-бутановая смесь, природный газ, водород. Известна газовая наплавка с присадкой прутков либо с вдуванием порошка в газовое пламя. Широко используется при ремонте сельскохозяйственной и автомобильной техники, а также для наплавки релитом буровых долот и быстроизнашивающихся деталей горнорудной техники.

Преимущества: малое проплавление основного металла; универсальность технологии; возможность наплавки слоев малой толщины.

Недостатки: низкая производительность, нестабильность качества наплавленного слоя.

Наплавка трением. Суть метода заключается в быстром вращении присадочного прутка (1500...4000 об./мин), который торцом прижимается к наплавленной поверхности. Металл нагревается, становится пластичным и как бы намазывается на поверхность изделия.

Преимущества: возможность наплавки тонких слоев; отсутствие перемешивания основного и наплавленного металлов; низкие затраты электроэнергии.

Недостатки: низкая универсальность, поскольку для наплавки каждой детали необходимы присадочные материалы определенных геометрических размеров и специализированное оборудование или оснастка; малая производительность; отсутствие производства материалов для наплавки; дефекты наплавленного слоя, а именно краевые несплавления.

• **Плакирование** – *получение слоев, соединенных между собой способами прокатки, сварки взрывом или литьем.*

Плакирование с использованием энергии взрыва. Для непосредственного плакирования деталей или получения многослойных заготовок наиболее широко применяется взрывное плакирование пластичными коррозионно-стойкими сталями и сплавами. Применение опор переменной жесткости и особых способов подготовки плакирующих листов позволило использовать энергию взрыва для плакирования малоуглеродистой стали малопластичными инструментальными сталями Х6Ф1, Х12, Р6М5, изготовления би- и триметалла для нефтехимического и сельскохозяйственного машиностроения.

Преимущества: возможность соединения металлов, сварка которых другими способами сложна или невозможна; отсутствие проплавления основного металла; минимальные деформации при плакировании.

Недостатки – необходимость в специальных полигонах и большая длительность подготовительных операций.

Плакирование прокаткой. Плакированный металл производят из специальных многослойных слитков, из заготовок, полученных наплавкой, ЭШС, сваркой взрывом, из сварных герметизированных заготовок-пакетов. Применяется в основном для производства толстых и тонких листов, полос, фасонных профилей, прутков и проволоки. Изготавливают биметаллические листы (конструкционная сталь + нержавеющая сталь), износостойкий плакированный прокат для металлургии, горнодобывающей промышленности, сельскохозяйственного машиностроения.

• **Напыление** – *образование на поверхности изделия покрытия из нагретых до плавления или близкого к нему состояния частиц распыляемого материала с использованием теплоты сжигаемого газа или электрического разряда в газовых средах.*

Плазменное порошковое напыление (ППН) – состоит в нанесении покрытия из отдельных частиц порошкового материала, нагретого и ускоренного с помощью высокотемпературной плазменной струи.

Способ применяется при изготовлении деталей со специальными и декоративными свойствами поверхности: износостойкостью (за исключением деталей, испытывающих ударно-абразивное изнашивание), антифрикционностью, коррозионностойкостью, жаростойкостью, кавитационностойкостью, эрозионностойкостью, электроизоляцией, стойкостью против фреттинг-коррозии и др.

Температура нагрева деталей при ППН не превышает 100...150 °С. Плазмообразующим газом являются, как правило, аргон или воздух. В качестве порошкового материала, формирующего покрытие, используются различные материалы и сплавы, тугоплавкие соединения, оксиды, полимеры и их композиции размером частиц до 100 мкм.

По сравнению с газопламенным, электродуговым и детонационным напылением, с процессами наплавки и осаждения данный способ нанесения покрытий имеет следующие преимущества:

- высокий коэффициент использования порошка (до 85 %),
- прочность сцепления покрытия с основой (до 60 МПа),
- низкая пористость покрытия;
- высокая производительность процесса;
- универсальность за счет получения покрытий из большинства материалов без ограничения их температур плавления;
- нанесение покрытия на изделия, изготовленные практически из любого материала;
- отсутствие ограничений по размерам напыляемых изделий;
- низкое термическое воздействие на напыляемую основу, что позволяет избежать деформаций, изменений размеров изделий, а также исключить нежелательные структурные превращения основного металла;
- нанесение покрытия на локальные поверхности;
- нанесение покрытия с минимальными припусками для последующей механической обработки;
- низкий расход аргона;
- возможность автоматизации процесса.

Плазменное порошковое напыление применяется в машиностроении для восстановления и упрочнения подшипников скольжения, упорных подшипников, гидроцилиндров, плунжеров, направляющих токарных станков, шпинделей и валов, шнеков экструзионных машин, вытяжных и гибочных штампов, матриц для прессования тугоплавких металлов и т. п.

В автомобильной промышленности ППН применяется для ремонта коленчатых валов, поворотных цапф, деталей коробки передач, кулачков распределительных валов, ступиц маховиков двигателя, валов водяных насосов и вентиляторов, головок блока цилиндров, поршневых колец, клапанов ДВС, тормозных барабанов, шаровых пальцев рулевого управления.

В электротехнической и химической промышленности ППН используется для нанесения слоев на конденсаторы, поверхности антенн, вентиляционные лопасти турбогенераторов, торцовые уплотнения электрических машин, лентопротяжные механизмы, магнитные головки, ролики для подачи проволоки и сопла сварочных установок крыльчатки и валы кислотных насосов.

ППН применяется также для изготовления бытовой техники: напыляют днища кастрюль, сковородок, электронагревательные устройства и т. п.

Газопламенный метод напыления покрытий. Источником тепла выступает ацетиленокислородное пламя, температура которого не превышает 3000 °С. Использование газопламенного метода характеризуется относительной простотой применяемого оборудования, требует наличия ацетилена и кислорода. Распыляемый материал, попадая в факел ацетиленокислородного пламени горелок, разогревается до температуры, близкой к температуре плавления, и разгоняется до скорости 20...30 м/с. При соударении с изделием разогретые частицы соединяются с поверхностью и между собой, образуя достаточно плотное и равномерное покрытие.

С помощью газопламенных горелок производят напыление полимерных материалов (пластмассы), металлических материалов (алюминий, бронза, баббит, никель и т. д.), тугоплавких керамических соединений (окись титана, окись алюминия и др.). Различают

два способа подачи напыляемого материала в ацетиленокислородное пламя горелок: в виде порошка и в виде проволоки.

К агрегатам, в которых напыляемый материал подают в виде порошка, относят газопламенную горелку Rototec-80 швейцарской фирмы Castolin-Eutectic.

Напыление металлизацией. Сущность метода. В электрометаллизаторе установлены направляющие, через которые непрерывно производится подача двух расплаиваемых проволок. Между концами этих проволок возбуждается электрическая дуга. В центральной части электрометаллизатора имеется сопло, через которое подается сжатый воздух. Струя сжатого воздуха отрывает с проволок-электродов частицы расплавленного металла и уносит их к напыляемой поверхности.

Электрометаллизатор может работать как на постоянном, так и на переменном токе. При использовании переменного тока дуга горит неустойчиво и сопровождается большим шумом. При постоянном токе характер работы является устойчивым, напыленный материал имеет мелкозернистую структуру, производительность напыления высокая. Поэтому в настоящее время для дугового напыления используют источники постоянного электрического тока. Для напыления обычно применяют проволоку диаметром 0,8; 1,0; 1,6 и 2,0 мм.

Преимуществом способа электродуговой металлизации является высокая производительность процесса и возможность значительного сокращения затрат времени на напыление. Например, при силе тока 750 А можно напылять стальное покрытие с производительностью 36 кг/ч, что превышает в несколько раз производительность газопламенного напыления. По сравнению с газопламенным напылением металлизация позволяет получать более прочные покрытия, которые лучше соединяются с основой. При использовании в качестве электродов проволок из двух различных металлов можно получить покрытие из их сплава. Эксплуатационные затраты при работе электрометаллизатора невелики. При напылении покрытия распылением двух электродов из разнородных материалов желательно использовать такие электрометаллизаторы, которые бы позволяли производить отдельную регулировку скорости подачи каждого электрода.

Недостатком метода является перегрев и окисление напыляемого материала при малых скоростях подачи расплаиваемой проволо-

ки. Кроме того, большое количество теплоты, выделяющейся при горении дуги, приводит к значительному выгоранию легирующих элементов, входящих в напыляемый сплав (например, содержание углерода в материале покрытия снижается на 40...60 %, а кремния и марганца на 10...15 %).

1.3. Классификация деталей, подлежащих восстановлению. Дефекты деталей

Среди способов восстановления деталей наибольшее распространение получил способ наплавки. Этот способ дает возможность сравнительно быстро получить слой наплавленного металла значительной толщины, что особо важно при восстановлении деталей с высокой степенью износа. Способ экономичен, относительно прост, дает возможность изменять химсостав наплавленного металла за счет легирования его с помощью электродной проволоки, флюса, электродного покрытия, увеличивать твердость металла и его износостойкость без дополнительной закалки. Для выполнения работ требуется дешевое и несложное оборудование. Наплавку применяют сейчас для восстановления самых ответственных деталей машин и механизмов.

При наплавке необходимо решать ряд сложных вопросов: выбор материала, обеспечивающего соответствующие условиям эксплуатации свойства; возможность наплавки этого материала непосредственно на основной металл или подбор материала для наплавки подслоя; выбор способа и режима наплавки, формы и методов изготовления наплавленных материалов; выбор термического режима выполнения наплавки (подогрев или охлаждение); установление необходимости последующей термообработки. Во многом все эти параметры зависят от условий работы детали и характеристик контактируемых поверхностей или контакта поверхности детали и среды.

Классификация восстанавливаемых изделий по условиям их работы

В зависимости от условий службы наплавляемые детали можно разбить на несколько групп.

1. *Детали, работающие в условиях трения металла о металл.* К этой группе обычно относят крановые колеса и колеса локомотивов, детали гусеничных тракторов, автомобильные сцепки и шкворни, оси, валы, шпиндели, зубчатые колеса и шестерни и т. д. Износ деталей происходит при больших контактных напряжениях. Наплавка этой группы деталей производится в основном для восстановления первоначальных их размеров без значительного повышения износостойкости, так как большая твердость одной контактной поверхности может вызвать повышенный износ другой. Для наплавки используют обычно низкоуглеродистые и низколегированные стали, содержащие не более 5 % легирующих элементов (08Г, 08ГС, 15Г2С, 18Г4 и т. д.).

2. *Детали и инструменты, работающие в условиях абразивного износа при нормальных температурах.* Это детали сельскохозяйственной техники (лемеха плугов, лапки культиваторов, зубья бороны), детали строительно-дорожных машин, размольного оборудования, буровые долота, зубья дробилок, шнеки для перемещения сыпучих материалов и т. д.

Наибольшую стойкость против абразивного износа имеют сплавы, имеющие в своей структуре большое количество карбидов металлов. Поэтому для наплавки выбирают присадочный металл, легированный хромом и марганцем в сочетании с повышенным количеством углерода. Например: сталь У25Х28, У35Х7Г7, У30Х28Г2С.

3. *Детали, эксплуатирующиеся в условиях абразивного износа с ударными нагрузками.* Представителями этой группы могут быть ролики рольгангов, ножи бульдозеров, зубья ковшей экскаваторов, детали дробилок, автомобильные рессоры, наконечники отбойных молотков и т. д. Такие детали наплавляют высокохромистыми сплавами с более низким содержанием углерода, например, в качестве наплавочного материала используют сталь Х12, Х19М, Х13Н4. Такие стали в основном относятся к ледебуритным сплавам. Наплавленный слой сталью типа Х12 обладает высокой твердостью, исклю-

чительной износостойкостью. Вместе с тем сталь этой группы имеет невысокую стоимость. Отлично сопротивляются ударно-абразивному износу высокомарганцевые, аустенитные стали типа Г13.

4. *Детали и инструменты, работающие на термическую усталость и абразивный износ при повышенных температурах.* К деталям этой группы относят прокатные валки, ножи блюминга, прессовый инструмент для горячей штамповки, керны для захвата слитков, металлургическое оборудование и т. д.

Наплавленный металл должен обладать высокой твердостью, износостойкостью и в то же время удовлетворительной вязкостью во избежание сколов при эксплуатации. Эти свойства достигаются за счет легирования металла наплавки хромом и вольфрамом. Лучшей износостойкостью обладают хромовольфрамовые стали типа 3Х2В8.

5. *Детали, работающие в условиях коррозии и эрозии, сочетающихся с абразивным износом при повышенных температурах.* Это уплотнительные поверхности арматуры для пара высокого давления (задвижки, вентили), крыльчатки, шестерни и плунжеры насосов для перекачки агрессивных жидкостей, детали, работающие в морской воде, лопасти гидротурбин и парогенераторов и т. д. Для наплавки применяют высокохромистые сплавы 1Х13, 1Х25Н4Т и хромоникелевые аустенитные 0Х18Н9, 1Х18Н9Т. Детали, работающие в условиях абразивного износа, сопровождаются эрозией при температурах до 800°, рекомендуется наплавлять твердыми сплавами типа «Стеллит», т. е. сплавами на основе кобальта, легированными вольфрамом, титаном и углеродом. К таким деталям относятся клапаны двигателей внутреннего сгорания, поверхности «седла» клапана головки блока ДВС.

6. *Детали подшипников, подпятников и других узлов трения скольжения.* Детали этой группы должны обладать высокими антифрикционными свойствами, т. е. поверхность должна иметь низкий коэффициент трения. Хорошими антифрикционными свойствами обладают сплавы на основе меди, а также некоторые сорта чугуна и неметаллические материалы (фторопласт). Например, алюминиево-железистые бронзы применяются при наплавке заготовок червячных шестерен, кулачков и других деталей, работающих в условиях трения скольжения. Оловянисто-фосфористые бронзы,

оловянистые и свинцовистые баббиты используются для наплавки вкладышей крупных подшипников, например вкладышей судовых дизельных двигателей.

7. *Металлорежущий инструмент.* Основные требования к металлу, наплавляемому на рабочие кромки режущего инструмента: высокая твердость, износостойкость, красностойкость и удовлетворительная вязкость. Такие свойства достигаются при легировании металла ванадием, молибденом, вольфрамом. Обычно для наплавки применяют быстрорежущие стали типа P18, P9, P13K3 и PB6M5.

Классификация дефектов деталей

С целью правильного выбора технологического процесса восстановления деталей необходимо четко классифицировать имеющиеся дефекты изделий.

Дефект – каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. Различают следующие группы дефектов, относящихся к деталям в целом:

- *трещины* – образуются в результате воздействия значительных местных нагрузок, ударов и перенапряжений, а также усталостные трещины, появляющиеся в деталях, длительно работающих в условиях знакопеременных нагрузок. Трещины наиболее часто возникают в нагруженных местах корпусных деталей, рам, блоков, изготовленных из твердых и хрупких материалов, например, чугуна, высокоуглеродистых сталей или магниевых сплавов;

- *пробоины* – появляются в результате ударов различных предметов о поверхности тонкостенных деталей;

- *риски и надирь* – образуются на рабочих поверхностях деталей, работающих в условиях трения скольжения, вследствие загрязнения смазки или абразивного действия чужеродных частиц;

- *выкрашивание* – дефект, характерный для поверхностей деталей, подвергнутых химико-термической обработке (зубчатые колеса, шестерни, зубчатые муфты); он появляется вследствие динамических ударных нагрузок в процессе эксплуатации. Выкрашивание может быть и в результате усталостных напряжений;

- *обломы, сколы* – возникают при сильных ударах о детали; часто наблюдаются на литых деталях;

- *изгибы и вмятины* — характеризуются нарушением формы детали и происходят в результате ударных нагрузок;

- *коробление* — происходит в результате воздействия высоких температур, приводящих к возникновению структурных изменений и больших внутренних напряжений;

- *коррозия (сплошная и местная)* — процесс разрушения металлов вследствие химического и электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой; общая коррозия проявляется в постепенном уменьшении первоначальной толщины деталей; местная коррозия (избирательная) проявляется на отдельных участках деталей, имеющих нарушение структуры и свойств металла, а также на участках, подверженных действию внешних факторов (температуры, давления, коррозионной среды и т. д.). Значительно снижают работоспособность сварной конструкции такие виды избирательной коррозии, как межкристаллитная (питтинговая) коррозия по линии сплавления, фреттинг-коррозия в подшипниковых узлах [15]. Одними из видов разрушения являются коррозионная усталость и коррозионное растрескивание;

- *коррозионно-механическое изнашивание* — наиболее распространенный вид дефектов технологического оборудования, происходит в результате механического изнашивания, сопровождающегося химическим воздействием среды на металл.

Способы выявления дефектов делятся на две группы: визуальные и измерительные.

Часть дефектов можно обнаружить простым осмотром (визуально), не производя измерений или не разрушая детали. К ним относятся видимые трещины, пробоины, коррозия, обрыв, вмятины, деформация, нарушение герметичности, уплотнение и т. д.

Измерительный контроль применяют для получения количественной оценки отклонения параметров формы и относительного положения поверхностей детали, скрытых дефектов и физических (физико-механических) свойств материала деталей.

Контроль состояния деталей выполняют в порядке сложности дефектов и трудности их обнаружения и устранения. Сначала визуально определяют наличие крупных трещин, деформаций, изломов, коррозии, пробоин. Если обнаружены неустраняемые дефекты,

деталь непригодна. Далее пригодную (на первом этапе) деталь проверяют на наличие нарушения взаимного расположения рабочих поверхностей и существенного (недопустимого) изменения физико-механических свойств материала детали. Если обнаружен неустраняемый дефект, деталь бракуется. Затем пригодную (уже на этом этапе) деталь контролируют на наличие скрытых дефектов. Если эти дефекты не обнаружены, то приступают к определению износа и геометрических форм рабочих поверхностей детали.

Для выявления дефектов используют различные методы и средства, которые зависят от параметров и формы проявления дефектов, а также конструктивных особенностей детали.

Например: радиаторы, баки и трубопроводы испытывают сжатым воздухом, затем их погружают в воду.

Блоки цилиндров испытывают на стендах (закачивают воду под давлением 0,3...0,4 МПа) и выявляют подтеки воды.

Скрытые дефекты на поверхности и в объёме детали выявляют различными методами. Для обнаружения скрытых поверхностных дефектов (трещин, пористости) используют капиллярный, магнитный, ультразвуковой, люминесцентный, рентгеновский методы.

Капиллярный метод — специальная жидкость проникает в невидимую глазом трещину. После очистки поверхности и нанесения проявляющего вещества дефект обнаруживается визуально по следу жидкости. Жидкость — керосин, вещество — мел (трещины шириной не менее 20 мкм).

Метод магнитной порошковой дефектоскопии — нанесение на поверхность ферромагнетика, который концентрируется по краям трещины, обозначая ее расположение. Порошок наносят в виде суспензии в керосине, солярке, мыльной воде. Намагничивают деталь электромагнитным полем (постоянного или переменного тока) большой силы.

Ультразвуковой метод — используют для анализа дефектов в объёме. Контроль дефектов (трещин, раковин, шлаковых включений) осуществляют путём распространения в металле ультразвуковых колебаний и их отражения от дефектов (и соответственно, регистрации).

Люминесцентный метод – свечение неметаллических материалов и цветных металлов в ультрафиолетовых лучах.

В табл. 3 представлены виды дефектов на конкретных деталях автомобилей, которые можно устранить при проведении ремонта.

Таблица 3

Классификация механизмов и деталей, подлежащих восстановлению в автомобильной отрасли

Виды ремонтных работ	Перечень механизмов и деталей, подлежащих ремонту
1. Заделка и герметизация трещин, пробоин, вмятин, сколов, отломов	Блоки размороженных цилиндров. Посадочные места гильз в блоках двигателей. Головки блоков цилиндров. Корпуса коробок передач. Картеры двигателей, поддоны картеров. Радиаторы, бензобаки. Емкости для ГСМ и т. п. Корпуса насосов и редукторов
2. Восстановление коррозионных и кавитационных разрушений	Поверхности крышек водяных рубашек. Разъемы соединительных деталей (фланцы, плоскости прилегания). Плоскости прилегания головки блоков цилиндров. Рубашки охлаждения
3. Восстановление изношенных деталей	Резьбовые соединения. Посадочные пояски блоков и втулок двигателей. Посадочные места подшипников: генератора, стартера, ступиц колес, коробки передач. Шлицевые соединения (в том числе карданных валов). Шпоночные пазы. Посадочные места топливных насосов. Поверхности валов. Посадочные места шестерен. Постели коленчатых валов
4. Восстановление потерь металла	Восстановление сломанных и утерянных частей блоков цилиндров, головок блоков цилиндров, насосов и других механизмов
5. Герметизация соединений и швов	Трубопроводы. Емкости (по сварным швам). Изготовление прокладок различной конфигурации

1.4. Подготовка деталей к ремонтно-восстановительному процессу. Выбор способа восстановления и упрочнения поверхностей

При выборе способа ремонта и упрочнения поверхностей деталей главным показателем является износостойкость, но должны быть учтены и другие свойства покрытий или восстановленных слоев. К ним относятся пластичность, твердость, хрупкость, степень адгезии с основным металлом, а также специфические требования – жаропрочность и коррозионная стойкость.

При выборе восстановительных и упрочняющих технологий следует учитывать, что хромирование и химическое никелирование пригодны лишь для восстановления деталей при неподвижных посадках и трении скольжения, сопровождающихся небольшой степенью износа (0,1...0,3 мм).

Все виды покрытий, наносимых газотермическим напылением или вакуумной ионно-плазменной обработкой, пригодны для ремонта деталей, работающих в условиях трения скольжения без ударных нагрузок. Все вышеперечисленные методы не пригодны для восстановления мест износа при трении качения (например, под ролики игольчатых подшипников) и при местной сосредоточенной нагрузке. В этом случае можно ремонтировать (восстанавливать поверхность) способом наплавки, добавочных ремонтных деталей (ДР), заменой элемента детали или способом пластического деформирования.

При выборе того или иного способа ремонта следует учитывать, что затраты на восстановление деталей уменьшаются в следующей последовательности:

- 1) способ ДР и замена элемента детали;
- 2) гальванические методы (хромирование, никелирование);
- 3) химико-термическая обработка (цементация, азотирование и т. д.);
- 4) металлизация, напыление;
- 5) ремонтная сварка и наплавка;
- 6) правка и упрочнение давлением;
- 7) механическая обработка под ремонтные размеры.

Наиболее дешевым является способ ремонтных размеров, но при условии выпуска промышленностью сопряженных деталей не только номинального, но и ремонтного размеров.

Наиболее распространенный способ восстановления и упрочнения поверхностей различных деталей машин и механизмов – ремонтная сварка и наплавка.

Выбор рационального способа ремонтной сварки и наплавки

Для правильной организации подготовки деталей к наплавке и выполнения наплавочных работ необходимо после осмотра и замеров износа деталей составить карту технологического процесса ремонта. В ней должны быть отображены причины и характер износа, условия работы деталей, объем работ, вид и способ наплавки, марка и диаметр электродов или проволоки, режим и технология наплавки, время на выполнение работ, последовательность операций, припуск на механическую обработку, необходимость предварительной и последующей термической обработки.

В первую очередь необходимо обосновать выбор способа наплавки. При выборе способа восстановления изделия, а также повышения его износостойкости следует учитывать особенности способов наплавки и применимость их к восстановлению тех или иных деталей. Особое внимание при выборе материала наплавки следует уделять тем свойствам наплавленного металла, которые наиболее характерны для работы детали, чтобы прочность и износостойкость ее была не ниже по сравнению с ненаплавленной деталью. Целесообразность применения какого-либо способа наплавки определяется и экономической эффективностью для каждого конкретного способа, для каждой детали. Если принять среднюю стоимость ручной дуговой наплавки за 100 %, то автоматическая наплавка под флюсом составит 74 %, вибродуговая наплавка – 82 %. В значительной степени выбор способа наплавки (ручная или автоматическая) определяется однотипностью и массовостью восстанавливаемых деталей.

Средняя стоимость восстановления ручной дуговой наплавкой составляет 25...35 % от стоимости изготовления новых деталей. При экономическом расчете выбора способа наплавки должны быть учтены следующие факторы: стоимость восстановления детали наплавкой по сравнению со стоимостью изготовления новой заго-

товки обычными методами (ковкой, литьем, штамповкой и т. д.); стоимость механической и термической обработки (до наплавки и после) по сравнению со стоимостью обработки новой детали из заготовки; качество выпускаемой продукции (в тех случаях, когда оно зависит от детали, подвергающейся наплавке); затраты на эксплуатацию и ремонты машины или агрегата за длительные периоды времени до и после применения наплавляемых деталей; изменение их производительности; влияние наплавки на расход дефицитных материалов; организация труда и механизации наплавочных работ. Особого внимания при выборе рационального способа наплавки требует электросварочное оборудование. Некоторые металлы и сплавы можно наплавлять только определенным способом. Многие способы наплавки требуют специализированного оборудования.

На выбор способа наплавки оказывают влияние размеры и конфигурация деталей, производительность и доля основного металла в наплавленном слое. Несмотря на невысокие показатели по производительности, ручная дуговая наплавка (РДН) штучными электродами является наиболее универсальным способом, пригодным для наплавки деталей различных сложных форм, и может выполняться во всех пространственных положениях. Для наплавки используют электроды диаметром 3...6 мм. При толщине наплавленного слоя до 1,5 мм применяются электроды диаметром 3 мм, а при большей толщине — диаметром 4...6 мм. Для обеспечения минимального проплавления основного металла при достаточной устойчивости дуги плотность тока составляет 11...12 А/мм². Основными достоинствами РДН являются универсальность и возможность выполнения сложных наплавочных работ в труднодоступных местах. Для выполнения РДН используется обычное оборудование сварочного поста.

К недостаткам РДН можно отнести относительно низкую производительность, тяжелые условия труда из-за повышенной загазованности зоны наплавки, а также сложность получения необходимого качества наплавленного слоя и большое проплавление основного металла.

Очистка деталей

В большинстве случаев детали, поступающие в ремонт, сильно загрязнены, замаслены, покрыты ржавчиной или краской. Поэтому они должны быть предварительно очищены механическим путем или промывкой, а затем рассортированы по виду и степени износа.

Очистка может быть нескольких уровней:

- макроочистка,
- микроочистка,
- активационная очистка.

Приведенные уровни очистки отличаются массой остаточных загрязнений. Процесс удаления с поверхности наиболее крупных частиц, мешающих разборке, дефектации и механической обработке, является макроочисткой. Удаление загрязнений от масла, остатков эмульсии, солей моющих растворов, пыли выполняется при микроочистке. Травление металла и очистка поверхности от остатков поверхностно-активных частиц, защитных пленок и посторонних веществ представляет собой активационную очистку, которую обычно выполняют при подготовке поверхностей деталей к хромированию, цинкованию и к другим видам электролитических покрытий.

Загрязнения с поверхностей деталей удаляют различными способами. Так, широко применяют специальные моющие средства, которые удаляют жидкие и твердые загрязнения с поверхности, а также синтетические моющие средства, растворы которых по моющей способности в несколько раз превосходят растворы едкого натра и различных щелочных смесей. Растворами из синтетических моющих веществ можно очищать детали из черных, цветных и легких металлов и сплавов.

Удаляют загрязнения и с помощью растворителей – керосина, бензина, уайт-спирита, дизельного топлива. В основном их используют для очистки деталей и элементов масляных фильтров, блоков, каналов коленчатых валов, топливной аппаратуры, обезжиривания поверхностей от асфальтосмолистых загрязнений.

Очистку от нагара, накипи, коррозии можно осуществлять химическими, механическими, химико-термическими и иными способами. Стальные и чугунные детали от нагара можно очистить

химическим способом, который основан на использовании щелочных растворов повышенной концентрации. Например, детали из алюминиевых сплавов обрабатывают в растворе, не содержащем каустической соды. На 3 часа их погружают в ванну с раствором при температуре 90 °С, затем размягченный нагар снимают металлическими щетками, после чего детали промывают в слабом щелочном растворе.

При очистке дробленой скорлупой фруктовых косточек поток сжатого воздуха, который движется с высокой скоростью, вместе с косточковой крошкой подается на очищаемую поверхность под давлением 0,3...0,6 МПа, с силой ударяется о поверхность детали и разрушает нагар и другие загрязнения. Шероховатость поверхности детали при этом не изменяется, что важно для деталей из алюминиевых сплавов, а также деталей и сборных единиц двигателей – шатунов, головок блоков, коленчатых валов и др.

Внутренние поверхности охлаждающей системы двигателя очищают от накипи щелочными растворами. Карбонаты магния и кальция, содержащиеся в накипи, растворяются в соляной кислоте, а силикаты и сульфаты кальция и магния разрыхляются в щелочном растворе. Разрыхленный слой затем смывают водой.

Для очистки деталей от окалины, ржавчины, подготовки поверхностей для окрашивания, нанесения гальванических и других покрытий, а также для различных отделочных операций английской фирмой Abrasives Development Limited разработан специальный процесс, использование которого позволяет обходиться без дорогих химикатов, применение которых часто требует дополнительной очистки поверхности. Сущность процесса заключается в том, что поверхности деталей подвергают бомбардировке твердыми частицами, содержащимися в больших объемах циркулируемой в камере воды (обычно это частицы абразивов или стекла). Обработку детали производят в специальной камере при помощи пистолета, действующего под высоким давлением. Регулируемая струя сжатого воздуха подается к пистолету, а от него распыленная суспензия направляется на деталь. Вода, в которой находятся очищающие частицы, служит своего рода «подушкой» между ними и поверхностью деталей и полностью предотвращает образование пыли. Таким образом, це-

ликом устраняется вопрос техники безопасности, а также проблема загрязнения окружающей среды.

Пескоструйная обработка – это специальный технологический процесс механической очистки различных поверхностей от разного рода защитных покрытий, загрязнений, следов коррозии и т. д. Очистка производится за счет удара песчинок, разогнанных до большой скорости струей сжатого воздуха в специальной установке и вылетающих через сопло, изготовленное из сверхпрочного материала, с обрабатываемой поверхностью.

Преимущества пескоструйной обработки:

- 1) процесс более производителен по сравнению с обычной механической зачисткой;
- 2) позволяет обрабатывать участки и детали различных конструкций (внутренние поверхности), к которым ограничен доступ обычным ручным или электроинструментом;
- 3) после пескоструйной обработки поверхность приобретает повышенные адгезионные свойства;
- 4) относительная дешевизна применяемых материалов.

При газотермическом напылении прочность сцепления покрытия с деталью определяют силы механического зацепления за неровности поверхности (степень адгезии). В этой связи подлежащую напылению поверхность детали подвергают специальной обработке с целью получения максимальной шероховатости. Наиболее широкое применение для этих целей находит метод обработки деталей колотой дробью с острыми кромками и твердостью не менее 60 HRC. В специальных устройствах (дробеструйных пистолетах) частицы дроби (0,5...2,0 мм) сжатым воздухом разгоняются до 30...40 м/с. Этот поток частиц дроби направляется на предварительно обезжиренную поверхность детали. При соударении с деталью частицы дроби создают шероховатость Rz 40...160 мкм (в зависимости от твердости обрабатываемой поверхности). Дробеструйная обработка малогабаритных деталей осуществляется в стационарных камерах (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Камера для дробеструйной обработки деталей (стационарная)

Обезжиривание и травление

Обезжиривание деталей осуществляется в специальной ванне, содержащей раствор следующего состава:

- кальцинированная или каустическая сода – 100 грамм на один литр воды;
- мыло твёрдое – 30 грамм на один литр воды.

Обезжиривание ведётся при кипении раствора. После обезжиривания необходимо промыть детали в холодной проточной воде и охладить до комнатной температуры. Хорошо обезжиренная деталь должна полностью смачиваться водой. Если вода при промывке покрывает поверхность детали не полностью, а собирается каплями, то это указывает на недостаточное обезжиривание. При наличии на поверхности деталей толстого слоя смазки перед обезжириванием необходимо удалить её сухой ветошью.

Травление деталей должно осуществляться в специальной ванне в вытяжном шкафу.

Для приготовления раствора в отмеренное количество воды влить ингибированную соляную кислоту; воду в кислоту лить нельзя, так как это может привести к разбрызгиванию кислоты и сильным ожогам. Температура травильного раствора и погруженных в него деталей должна быть в пределах до 30 °С. Время выдержки деталей в травильной ванне устанавливается опытным путём; в зависимости от состава ванны, степени поражения ржавчиной поверхности очищаемых деталей и состава металла время выдержки может колебаться от 20 минут до 3 часов. По истечении установленного времени травления вынуть детали из травильного раствора и тщательно промыть в ванне с холодной проточной водой, после чего отправить детали на промывку в растворе пассиваторов или на ремонт и оксидирование.

При травлении сильно заржавевших деталей следует растворять только часть ржавчины, так как оставшаяся ржавчина от действия кислоты сильно разрыхляется и может быть снята щеткой и смыта водой.

Контроль, дефектация и сортировка

Очищенные и обезжиренные детали подвергают контролю и сортировке на годные без восстановления, подлежащие ремонту и негодные, т. е. осуществляют операцию дефектации – контроль с целью обнаружения дефектов. Под дефектами детали понимают всякие отклонения ее параметров от величин, введенных техническими обстоятельствами либо рабочим чертежом.

К деталям, годным для дальнейшего использования, относят те, которые имеют допустимые размеры и шероховатость поверхности согласно чертежу и не имеют наружных и внутренних дефектов. Такие детали отправляют на склад запасных частей или в комплектно-вочное отделение.

Детали, износ которых больше допустимого, но годные к дальнейшей эксплуатации, направляют на склад накопления деталей, а далее – в соответствующие ремонтные цехи для восстановления.

Негодные детали отправляют на металлолом, а вместо них со склада выписываются запасные детали.

Результаты дефектации и сортировки фиксируют посредством маркировки деталей краской. Обычно малахитовой (зеленой) краской помечают пригодные для дальнейшего основного использования детали, красной – негодные детали, яичной (желтой) – детали, требующие восстановления.

Количественные данные, позволяющие судить о свойствах и качествах дефектации и сортировки деталей, фиксируют в дефектовочных ведомостях. Эти сведения в дальнейшем после статистической обработки позволяют предопределять либо переправлять коэффициенты годности, сменности и восстановления деталей.

При дефектации выполняют следующие операции. Вначале внешним осмотром невооруженным глазом или с применением лупы, проверкой на ощупь, простукиванием выявляют следующие повреждения деталей: трещины, забоины, риски, обломы, пробоины, вмятины, задиры, коррозию, ослабление плотности посадки. Далее, используя универсальный и специальный измерительный инструмент, определяют геометрические параметры деталей. Для обнаружения скрытых дефектов, проверки на герметичность, упругость, контроля взаимного положения элементов деталей используют специальные приборы и приспособления.

Дополнительная технологическая подготовка деталей

К технологической подготовке деталей для ремонтно-восстановительной наплавки, кроме очистки, обезжиривания и травления, относятся также операции, связанные с удалением дефектного металла, по защите поверхности, не подвергаемой наплавке, от брызг расплавленного металла и термическая подготовка.

Наплавка по плохо подготовленной поверхности приводит к непрочварам, образованию пор и раковин, загрязнению шва неметаллическими включениями. Изношенная или поврежденная резьба перед наплавкой полностью удаляется. Это необходимо потому, что гребни резьбы препятствуют наплавке поверхности короткой дугой. Кроме того, в углубление резьбы впереди дуги затекает шлак, который затем остается внутри наплавленного валика, вызывая дефекты.

Имеющиеся на наплавляемой части поверхности детали отверстия, пазы или канавки, которые необходимо сохранить, заделыва-

ваются медными, графитовыми или угольными вставками. Способ закрепления вставки перед наплавкой выбирается применительно к каждой детали отдельно.

Поверхности детали, не подвергающиеся наплавке, в случае необходимости защищают от брызг окислов сухим или мокрым асбестовым картоном или стеклотканью.

Восстанавливаемые детали в зависимости от материала и его состояния (вида термической или химико-термической обработки) перед наплавкой могут подвергаться предварительному общему подогреву, степень которого зависит от склонности металла к трещинообразованию (технологическая прочность). В ряде случаев изделие перед наплавкой подвергают высокому отпуску для снятия остаточных напряжений или отжигу для устранения структуры закалки.

Пример очистки деталей ДВС

Разобранные детали перед поступлением на контроль подвергаются очистке и обезжириванию. Удаление нагара с поршней, выпускных патрубков, выпускных клапанов и из камер сгорания головок блока производится или механическим, или химическим способом. Для удаления нагара механическим способом применяются металлические щетки и скребки. Привод металлических щеток производится от электродрели. Для удаления нагара из поршневых канавок поршней применяется специальная обжимка с шипами. Шипы плотно входят в поршневые канавки и при подвертывании обжимки снимают нагар. Поршень при этом зажимается в специальные тиски.

Химический способ удаления нагара заключается в выдерживании деталей в ванне с подогретым раствором и последующей промывке. Применяются специальные растворы для удаления нагара или следующий состав ванн: эмульсол 3,5 %, кальцинированная сода 0,15 %, остальное вода. Температура ванны с раствором 60...80 °С. После раствора детали промываются в горячей воде.

Очистка водяной рубашки блоков и головок цилиндров от накипи производится в специальных камерах, оборудованных рольгангами и центробежным насосом. Блок устанавливается на рольганг и при помощи шланга, присоединяемого к боковому фланцу блока, через рубашку прокачивается 10-процентный раствор каустической

сода, подогретый до 60...80 °С, или раствор тринатрийфосфата из расчета примерно 3...5 кг на 1 м³ воды. После удаления накипи рубашка блока промывается чистой водой.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие способы восстановления и упрочнения могут применяться для ремонта деталей автомобилей и тракторов?
2. Кто является основоположником ремонтной сварки и наплавки изделий электродуговыми способами?
3. Какие виды дефектов появляются на деталях автотранспорта при его эксплуатации?
4. Как классифицируются восстанавливаемые детали по условиям их работы?
5. Какими материалами обычно рекомендуется наплавлять изделия, работающие в условиях трения металла о металл?
6. Какими материалами обычно рекомендуется наплавлять изделия, работающие в условиях абразивного изнашивания с ударными нагрузками?
7. Какие операции в обязательном порядке предшествуют технологическому процессу наплавки поверхности?
8. Какие виды очистки поверхностей деталей могут применяться в технологическом процессе подготовки деталей к наплавке?
9. С какой целью осуществляется дефектация и сортировка деталей перед их восстановлением?
10. Какими параметрами определяется выбор способа наплавки изделий?

Глава 2. СПОСОБЫ МЕХАНИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

2.1. Холодная и горячая правка металла

Правка металла – операция, при помощи которой устраняют неровности, кривизну или другие недостатки формы заготовок. Правка металла – это выправление металла действием давления на какую-либо его часть независимо от того, производится это давление прессом или ударами молотка (рихтовка). Правка применяется при искажении формы деталей, например при изгибе, и скручивании валов, осей, шатунов, рам; при вмятинах и перекосах тонкостенных деталей. В зависимости от степени деформации и размеров детали правят с нагревом или без него. Правят стальные листы, листы из цветных металлов и их сплавов, стальные полосы, прутковый материал, трубы, проволоку, стальной квадрат, круг стальной, а также металлические сварные конструкции. Металл правят как в холодном, так и в нагретом состоянии. Правка играет большую роль в восстановлении негодных деталей оборудования. Правильно примененная правка может полностью восстановить деталь, вернув ей первоначальные качества. Правка может осуществляться в холодном состоянии, с подогревом и путем термического воздействия. Обработка металлов давлением при температуре ниже температуры рекристаллизации называется холодной обработкой, а при более высокой температуре – горячей обработкой.

Правка холодным методом основана на механическом воздействии, вызывающем пластические деформации металла. Правку деталей из листового проката выполняют холодным методом вручную или на машинах. При ручной правке металлический лист проколачивают на ровной плите или наковальнях с помощью ручного инструмента или пневматического молотка со специальным зубилом. Машинную правку листовых деталей осуществляют прокаткой и растяжением. Правку прокаткой выполняют на валковых листо-правильных машинах (рис. 2.1). Правку растяжением выполняют на растяжных правильных машинах, состоящих из стола-рольганга и гидравлического цилиндра двустороннего действия с подвижны-

ми зажимами, в которых зажимают листовую деталь. С повышением давления в гидравлическом цилиндре зажимы раздвигаются и создают в укороченных волокнах закрепленного листа растягивающие напряжения, достигающие предела текучести материала. В результате пластического растяжения укороченных волокон материала листовая деталь выпрямляется. В отдельных случаях правку листовых деталей выполняют поперечным изгибом на гидравлическом прессе последовательным нажимом пуансона. Сварные полотна, получившие деформации от усадки сварных швов, правят аналогично деталям из листового проката.

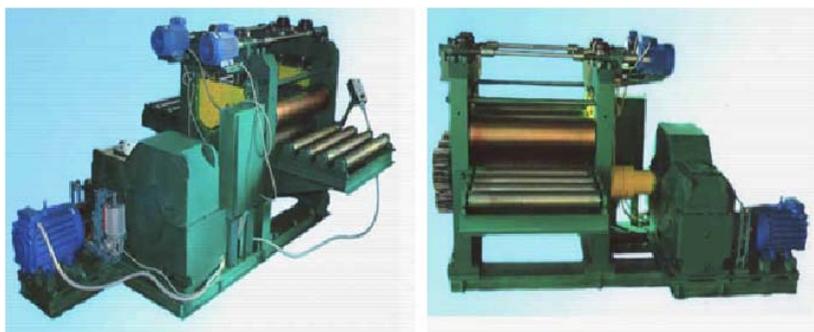


Рис. 2.1. Валковые правильные машины

Правку деталей из профильного проката осуществляют холодным методом – вальцеванием на роликовых машинах, растяжением на растяжных машинах, а также поперечным изгибом на горизонтально-гибочных и гидравлических прессах. Правку сварных тавровых балок, рам, имеющих недопустимые сварочные деформации, выполняют холодным методом аналогично правке деталей профильного проката, а также тепловым методом.

Холодная правка ряда деталей является трудоемкой операцией, в процессе которой необходим контроль эффективности ее применения. Поэтому помимо обычного оборудования и контрольного инструмента (гидравлические прессы, индикаторы) все большее применение находят специальные стенды и приспособления, позволяющие осуществлять правку и комплексную проверку детали в процессе ее применения.

Холодная правка не влияет на структуру металла, так как на самом деле способствует снижению внутреннего напряжения материала. Это значительно отличает ее от горячих методов правки, когда материал подвергают нагреву до температур структурного превращения металла и таким образом наносят ему ущерб. Однако при правке без нагрева у стальных деталей остаются значительные внутренние напряжения. В результате после правки они постепенно принимают первоначальную форму. Для снятия внутренних напряжений после холодной правки деталь необходимо стабилизировать, т. е. выдержать при температуре 400...450 °С около 1 часа или при температуре 250...300 °С в течение нескольких часов.

Недостатки механической холодной правки: опасность обратного действия, снижение усталостной прочности и несущей способности детали. Опасность обратного действия вызвана возникновением неуравновешенных внутренних напряжений, которые с течением времени, уравниваясь, приводят к объемной деформации детали. Ухудшение усталостной прочности деталей происходит за счет образования в ее поверхностных слоях мест с растягивающими напряжениями, причем снижение усталостной прочности достигает 15...40 %.

Для повышения качества холодной правки применяют следующие способы: выдерживание детали под прессом в течение длительного времени; двойная правка детали, заключающаяся в первоначальном перегибе детали с последующей правкой в обратную сторону; стабилизация правки детали последующей термообработкой. Последний способ дает лучшие результаты, но при нагреве может возникнуть опасность нарушения термической обработки детали, кроме того, он дороже первых двух.

Холодная правка валов

При эксплуатации машин у валов возникают дефекты: изгиб; износ рабочих поверхностей; повреждение резьбы, шпоночных канавок и шлицев. Изгиб валов определяют в центрах токарного станка, специальных приспособлений или на призмах с использованием стоек с индикаторами (рис. 2.2).

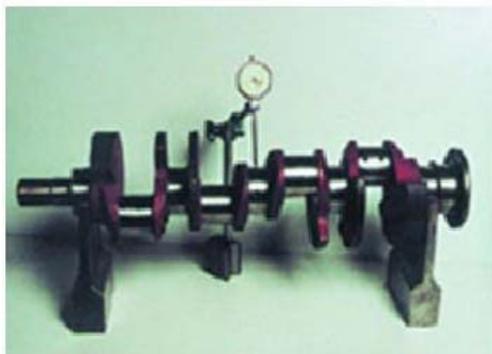


Рис. 2.2. Определение изгиба вала индикаторной головкой на призмах

Изгиб валов устраняют правкой: холодной или горячей. Холодную правку выполняют под прессом. Следует иметь в виду, что при холодной правке в результате появления наклепа в металле возникают внутренние напряжения, величина которых тем выше, чем больше величина деформации при правке. Кроме того, при холодной правке не всегда сохраняется требуемая форма вала (валы могут вновь принимать свою искаженную форму). Поэтому рекомендуется после холодной правки нагреть валы до 400...450 °С, выдержать 1 час и медленно охладить.

Правка по методу Буравцева [17]. Его назвали «поэлементной холодной правкой». В процессе правки по методу Буравцева также используется пресс (рис. 2.3). Ноу-хау заключается в специальном приспособлении, с помощью которого поверхностный слой шейки вала пластически деформируется так, что в нем вместо обычных напряжений растяжения создаются напряжения сжатия. Галтель при этом не затрагивается, а значит, усталостная прочность коленчатого вала после правки не только не уменьшается, но даже возрастает. Более того, избавившись от недостатков ранее известных способов, поэлементная холодная правка позволяет восстановить любые коленчатые валы (и чугунные, и стальные) любых двигателей (от мотоциклов до экскаваторов), имеющих практически любой прогиб. При этом точность правки очень высока. Например, удастся обеспечить взаимное биение коренных шеек 0,01 мм при исходном биении свыше 1 мм.



Рис. 2.3. Правка вала по методу Буравцева

За годы использования способа поэлементной правки на практике накоплен фактический материал о дальнейшей «судьбе» выправленных коленчатых валов как отечественных автомобилей, так и иномарок, включая грузовики и автобусы. Статистика показала, что эти коленчатые валы не возвращаются в изогнутое состояние со временем. Не было и рекламаций, связанных с поломкой валов, что косвенно свидетельствует об их высокой усталостной прочности.

Правка валов наклепом. Способ целесообразен для правки коленчатых валов, биение которых не превышает 0,03...0,05 % от длины вала. Он производится наклепом щек пневматическим молотком со специальной головкой. Коленчатый вал укладывается на призмы верхними коренными шейками или устанавливается в центрах. Продолжительность правки и глубина наклепа (деформации щеки) зависят от силы и числа ударов в единицу времени. По одному и тому же месту не рекомендуют делать более трех-четырёх ударов; контроль эффективности правки осуществляют измерением биения вала. Наклепу подлежат внутренняя и наружная стороны щеки (со стороны шатунной шейки) в зависимости от направления биения вала. Правка наклепом щек коленчатого вала не снижает его усталостной прочности.

Горячая правка металла

Этот метод правки является универсальным. Он осуществляется с помощью обычных средств нагрева и применяется для выправления деталей различной конфигурации с большой степенью точности. Одно из преимуществ метода в том, что он позволяет править литые детали из чугуна, которые иначе выправить почти невозможно. При необходимости процесс можно вести так, что исправление оси детали происходит замедленно и измеряется десятками и сотыми долями миллиметра. Термическим воздействием можно производить правку деталей большого сечения, что особенно ценно при отсутствии на предприятии достаточно мощного прессового оборудования.

При горячей правке выравнивание получается в результате создания напряжений усадки. Это явление объясняется тем, что нагретая часть благодаря увеличению температуры старается расширяться, а окружающая ее область противодействует этому. При этом нагретая часть металла пластически деформируется. После осадки неровности нагретая часть охлаждается и создаваемые напряжения растяжения способствуют выравниванию металла. Правка тем эффективнее, чем быстрее происходит процесс нагревания и охлаждения и чем уже нагреваемая полоса. В то же время слишком узкая полоса нагревания вызывает трещины в материале.

Деталь типа вала или оси круглого сечения или балки прямоугольного сечения, подвергаемая правке, укладывается на две опоры или ставится в центры выпуклостью вверх. Под точку наибольшей вогнутости ставится индикатор, по показаниям которого контролируют ход процесса. Нагрев ведут обычно сварочной горелкой (мощность ее подбирают в зависимости от сечения детали), место наивысшего перегиба ограничивают накладками. Если одноразового нагрева оказывается недостаточно для получения заданной прямолинейности, операцию повторяют, прогревая зону, расположенную рядом с первоначальной. Дважды греть одно и то же место не рекомендуется. Например, требуется выправить шпиндель фрезерного станка, который изогнут до величины прогиба 0,2 мм. Правка ведется на токарном станке. Исправляемый шпиндель закрепляется в патроне и люнете. Для правки деталь нагревают в точке наибольшей выпуклости с последующим охлаждением проточной водой. Место нагрева огра-

ничивается специальным щитком из листового асбеста, смоченного водой. Нагревом с последующим охлаждением ось шпинделя может быть выправлена до прямолинейности 0,01...0,02 мм.

Детали из листовой стали правят по такому же методу, укладывая их для удобства на плиту (рис. 2.4). По прилеганию детали к плите определяют ход процесса правки. Нагрев ведут до температуры 800...900 °С, но не выше 1000 °С. Температуру нагрева можно определить по вишнево-красному цвету детали. Охлаждение можно интенсифицировать путем обдувания нагретой зоны сжатым воздухом или смачиванием водой. Момент начала охлаждения нужно выбирать такой, чтобы не закалить деталь.



Рис. 2.4. Термическая правка листовой стали

Хорошие результаты дает правка термическим воздействием изогнувшихся столов фрезерных, продольно-строгальных, шлифовальных и других станков. Для правки стол укладывают на плиту вниз направляющими. На рабочей поверхности стола наносят мелом черту поперек стола против места наибольшей выпуклости и нагревают полосу вдоль нанесенной черты. Если эта операция производится на плите, то результаты правки контролируются по зазору между направляющими стола и плитой, а также при помощи индикатора.

Термомеханический метод правки. Он отличается от термического тем, что до начала нагрева участка вала, установленного выпуклой стороной вверх, в нем заранее создаются упругие напряжения

с помощью механического нажима, например хомутом. Нажимное устройство устанавливается вблизи от места нагрева, рядом с точкой наибольшего прогиба. Перед началом нагрева этим устройством прогибают вал в противоположную от первоначального прогиба сторону. Контроль величины деформации вала при изгибе его нажимным устройством выполняют при помощи индикаторов. При нагреве вал стремится выгнуться вверх; встречая дополнительное сопротивление вследствие этого, материал в месте нагрева переходит предел текучести раньше, чем при чисто термической правке.

Метод релаксации напряжений заключается в том, что вал на участке его максимального искривления подвергается нагреву по всей окружности и на глубину всего сечения до температуры 600...650 °С. Нагрев производится при вращении вала на малых оборотах. После выдержки при указанной температуре в течение нескольких часов вал устанавливается прогибом вверх, и сразу же на нагретый участок вала с помощью специального приспособления производится нажим в сторону, противоположную прогибу. Нажим производится для создания небольшого напряжения в материале нагретого вала (упругая деформация). Время, в течение которого нагретый вал выдерживается в напряженном состоянии, должно быть достаточным, чтобы под действием нагрузки и высокой температуры необходимая часть упругой деформации перешла в пластическую. Основным достоинством метода правки, основанного на явлении релаксации напряжений, является выпрямление вала с обеспечением стабильности формы при дальнейшей эксплуатации. При этом в процессе правки, проводимой при напряжениях значительно ниже предела текучести, не возникает опасных внутренних напряжений.

2.2. Упрочнение и восстановление деталей пластическим деформированием

Для повышения долговечности и несущей способности транспортных деталей широко используется метод упрочнения поверхностным пластическим деформированием (ППД). ППД – это обработка деталей давлением (без снятия стружки), при которой пластически деформируется только их поверхностный слой. ППД

осуществляется инструментом, деформирующие элементы (ДЭ) которого (шарики, ролики или тела иной конфигурации) взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью по схемам качения, скольжения или внедрения.

При ППД по схеме качения деформирующие элементы (как правило, ролик или шарик) прижимаются к поверхности детали с фиксированной силой P (рис. 2.5, а), перемещаются относительно нее, совершая при этом вращение вокруг своей оси. В зоне локального контакта ДЭ с обрабатываемой поверхностью возникает очаг пластической деформации, который перемещается вместе с инструментом, благодаря чему поверхностный слой последовательно деформируется на глубину H (рис. 2.5, б), равную глубине распространения очага деформации. Размеры очага деформации зависят от технологических факторов обработки – силы P , формы и размеров ДЭ, скорости подачи, твердости обрабатываемого материала и др.

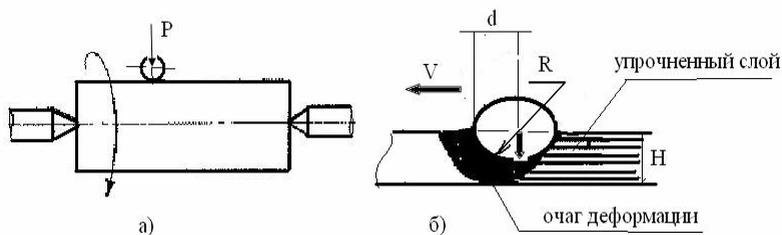


Рис. 2.5. Поверхностное пластическое деформирование по схеме качения:
а – вращение детали с прижатым к поверхности шариком;
б – схема возникновения очага деформации

Упрочнение ППД выполняется с целью повышения сопротивления усталости и твердости поверхностного слоя металла и формирования в поверхностном слое напряжений сжатия, а также регламентированного микрорельефа. Упрочняющую обработку поверхностным пластическим деформированием применяют на финишных операциях технологического процесса вместо или после термообработки, часто вместо абразивной или отделочной обработки. Поверхностное пластическое деформирование, выполняемое без использования внешнего тепла и обеспечивающее создание поверхностного слоя с заданным комплексом свойств, называют *наклепом*.

Наклеп

Наклёп металлов и сплавов — это изменение структуры и, соответственно, свойств металлов и сплавов, вызванное пластической деформацией при температуре ниже температуры [рекристаллизации](#). Наклепом называется также технологический процесс создания упрочнённого состояния материала холодной поверхностной пластической деформацией. Явление наклепа объясняется накоплением в металле части энергии деформации, которая расходуется на искажение кристаллической решётки, образование преимущественно ориентированных кристаллов, изменение дислокационных структур, а также на увеличение удельного объёма металла в слое. Наклеп может быть результатом действия внешних деформирующих сил (деформационный наклеп) или, реже, фазовых превращений (фазовый наклеп). Наклеп сопровождается увеличением прочности и твёрдости и снижением пластичности материала.

В технике наклеп используется для поверхностного упрочнения деталей. Кроме того, наклеп приводит к возникновению в поверхностном слое детали благоприятной системы остаточных напряжений, влияние которых главным образом и определяет высокий упрочняющий эффект поверхностной пластической деформации, выражающийся в повышении усталостной прочности, а иногда и износостойкости. Наклеп осуществляют специальными способами и на специальном оборудовании, например, производят обкатку цилиндрических поверхностей роликами, зубьев зубчатых колёс роликами или зубчатыми накатниками, дробеструйную обработку фасонных поверхностей, обработку ударными инструментами и др.

В машиностроении существует большое число методов ППД, основанных на динамическом (ударном) воздействии инструмента на поверхность детали. В этих процессах инструмент внедряется в поверхностный слой детали перпендикулярно профилю поверхности или под некоторым углом к ней. Многочисленные удары, наносимые инструментом по детали по заданной программе или хаотично, оставляют на ней большое число локальных пластических отпечатков, которые в результате покрывают (с перекрытием или без него) всю поверхность. Размеры очага деформации зависят от

материала детали, размеров и формы инструмента и от энергии удара по поверхности.

Наклеп поверхности дробеструйной обработкой осуществляется за счет кинетической энергии потока чугунной, стальной или другой дроби, который направляется, например, сжатым воздухом через сопло роторного дробемета (рис. 2.6).

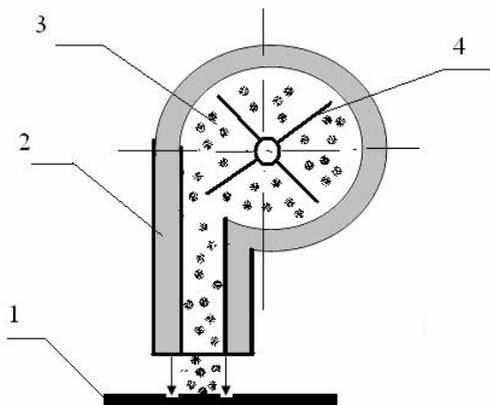


Рис. 2.6. Схема роторного дробемета:
1 – изделие; 2 – корпус дробемета; 3 – дробь чугунная или стальная;
4 – ротор дробемета

Материал, используемый для дробеструйного упрочнения, может подаваться на поверхность детали дробеструйным соплом также с помощью воды или воздействием центробежных сил.

Дробеструйное упрочнение используется в автомобильной промышленности для обработки цилиндрических пружин, установленных на большинстве машин, включая листовые рессоры и торсионы. Часто дробеструйной обработке подвергаются редукторы, коробки передач, оси, валы и шатуны.

В аэрокосмической промышленности дробеструйное упрочнение стало нормативным процессом как на стадии производства, так и на стадии техобслуживания и эксплуатации для многих типов летательных аппаратов. Обычно обрабатываются следующие узлы двигателя: лопасти вентилятора, диски турбины и валы. Используется также та-

кая разновидность дробеструйного упрочнения, как дробеструйное профилирование – для формирования профиля обшивки.

С целью увеличения производительности для дробеструйной обработки применяются камеры с системой сбора дробы (рис. 2.7).

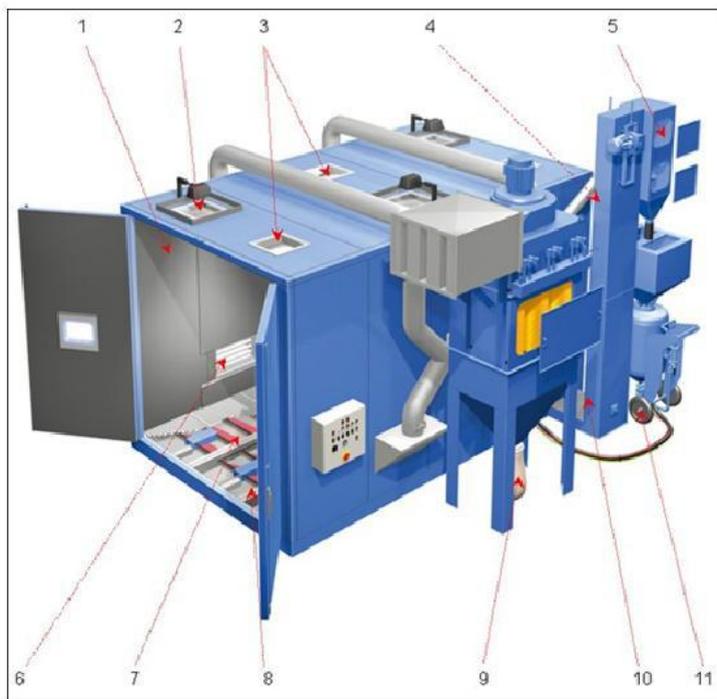


Рис. 2.7. Схема дробеструйной камеры с системой сбора дробы

На рисунке обозначено: 1 – стальные кассеты и внутренние стены, снабжённые резиновыми занавесами для высокой износостойкости; 2 – интенсивное освещение для оптимальных условий видимости; 3 – каналы приточной вентиляции; 4 – элеватор. Транспортирует отработанную дробь вертикально к устройству подготовки дробы; 5 – блок рекуперации дробы со встроенным воздушным сепаратором. Удаляет пыль и грубые частицы из отработанной дробы; 6 – встроенные камеры вытяжной вентиляции с удалением дробы из воздушного потока; 7 – транспортирующий желоб (продоль-

ный). Для транспортирования дробы к поперечному транспортёру; 8 – приводная станция. Для автоматического возвратно-поступательного движения; 9 – фильтровальная установка для вентиляции камеры, очистки воздуха и дробы от пыли; 10 – транспортирующий желоб (поперечный). Транспортирует дробь к элеватору; 11 – дробеструйный аппарат оснащён клапаном-дозатором, смесительной камерой и дробеструйным шлангом с соплом

Преимущества дробеструйного метода:

- 1) простота конструкции;
- 2) концентрированный поток дробы, позволяющий обрабатывать труднодоступные участки деталей;
- 3) возможность получения высоких скоростей полета дробы;
- 4) простота обращения с инструментом (дробью);
- 5) возможность сепарации дробы потоком воздуха;
- 6) отсутствие необходимости промывания детали после упрочнения.

Накатка

Накатка – это процесс обработки материалов поверхностным пластическим деформированием при помощи накатывающего инструмента – роликов, зубчатых накатников, плашек. Формообразующей называется накатка резьбы, зубьев шестерен, шлицов на валах, образование шероховатой поверхности на цилиндрических головках гаек, винтов, рукоятках и других деталях машин и приборов. Упрочняющая накатка – холодная поверхностная пластическая деформация валов, осей, втулок, дисков, зубьев зубчатых колёс, плоских деталей, приводящая к повышению усталостной прочности, износостойкости поверхности.

Накатывание рифленых поверхностей

Накатка, которая делается на поверхностях, охватываемых рукой, бывает прямая (рис. 2.8, а) и сетчатая (рис. 2.8, б). Шаг (рис. 2.8, в) прямой накатки делается независимо от материала детали равным

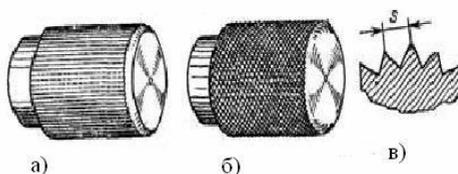


Рис. 2.8. Схема накатки рифленых поверхностей: а – прямая; б – сетчатая; в – шаг накатки

0,5...1,2 мм. Шаг сетчатой накатки на деталях из латуни и алюминия делается 0,6...1,2 мм, а на стальных деталях – 0,6...1,6 мм. Чем тверже материал детали и чем больше ее диаметр, тем крупнее должен быть шаг накатки.

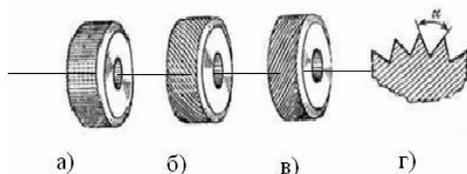


Рис. 2.9. Ролики для накатки поверхностей: *a* – для прямой накатки; *б* – с левой насечкой; *в* – с правой насечкой; *г* – угол насечки

Ролик для получения прямой накатки представлен на рис. 2.9, *a*. Для получения сетчатой накатки необходимо иметь два ролика с левой (рис. 2.9, *б*) и с правой (рис. 2.9, *в*) насечками. Диаметр роликов обычно принимается около 20...25 мм, ширина – 10 мм. Угол *a* между сторонами насечки (рис. 2.9, *г*) следует брать острее для накатки твердых материалов и более тупым, если материал накатываемой детали мягок (для латуни $\alpha = 90^\circ$). Ролики для накатывания изготавливаются из стали марок У10А, У12А, ХВГ, 5ХНМ.

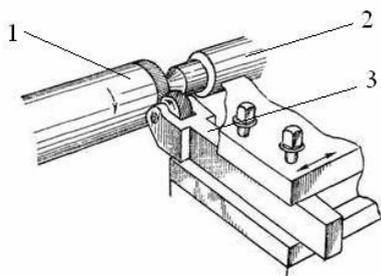


Рис. 2.10. Схема процесса накатки: 1 – деталь; 2 – задняя бабка станка; 3 – державка с накатным роликом

Накатка получается качественной, т. е. без выкрашивания металла, если диаметр поверхности, подготовленной под накатывание, делится без остатка на диаметр ролика. При накатке державка с роликом закрепляется в резцедержателе токарного станка (рис. 2.10). Деталь вращается в обычном направлении. Накатка требуемой глубины получается после нескольких

проходов ролика. Чем крупнее накатка и чем тверже материал, тем больше должно быть сделано проходов. Например, накатка с шагом 1,2 мм на латунной детали может быть получена за 4...6 проходов, а на стальной детали за 6...8 проходов ролика.

Особенности процесса накатывания винтовых профилей

Процесс накатывания винтовых поверхностей представляет собой одну из разновидностей процессов поперечной накатки. Рассмотрим наиболее распространенный процесс накатывания резьбы роликами, при котором из цилиндрических заготовок образуются детали с винтовым профилем. Заготовку, обработанную под накатывание, устанавливают между двумя или тремя вращающимися в одном направлении инструментами, имеющими негативный профиль по отношению к профилю готовой детали (рис. 2.11).

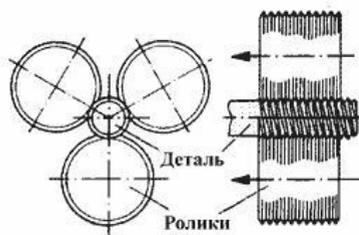


Рис. 2.11. Схема накатки резьбы роликами

Один из инструментов (роликов) подается в радиальном направлении. Таким образом, процесс накатывания поверхностей можно рассматривать как сочетание вдавливания в заготовку профиленкатных инструментов и прокатки, возникающей при вращении заготовки.

Основными особенностями происходящей при накатке пластической деформации являются:

- возможность значительных деформаций без разрушений деформируемого металла (в том числе коррозионно-стойких, жаропрочных и других специальных сталей и сплавов);
- существенное упрочнение поверхностных слоев в процессе деформации и связанное с этим повышение нагрузочной способности накатанных деталей.

Многие эксплуатационные свойства деталей машин в значительной степени обуславливаются геометрическими характеристиками микрорельефа и физико-механическим состоянием поверхностного слоя рабочих поверхностей деталей. При накатывании вследствие скольжения на контакте образуется поверхность, обладающая оптимальной шероховатостью, повышенной твердостью (наклепом), однородной микроструктурой и оптимальной текстурой прилегающих к поверхности слоев материала.

Прочность накатанного винтового профиля при статических нагрузках выше прочности профиля, обработанного резанием, примерно на 10 % при испытании на растяжение и на 20...35 % при испытании витков на срез.

Для высоконагруженных резьбовых деталей местом наибольшей концентрации напряжений являются впадины профиля. Поэтому для повышения усталостной прочности необходимо стремиться к минимальному параметру шероховатости поверхности таких участков; в этом отношении накатанный профиль обладает преимуществами перед нарезанным профилем.

Изменение физико-механических свойств поверхностного слоя металла в процессе накатывания профиля оказывает еще большее влияние на усталостную прочность деталей. Образующийся наклеп поверхностного слоя и текстура металла в значительной степени повышают циклическую прочность деталей. Этому способствуют также остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое металла.

Накатывание резьбы неприводным цилиндрическим инструментом осуществляется с помощью резьбонакатных головок и державок, устанавливаемых на суппортах универсального оборудования (рис. 2.12).

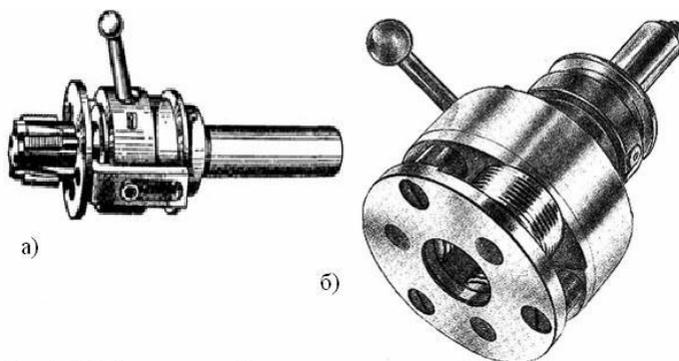


Рис. 2.12. Головки резьбонакатные: *a* – для внутренней резьбы; *б* – для наружной резьбы

Использование резбонакатных головок и устройств расширяет область применения накатывания и обеспечивает получение этим способом точной резьбы на универсальных металлорежущих станках: токарных, токарно-револьверных, одно- и многошпиндельных автоматах. Применение головок и устройств позволяет получать окончательно обработанные детали, удовлетворяющие необходимым требованиям по соосности, биению и стабильности размеров резьбы, не выделяя изготовление резьбы в самостоятельную операцию.

Кроме указанных способов накатки резьбы существует еще несколько разных способов и устройств, например: накатывание плоскими плашками, накатывание инструментом типа «ролик-сегмент», а также с помощью специализированных резбонакатных автоматов.

Выглаживание и дорнование

К методам поверхностного пластического деформирования, в которых деформирующие элементы (ДЭ) работают по схеме скольжения, относятся *выглаживание и дорнование*. Для этих процессов ДЭ должны изготавливаться из материалов, имеющих высокую твердость (алмаз, твердый сплав и т. п.) и не склонных к адгезионному схватыванию с обрабатываемым материалом.

Выглаживание заключается в пластическом деформировании обрабатываемой поверхности скользящим по ней инструментом (рис. 2.13).

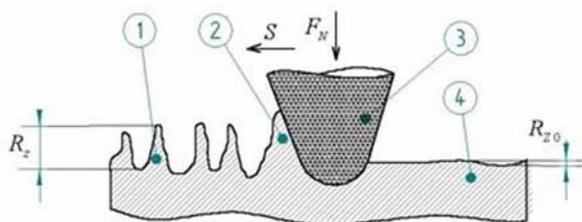


Рис. 2.13. Схема деформирования поверхностного слоя при алмазном выглаживании: 1 – микронеровности исходной поверхности; 2 – наплыв; 3 – выглаживатель; 4 – поверхность после выглаживания

Неровности поверхности от предшествующей обработки после выглаживания уменьшаются или полностью исчезают. При этом уменьшение шероховатости сопровождается повышением твердости поверхностного слоя. Алмазное выглаживание применяется для ППД закаленных сталей и деталей маложестких, то есть когда невозможно применить обработку накатыванием. Недостатком выглаживания является низкая производительность и невысокая стойкость инструмента.

Дорнование (дорнирование) – вид обработки заготовок без снятия стружки. Сущность дорнования сводится к перемещению в отверстии заготовки с натягом жесткого инструмента – дорна. Размеры поперечного сечения инструмента больше размеров поперечного сечения отверстия заготовки на величину натяга. Дорнование – деформирующее протягивание, калибрование, применяется для обработки отверстий (рис. 2.14).

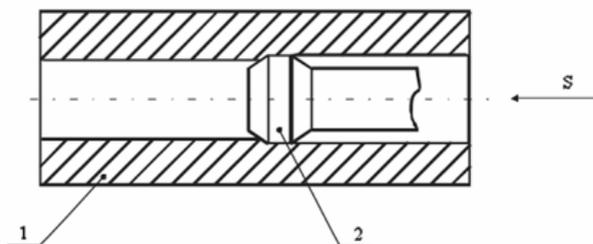


Рис. 2.14. Схема дорнования: 1 – изделие; 2 – дорн;
 s – направление подачи

Это высокопроизводительный процесс, сочетающий возможности чистовой, упрочняющей, калибрующей и формообразующей обработки. Формообразующая обработка применяется для получения на поверхности детали мелких шлицов и других рифлений. Толщина упрочненного слоя при дорновании регулируется натягом, т. е. разностью диаметров дорна и отверстия заготовки.

Дорнование подразделяют на поверхностное и объёмное. При поверхностном дорновании пластически деформируется поверхностный слой, при объёмном – пластическое деформирование

происходит по всему поперечному сечению обрабатываемой детали. Поверхностное дорнование относят к методам поверхностного пластического деформирования (ППД), а объёмное дорнование к методам обработки металлов давлением (ОМД).

Инструмент для поверхностного дорнования изготавливают из твёрдых сплавов. Твёрдые сплавы, обладая рядом преимуществ, хуже воспринимают ударные и изгибные нагрузки по сравнению инструментальными и подшипниковыми сталями.

Осадка, обжатие, вытяжка, раздача

Осадка применяется для увеличения наружного диаметра сплошных деталей или для уменьшения внутреннего диаметра полых. При осадке диаметр детали увеличивается за счет уменьшения ее длины. Этим способом восстанавливают различные втулки при износе по наружному или внутреннему диаметру, цапфы валов, оси, клапаны двигателей внутреннего сгорания, зубчатые колеса и другие детали, имеющие поверхностный износ не более 1 % их диаметра. Осадкой увеличивают диаметр деталей типа пальцев и втулок из цветных металлов за счет некоторого уменьшения их длины.

Этим способом можно уменьшить длину деталей до 15 %, однако ответственные детали не уменьшают больше чем на 8 %. Припособление для осадки состоит из верхней и нижней подставок и цилиндрической оправки, диаметр которой должен быть меньше окончательного диаметра отверстия примерно на 0,2 мм. После осадки под прессом отверстие втулки развертывают до требуемого размера. Небольшие по ширине цилиндрические зубчатые колеса восстанавливают в нагретом состоянии с помощью специальных штампов, которые позволяют получить небольшое утолщение зубьев и уменьшение отверстия ступицы.

Отверстие ступицы после осадки растачивают, а затем обтачивают наружные поверхности и нарезают зубья колеса. Если необходимо, производят термическую обработку зубьев на режимах, предусмотренных для новых зубчатых колес.

Обжатие проводят при необходимости уменьшить внутренний диаметр полых деталей за счет изменения наружного диаметра. Этим способом восстанавливают втулки из цветных металлов,

проушины различных рычагов при износе гладких или шлицевых отверстий, корпуса гидронасосов и пр. При обжатию изношенную втулку проталкивают с помощью пуансона через отверстие матрицы, размер которой, регулируемый вкладышем, равен наружному диаметру обжатой втулки. После обжатия наружный диаметр увеличивают, например, с помощью электролитического наращивания слоя металла, а внутренний – развертывают до требуемого размера. Обжатием уменьшают внутренние размеры деталей типа втулок, изготовленных из цветных металлов. Втулку проталкивают пуансоном через установленную в подставке матрицу. Входное отверстие матрицы сужается под углом $7...8^\circ$, далее идет калибрующая часть, которая заканчивается входным отверстием, расширяющимся углом $18...20^\circ$. После обжатия наружную поверхность втулок омедняют и протачивают, а внутреннюю развертывают.

Вытяжка применяется для увеличения длины детали за счет местного (на небольшом участке) сужения ее поперечного сечения. Этот способ используют при ремонте тяг, штанг и др.

Раздача применяется для увеличения наружного диаметра за счет увеличения внутреннего диаметра полых деталей. Этим способом восстанавливают бронзовые втулки шестеренчатых насосов гидросистем, трубы рулевой колонки и пр. Раздачу чаще проводят в холодном состоянии, закаленные детали предварительно подвергают отпуску или отжигу. Наиболее часто этот способ применяют при восстановлении поршневых пальцев двигателей внутреннего сгорания. Изношенный палец устанавливают в специальную матрицу и раздают с помощью пуансона на прессе.

2.3. Ультразвуковое упрочнение деталей машин

Сущность ультразвукового упрочнения (УЗУ) поверхностей деталей машин состоит в том, что под суммарным воздействием статической и динамической сил, передаваемых поверхности посредством инструмента, значительно изменяются ее свойства. А именно: пластически деформируется поверхностный слой детали, снижается шероховатость поверхности, почти в 2 раза увеличивается микротвердость, а глубина упрочненного слоя достигает 0,5 мм.

Статической силой здесь является усилие прижатия инструмента к поверхности изделия, а динамическая сила создается колебательной системой, включающей ультразвуковой генератор, волновод и упрочняющий инструмент.

К параметрам режима УЗУ относятся статическая сила, амплитуда колебаний инструмента, радиус его округления, частота колебаний, эффективная масса инструмента, продольная подача, число рабочих ходов, скорость обработки детали.

При ультразвуковом упрочнении рабочая часть инструмента выполняется обычно из твердосплавных материалов ВК8, Т15К6 или закаленных сталей ШХ15 с радиусом закругления 8 мм. Рабочая часть инструмента прижимается к обрабатываемой детали с помощью груза с усилием 300...400 Н и приобретает ультразвуковые колебания, создаваемые ультразвуковым генератором, магнито-стрикционным преобразователем и коническим концентратором. Частота колебаний инструмента 18...24 кГц, амплитуда колебаний 10...20 мкм, скорость обработки поверхности детали 0,9...1,0 м/с. Продольная подача инструмента $S = 0,125$ мм/об. С целью уменьшения износа инструмента и повышения производительности процесса при упрочнении используют смазочно-охлаждающую жидкость – индустриальное масло [14].

Применение ультразвукового упрочнения особенно эффективно для инструментов, зубьев колес, деталей, изготовленных из чугуна, цветных металлов и сплавов, в том числе твердосплавных, а также для деталей сложной формы, так как при ультразвуковом упрочнении не требуется использование следящей системы или копира.

Ультразвуковая импульсная упрочняюще-чистовая обработка

Впервые информация об ультразвуковом способе обработки появилась в работах профессора И.И. Муханова в 1964 году. В настоящее время в России оборудование для ультразвукового метода обработки производят несколько организаций. Значительных достижений в данном направлении добился «Северо-западный центр ультразвуковых технологий» под руководством доктора технических наук, профессора Ю.В. Холопова. Другое название этого способа

металлообработки – безабразивная ультразвуковая финишная обработка (БУФО).

Ультразвуковая обработка применяется после чистовой токарной обработки. Ультразвуковой инструмент, зажатый в резцедержателе универсального токарного станка, под действием статической силы, создаваемой прижимом, и динамической силы, создаваемой ультразвуковой колебательной системой, пластически деформирует и упрочняет поверхностный слой детали, увеличивает микротвердость, снимает остаточные макро- и микронапряжения, сглаживает неровности поверхности и создает в итоге улучшенный поверхностный слой с регулярным характером микрорельефа (рис. 2.15).



Рис. 2.15. Ультразвуковая импульсная упрочняюще-чистовая обработка деталей: *а* – упрочнение цилиндрической детали на токарном станке; *б* – инструмент для обработки внешних поверхностей; *в* – для обработки внутренних поверхностей

В результате применения данного способа микротвердость поверхности возрастает на 30...300 %, а шероховатость снижается в два раза. Такое качество поверхности можно получать не только на термически обработанных и сырых сталях, но и на чугунах, цветных металлах и сплавах.

Толщина наклепа после ультразвуковой обработки может быть до 0,1 мм. Оптимально сочетая статическую и динамическую составляющую силы ультразвуковой обработки, можно превысить предел те-

кучести обрабатываемого металла и тем самым проводить коррекцию геометрии обрабатываемой детали, т. е. осуществлять правку.

Отсутствие внедренных в поверхность деталей зерен абразива увеличивает до двух раз срок службы сопряженных деталей (пар скольжения, уплотнительных сальников, сальниковой набивки и т. д.). К тому же регулярный микрорельеф повышает свойство удержания обработанной поверхностью масел и смазок, что улучшает коррозионную устойчивость обработанной поверхности.

Перечисленные свойства доказывают, что детали машин и механизмов, подвергнутые ультразвуковой импульсной упрочняющей обработке, имеют большую износостойкость, циклическую, контактную, усталостную прочность, чем после шлифования, обкатывания шаром и других финишных способов обработки поверхности деталей.

Ультразвуковое деформационное упрочнение деталей автомобилей

Упрочнение осуществляют за счет энергии удара об обрабатываемую поверхность стальных шариков, разгоняемых стенками волновода, колеблющимися с ультразвуковой частотой. В результате высокой частоты ударов и относительно большой энергии происходит интенсивная пластическая деформация металла, вследствие чего изменяются исходное состояние микрогеометрии и физические свойства поверхностного слоя. Поверхностный слой упрочняется, в нем наводятся остаточные напряжения сжатия.

Используют также ультразвуковое упрочнение (УЗУ), когда загружаемым рабочим телам, помещённым в замкнутый объём вместе с обрабатываемой деталью, сообщают ультразвуковые колебания, под действием которых происходит упрочнение обрабатываемой поверхности. Процесс (рис. 2.16) напоминает виброударную обработку.

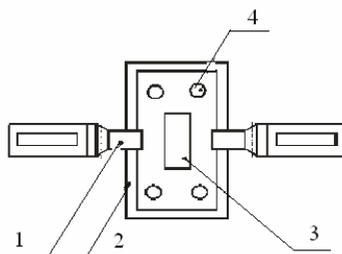


Рис. 2.16. Схема ультразвукового упрочнения шариками:
1 – волновод; 2 – камера;
3 – обрабатываемая деталь;
4 – стальные шарики

Виброударная обработка – это обработка рабочими телами деталей в замкнутом объёме при его вибрации. При этом виде обработки частота вибрации рабочей среды гораздо ниже частоты ультразвуковых колебаний.

Для вибрационной ударной обработки используют рабочие тела из различных материалов и жидкие рабочие среды. Кроме стальных и полимерных шариков (ГОСТ 3722–81, ОСТ 1.51334–73), стальной и чугунной дроби (ГОСТ 1 1964–81 Е) применяют металлическую сечку из проволоки, гранулы из алюминиевых и цветных сплавов.

При виброударной обработке в рабочей камере, смонтированной на упругих подвесках и имеющей возможность колебаться в различных направлениях, сообщаются низкочастотные колебания – в большинстве случаев с помощью дисбалансного вибратора. Виброударная обработка производится в результате множества микроударов и относительного скольжения с определённым давлением рабочих тел по поверхности обрабатываемой детали. Рабочие тела движутся с переменным ускорением, что обеспечивает их большую подвижность. Вследствие высокой относительной подвижности рабочие тела хорошо вписываются в фасонную поверхность деталей, за счёт чего этим методом можно упрочнять как наружные, так и внутренние поверхности сложных деталей различных размеров. В силу ограниченных энергетических возможностей продолжительность упрочнения значительна (от 10...20 минут до нескольких часов), а вероятность перенаклёпа исключается, т. е. виброударная обработка по сравнению с другими способами ППД обладает ограниченными энергетическими возможностями.

Применение ультразвукового упрочнения может быть эффективно в следующих случаях:

- для деталей термически и химико-термически обработанных сталей У10А, У12, Х40, ШХ 15, сталей аустенитной структуры 12Х18Н9Т и других, где применение иных методов обработки не позволяет получить значительный упрочняющий эффект;
- деталей и инструментов из твердых сплавов;
- деталей малой и неравномерной жёсткости.

Проведенные сравнительные исследования свойств поверхностного слоя наплавленных коленчатых валов после шлифования без

ультразвука и после выглаживания с применением УЗУ показали, что наибольший эффект получен на деталях после УЗУ. При этом твердость поверхности детали увеличилась на 30 %, толщина упрочнения составила 0,6...0,8 мм, микротвердость увеличилась на 50 %, шероховатость уменьшилась с 1,63 до 0,2 мкм.

Важным преимуществом УЗУ является также образование в поверхностном слое наплавленных деталей остаточных напряжений сжатия.

Лабораторные испытания на износостойкость наплавленных и упрочненных ультразвуковым инструментом шеек коленчатых валов показали их меньший износ по сравнению с неупрочненными примерно в 7 раз. Износостойкость упрочненных шеек по сравнению с образцами, не наплавленными (контрольными), изготовленными из стали 45 и закаленными ТВЧ, повысилась примерно в 4,7 раза [20].

2.4. Восстановление деталей слесарно-механической обработкой

Слесарно-механическая обработка подразделяется на слесарную и механическую. Слесарные работы обычно дополняют или завершают механическую обработку восстанавливаемых деталей. Их применяют также при подготовке деталей к восстановлению другими способами, например сварке, пайке, склеиванию и т. д. К слесарным работам относятся опиловка, развертывание, зенкерование отверстий, сверление, прогонка и нарезание резьбы, шабрение, притирка, доводка до более полного прилегания.

Способы ремонта поверхностей слесарной обработкой

К таким способам относятся опилование, шабрение, притирка, развертывание и др. Обработка напильником обеспечивает шероховатость поверхности 20 мкм и применяется при работах, не требующих высокой точности.

Шабрением достигается шероховатость поверхности 0,32 мкм. Шабрение применяют при ремонте подшипников скольжения и некоторых других деталей компрессоров. Это технология высокоточного выравнивания поверхности детали из металла с помощью специального режущего инструмента – шабера.

Притирка пастами обеспечивает шероховатость поверхности 0,02 мкм и точность 5...7 квалитетов. Притирка находит широкое применение при ремонте деталей рабочих клапанов, сальников, запорной арматуры.

Развертывание применяют для чистовой обработки отверстий, например отверстий в бобышках поршня. Развертывание обеспечивает точность 7...9 квалитетов и шероховатость поверхностей 0,16 мкм. Это чистовая обработка поверхностей, когда достигается высокая точность. Развертывание осуществляется с помощью развертки (рис. 2.17). Высокое качество обработки обеспечивается тем, что развертка имеет большое число режущих кромок и снимает малый припуск.



Рис. 2.17. Развертка – режущий инструмент, который нужен для окончательной обработки отверстий после сверления, зенкерования или растачивания

Механическая обработка применяется как самостоятельный способ восстановления деталей, а также в качестве операций, связанных с подготовкой или окончательной обработкой при восстановлении другими способами. Механическая обработка связана с выбором инструмента и режима обработки. При механической обработке восстанавливаемых деталей необходимо обеспечивать требуемую шероховатость, точность размеров формы и взаимного расположения рабочих поверхностей. Точность взаимного распо-

ложения поверхностей на детали зависит от правильного выбора технологической базы при её обработке. Технологическая (обработочная) база – это поверхности на детали, которые определяют положение детали в приспособлении относительно режущего инструмента. В качестве технологической базы рекомендуются поверхности, которые использовались при изготовлении этой детали.

Сущность слесарно-механической обработки заключается в восстановлении правильной геометрической формы и поверхностных свойств деталей, а также обеспечении их первоначальной посадки.

Слесарно-механическую обработку как способ восстановления деталей можно разделить на следующие виды:

- штифтовка;
- постановка заплат;
- шлифование и притирка;
- восстановление деталей под ремонтный размер;
- постановка дополнительной детали.

Штифтовка применяется для заделки трещин длиной менее 30 мм. Ремонт деталей штифтовкой заключается в заделке трещин в неотчетственных местах путем постановки на всей длине трещины штифтов из красной меди или латуни с последующей их расчеканкой и поверхностным лужением.

Последовательность штифтовки:

- 1) определить границы трещины (мел и керосин);
- 2) засверлить концы трещины, нарезать резьбу и ввернуть штифты из красной меди или латуни;
- 3) просверлить отверстие на расстоянии 9...10 мм от оси первого отверстия, просверленного в конце трещины, и ввернуть штифт;
- 4) просверлить отверстие между штифтами так, чтобы оно захватило 1/3 части одного и другого штифта, и поставить штифты вдоль всей трещины. Штифты должны выступать над поверхностью металла на 0,1...0,2 мм;
- 5) расчеканить выступающие концы штифтов и пропаять мягким припоем.

Постановкой заплат восстанавливаются картеры агрегатов автомобилей, имеющих пробоины и трещины. Заплаты устанавливаются следующими способами:

- на винтах;
- на заклепках;
- приваркой;
- приклеиванием.

Шлифование и притирка. Шлифование – обработка поверхности материала с помощью режущего инструмента или абразивного материала. Этот способ наиболее часто применяется при ремонте сопряжения седла – клапан. Для седел выпускного клапана применяют конусные абразивы под углом 30° (относительно горизонтальной оси), для выпускного клапана – 45°. Ремонт рабочих фасок седел клапанов производят шлифованием специальными абразивными камнями. Притирка является завершающей операцией при восстановлении герметичности клапанов.

Технические условия:

- перед исправлением седла клапана следует проверить состояние направляющей клапана;
- ширина рабочей фаски клапана не менее 2,5...3,0 мм.

Восстановление изделий способом дополнительных деталей применяется в том случае, когда необходимо восстановить и характер посадки, и первоначальные размеры деталей. Сущность состоит в том, что изношенная поверхность обрабатывается под больший или меньший размер и в основную деталь устанавливается дополнительная деталь (ввертыш, втулка и т. д.). Этим способом восстанавливаются как круглые, так и плоские детали. Для восстановления плоских поверхностей применяются пластины, диски, кольца. Для восстановления резьбовых отверстий используются ввертыши. Например, если изнашивалась резьба в отверстии для свечи на головке блока цилиндров, то это отверстие рассверливают под больший размер, нарезают в нем резьбу, а затем вворачивают специально подготовленную втулку с внутренней резьбой, соответствующей резьбе свечи зажигания.

Вопросы для самоконтроля

1. На чем основана правка металла холодным методом?
2. Каковы недостатки механической холодной правки?
3. В чем заключается сущность правки коленчатых валов по методу Буравцева?
4. В чем заключается сущность метода горячей правки металла?
5. Каковы недостатки способов горячей правки деталей?
6. В чем состоит сущность термомеханического метода правки?
7. С какой целью осуществляют поверхностное пластическое деформирование (ППД) изделий?
8. Какой технологический процесс называется наклепом?
9. Какие методы ППД основаны на динамическом (ударном) воздействии инструмента на поверхность детали?
10. Какие виды накатки применяются при обработке поверхностей деталей?
11. В каких методах поверхностного пластического деформирования деформирующие элементы работают по схеме скольжения?
12. В чем состоит сущность метода ультразвукового упрочнения поверхностей деталей машин?
13. За счет чего осуществляется ультразвуковое деформационное упрочнение деталей автомобилей?

Глава 3. НАПЛАВКА И РЕМОНТНАЯ СВАРКА

3.1. Классификация способов наплавки. Преимущества и недостатки технологии наплавки

Способы наплавки, как и способы сварки, классифицируются по трем типам признаков (ГОСТ 19621–74): физическим, техническим и технологическим. Наиболее распространена и удобна классификация по физическому признаку (используемый источник нагрева). По нему основные способы наплавки и наварки можно разделить на три группы (рис. 3.1):

- 1) *термические* (электродуговая, электрошлаковая, плазменная, электронно-лучевая, лазерная (световая), индукционная, газовая, печная);
- 2) *термомеханические* (контактная, прокаткой, экструдированием);
- 3) *механические* (взрывом, трением).



Рис. 3.1. Способы наплавки

В свою очередь, большинство из этих способов могут подразделяться по техническим (способ защиты металла в зоне наплавки, степень механизации процесса, непрерывность наплавки) и технологическим (по роду тока, количеству электродов, наличию внешнего воздействия и т. п.) признакам.

Сущность процесса наплавки заключается в использовании теплоты для расплавления присадочного материала и его соединения с основным металлом детали. Используя возможности дуговой наплавки, на поверхности детали можно получить наплавленный слой любой толщины, любого химического состава с разнообразными свойствами. Наплавка может производиться в один или несколько слоев на различные поверхности:

- плоские;
- цилиндрические;
- конические;
- сферические и др.

Толщина слоя наплавки может изменяться в широких пределах – от долей миллиметра до десятков миллиметров. При наплавке поверхностных слоев с заданными свойствами, как правило, химический состав наплавленного металла существенно отличается от химического состава основного металла. Поэтому при наплавке должен выполняться ряд технологических требований.

1. Минимальное разбавление наплавленного слоя основным металлом, расплавляемым при наложении валиков. Поэтому в процессе наплавки необходимо получение наплавленного слоя с минимальным проплавлением основного металла, так как в противном случае возрастает доля основного металла в формировании наплавленного слоя. Это приводит к ненужному разбавлению наплавленного металла расплавляемым основным.

2. Обеспечение минимальной зоны термического влияния и минимальных напряжений и деформаций. Это требование обеспечивается за счет уменьшения глубины проплавления, регулированием параметров режима, погонной энергии, увеличением вылета электрода, применением широкой электродной ленты и другими технологическими приемами.

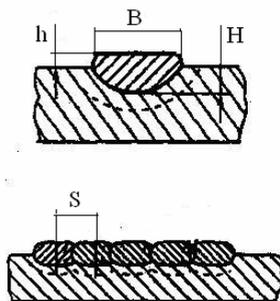


Рис. 3.2. Способы наложения слоёв при наплавке: В – ширина валика; h – высота наплавки; Н – глубина проплавления; S – шаг наплавки

Технология наплавки различных поверхностей предусматривает ряд приемов нанесения наплавленного слоя (рис. 3.2):

- ниточными валиками с перекрытием один другого на 0,3...0,4 их ширины;
- широкими валиками, полученными за счет поперечных к направлению оси валика колебаний электрода, электродными лентами и др.

Расположение валиков с учетом их взаимного перекрытия характеризуется шагом наплавки. Наплавку криволинейных поверхностей тел вращения выполняют тремя способами: наплавкой валиков вдоль образующей тела вращения; по окружностям; по винтовой линии (рис. 3.3). Наплавку по образующей выполняют отдельными валиками, как при наплавке плоских поверхностей. Наплавка по окружности также осуществляется отдельными валиками до полного замыкания начального и конечного участков со смещением их на определенный шаг вдоль образующей.

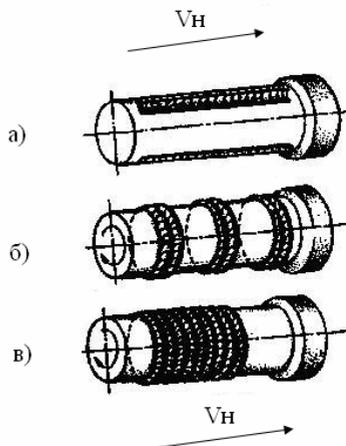


Рис. 3.3. Наплавка тел вращения:
а – по образующей;
б – по окружности; в – по винтовой
линии; V_n – скорость наплавки

При винтовой наплавке деталь вращают непрерывно, при этом источник нагрева перемещается вдоль тела со скоростью, при которой одному обороту детали соответствует смещение источника нагрева, равное шагу наплавки. При наплавке тел вращения необходимо учитывать возможность стекания расплавленного металла в направлении вращения детали.

В этом случае источник нагрева смещают в сторону, противоположную направлению вращения. Предварительный подогрев наплавляемой детали до температуры 200...250 °С уменьшает склонность наплавленного металла к образованию трещин. Все дефекты в наплавленном металле можно подразделить на наружные и внутренние. К последним относятся непровар (несплавление наплав-

ленного металла с основным), пористость, трещины и шлаковые включения. Наружные дефекты, к которым относятся раковины и трещины, выявляют визуально.

Режимы ручной дуговой наплавки характеризуются диаметром электрода, силой, родом и полярностью сварочного тока.

При автоматической наплавке в технологии описывают тип электродного материала (проволока, лента: сплошного сечения, порошковая), значение силы тока, напряжение дуги, длину дуги, скорость наплавки. При наплавке в защитном газе дополнительно указывают защитный газ; при наплавке под флюсом – марку флюса.

По сравнению с другими способами поверхностной обработки металла технология наплавки обладает рядом преимуществ и недостатков.

Преимущества

1. Возможность нанесения металлического покрытия большой толщины. Это приносит большой эффект при восстановлении деталей с большой величиной износа, кроме того, позволяет изготавливать сосуды высокого давления из обычной стали с последующей наплавкой коррозионно-стойкой стали на внутреннюю поверхность, что более экономично по сравнению с применявшейся ранее технологией изготовления сосудов из плакированной стали, получаемой прокаткой.

2. Высокая производительность наплавки, особенно механизированных и автоматизированных способов.

3. Относительная простота конструкции и транспортабельность оборудования, приспособленного для выполнения работ вне помещений, например, наплавка деталей землеройных и сельскохозяйственных машин в полевых условиях.

4. Отсутствие ограничений по размерам наплавляемых поверхностей изделий; наплавку можно применять для таких крупногабаритных объектов, как сосуды высокого давления атомных реакторов, конусы засыпных аппаратов доменных печей и т. д., тогда как другие способы поверхностной обработки (электролитическое или горячее металлопокрытие, цементация и т. д.) имеют существенное ограничение по размерам обрабатываемых изделий.

5. Простота выполнения процесса наплавки, не требующая высокой квалификации сварщика, при автоматическом или полуавтоматическом режиме наплавки.

6. Возможность нанесения износостойкого слоя на основной металл любого состава.

7. Возможность повышения эффективности наплавки путем её сочетания с другими способами поверхностной обработки; например, после наплавки изделие подвергают плазменной закалке или азотированию.

Недостатки

1. Ухудшение свойств наплавленного слоя из-за перехода в него элементов основного металла; например, снижение коррозионной стойкости, износостойкости и т. д.

2. Деформация изделия, вызываемая высокой погонной энергией наплавки. Неправильный выбор режима наплавки может привести к чрезмерной деформации изделия, поэтому для сохранения точности размеров и формы изделия необходимо принимать особые меры, например, наплавку изделия необходимо проводить в зажатом состоянии, исключая его деформацию, создавать «обратную» предварительную деформацию, осуществлять последующую механическую обработку.

3. Неравномерность свойств наплавленных изделий, обусловленная тем, что наплавленный слой, в отличие от плакированного, имеет характерные свойства и особый состав, присущий металлу сварного шва. Поэтому для получения качественных наплавленных слоев сварщику необходимо иметь специальные сведения в области теоретической подготовки, например, металловедения, термической обработки, технологической прочности.

4. Более ограниченный выбор сочетаний основного и наплавляемого металлов, чем, например, при напылении. Наплавка допускает разнообразные сочетания основного и наплавляемого металлов, однако в отличие от напыления имеются определенные ограничения, например, при наплавке титаном на стальную поверхность на границе основного металла и наплавленного слоя образуется хрупкая прослойка интерметаллических соединений, что практически исключает возможность применения методов наплавки титаном.

5. Трудность наплавки мелких деталей сложной формы. Наплавка сопровождается оплавлением поверхностного слоя основного металла и протекает в условиях непрерывного перемещения сварочной ванны, состоящей из смеси основного и наплавляемого металлов. При наплавке мелких деталей условия формирования такой ванны ухудшаются, а при сложной форме изделия также затруднено её плавное перемещение, что исключает образование ровного качественного наплавленного слоя. Кроме того, мелкие детали от воздействия сварочной дуги быстро нагреваются до температуры пластического течения металла, и в результате может происходить изменение формы изделия и даже его частичное расплавление.

Изложенные выше преимущества и недостатки процесса наплавки следует учитывать при выборе оптимального способа её осуществления, требуемого сварочного оборудования и наплавочных материалов.

3.2. Электродуговые способы наплавки. Ручная дуговая наплавка

Дуговая наплавка покрытыми электродами является наиболее распространенным способом ремонта (восстановления формы и размеров) деталей автомобилей, тракторов и других машин и механизмов вследствие простоты ее осуществления и мобильности оборудования. Наплавку осуществляют обычно вручную, поэтому такой способ называют также ручной дуговой наплавкой.

Электродное покрытие служит для защиты ванны жидкого металла от кислорода и азота воздуха, стабилизации дуги, повышения технологичности процесса наплавки и введения легирующих элементов в состав наплавленного металла. Применяют следующие виды электродного покрытия: ильменитовое с содержанием более 30 % ильменита ($\text{FeO} \times \text{TiO}_2$); высокоцеллюлозное с содержанием 20...30 % целлюлозы; карбонатно-рутиловое; основное (фтористо-кальциевое), основными компонентами которого являются карбонат кальция и флюорит; высокорутиловые с содержанием до 35 % рутила (TiO_2).

Дуговая наплавка покрытыми электродами отличается низкой стоимостью оборудования, возможностью выполнения наплавки вручную (рис. 3.4).

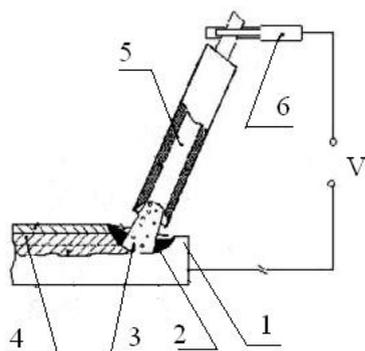


Рис. 3.4. Схема ручной дуговой наплавки покрытым электродом:
 1 – изделие; 2 – сварочная ванна; 3 – электрическая дуга;
 4 – наплавленный валик; 5 – покрытый электрод; 6 – электрододержатель

Выбор электродов для наплавки

Выбранные для наплавки конкретных изделий электроды должны обеспечивать получение требуемых свойств поверхности детали и давать наплавленный металл высокой износостойкости, необходимой вязкости, который должен удовлетворительно обрабатываться механическим способом. Электроды должны обладать хорошими сварочно-технологическими свойствами и быть достаточно дешевыми.

Свойства наплавленного металла в основном определяются его химическим составом и термообработкой. Химический состав наплавленного слоя изменяется за счет введения легирующих компонентов. Наиболее дешевыми и доступными из них являются углерод, марганец, хром, кремний, титан и бор. Они повышают твердость и износостойкость металла при истирании. Марганец и хром при введении их в малоуглеродистую сталь в количестве от 8 до 27 % повышают ее износостойкость в 4...5 раз. Высокомарганцовистая сталь хорошо работает при высоких ударных нагрузках. Углеродистая высокохромистая сталь (хрома более 12 %) обладает малой ударной вязкостью, поэтому ее не следует применять при наплавке деталей, работающих при ударных нагрузках. При ручной дуговой наплавке покрытыми электродами легирование наплавленного валика осуществляется либо через электродное покрытие, в состав которого

входят легирующие компоненты, либо с помощью электродного стержня, изготовленного из легированной сварочной проволоки.

Наплавка изношенных деталей машин, изготовленных из углеродистых или легированных сталей и не подвергающихся после наплавки термообработке, производится электродами любой соответствующей основному металлу марки, обеспечивающими необходимую твердость и износостойкость наплавленного металла. Если же восстановленные детали подвергаются термообработке, то наплавка их производится такими электродами, наплавленный металл которых допускает эту обработку без снижения твердости и других механических свойств, например электродами ЦН-2, ОЗН-250, ОЗН-300. В наплавленном металле стальных деталей, подвергающихся закалке, должно быть не менее 0,30 % углерода, чтобы металл мог воспринимать закалку.

Электроды для наплавочных работ в зависимости от химического состава и твердости наплавленного металла делятся на типы, а в зависимости от химического состава покрытия – на марки. Электроды, применяемые для наплавочных работ, разделяют на следующие группы (характеристики электродов приведены в прил. 1).

1. Для наплавки деталей, работающих на износ при обычных температурах, применяют электроды ОЗН-250, ОЗН-300, ОЗН-350, ОЗН-400, Т-590, ЦН-250. Металл, наплавленный этими электродами, имеет среднюю и высокую твердость, удовлетворительную пластичность и вязкость и относится к перлитному классу. Наплавленный металл в зависимости от химического состава может подвергаться или не подвергаться термообработке. Такие электроды применяются для наплавки валов, осей, автосцепок, крестовин, зубьев экскаваторов, лемехов, ножей бульдозеров, катков и звездочек тракторов, колес подвижного состава и т. д.

2. Для наплавки деталей, работающих на износ при повышенных температурах, применяют электроды ЦШ-1, ЦШ-2, ЦШ-3, ЦН-4, ЦН-5, ОЗН-1, НЖ-2, ЭН-60М. Эти электроды дают в наплавленном слое перлитную хромовольфрамовую или хромомарганцевую сталь. Применяется для наплавки штампов горячей штамповки, деталей кузнечно-прессового оборудования. Как правило, наплавленные изделия перед механической обработкой отжигаются, а после нее подвергаются закалке и высокому отпуску.

3. Электроды для наплавки режущего инструмента: ЦН-1М, Т-216, Т-268, Т-293, ОЗИ-5, ОЗИ-6. Они дают наплавленный металл типа быстрорежущей стали.

4. Электроды, предназначенные для наплавки эрозионно-стойких поверхностей деталей, работающих при высоких температурах и в агрессивных средах: ЦН-2, ЦН-3, ЦН-6, ЦН-8. Применяются для наплавки деталей арматуры паровых котлов, насосов и турбин парогенераторов. В наплавленном слое такие электроды дают структуру стеллитов или сормайттов.

5. Электроды, предназначенные для сварочных работ: ЦМ-7, УОНИ 13/45, МР-3, АНО-4. Они дают наплавленный металл с высокой твердостью, но не могут существенно повысить износостойкость детали и дают возможность только восстановить размеры и форму детали.

Техника наплавки покрытыми электродами стальных изделий

Наплавка малоуглеродистых и низколегированных сталей производится обычным способом при обычных условиях. Во время наплавки электрод должен быть наклонен под углом $15...20^\circ$ к вертикали во избежание попадания жидкого шлака на еще не расплавленный основной металл. Наплавка должна осуществляться углом назад (рис. 3.5, а).

Для получения узкого валика шириной до 1,5 диаметра электрода электрод при наплавке перемещают прямолинейно без поперечных колебаний.

Однако из-за высокой скорости охлаждения в металле наплавки могут остаться не успевшие выделиться газы и шлаковые включения. С целью устранения таких

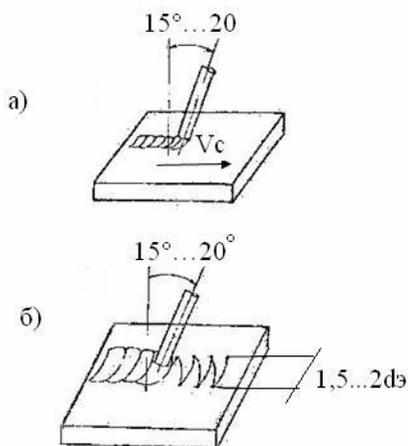


Рис. 3.5. Техника наплавки:
а – углом назад; б – с поперечными колебаниями

дефектов при наплавке накладываются более широкие валики, которые получаются при поперечном перемещении конца электрода (рис. 3.5, б). Такой прием увеличивает прогрев кромок валика и замедляет скорость охлаждения сварочной ванны, что уменьшает вероятность появления дефектов,

Наплавка более широких слоев и большей высоты наплавленного слоя может осуществляться пучком электродов. Он представляет собой несколько сложенных вместе электродов, скрепленных между собой обвязкой и прихватками. В случае необходимости наплавки низкими и широкими валиками применяют пучки из двух или трех электродов, скомпонованных в ряд. Для наплавки более узкими, но высокими валиками применяют пучки из трех электродов, скомпонованных треугольником, или четырех электродов (рис. 3.6).

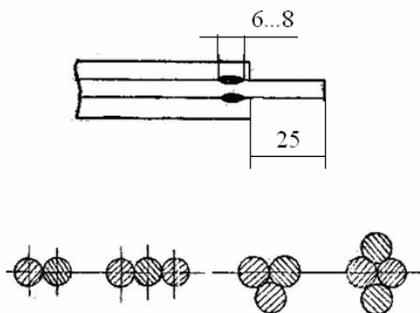


Рис. 3.6. Пучки электродов для наплавки

Наплавка должна выполняться короткой дугой, валики накладывают так, чтобы каждый последующий перекрывал предыдущий на 1/2 или 1/3 своей ширины. По высоте слой наплавленного металла устанавливается из расчета, чтобы припуск на механическую обработку составил 2...3 мм. Значение силы тока при наплавке определяется в зависимости от диаметра электрода по формуле $J = (30...50)dэ$, где J – сила тока; $dэ$ – диаметр стержня электрода.

Между толщиной слоя наплавленного металла, диаметром электрода, числом слоев наплавки и силой тока рекомендуется выдерживать следующие соотношения (табл. 4).

При окончании наплавки усадочный кратер необходимо выводить за пределы рабочей наплавляемой поверхности, используя для этой цели приставные планки. После наложения каждого валика с поверхности наплавки удаляются шлак и брызги металла. При наплавке средне- и высокоуглеродистых сталей рекомендуется предварительный подогрев металла до температуры 350°. Изделия,

подвергнутые ранее термообработке (закалка), перед наплавкой отжигают, после наплавки рекомендуется производить высокий отпуск наплавленного слоя.

Таблица 4

№ п/п	Наименование параметров	Величина параметров		
		до 1,5	до 5	свыше 5
1	Толщина слоя наплавки, мм	до 1,5	до 5	свыше 5
2	Диаметр электрода, мм	3	4...5	5...6
3	Число слоев наплавки	1	1...2	2 и более
4	Сила сварочного тока	50...100	130...180	180...240

3.3. Наплавка под флюсом, в защитных газах и порошковой проволокой

Механизированная наплавка под флюсом цилиндрических и плоских деталей является развитием способов ручной наплавки электродами с толстыми качественными покрытиями. Этот способ был разработан коллективом под руководством академика Е.О. Патона в 1938–1939 гг. Сущность способа заключается в том, что сварочная дуга горит между электродом (проволокой) и изделием под слоем толщиной 10...40 мм сухого гранулированного флюса с размерами зерен 0,5...3,5 мм (рис. 3.7).

В качестве флюса выступают неметаллические гранулированные порошки, по составу схожие с электродными покрытиями, и в общем случае выполняют такие же функции, как и покрытия, а именно:

- обеспечивают шлаковую и газовую защиту сварочной ванны и наплавленного валика от воздействия окружающей среды;
- легируют и раскисляют наплавленный металл;
- способствуют устойчивому горению дуги за счет ионизации дугового промежутка при диссоциации компонентов флюса;
- рафинируют наплавленный металл.

Для осуществления автоматической наплавки деталей требуется комплекс машин, механизмов и приспособлений, в целом составляющих автоматическую установку. Устройство, производящее зажигание дуги, подачу электродной проволоки по мере плавления

и обеспечивающее устойчивое горение дуги, называется автоматической головкой для дуговой сварки и наплавки, или дуговым автоматом. Наиболее важное промышленное значение для ремонтно-восстановительной наплавки имеют автоматы с плавящимся металлическим электродом – проволокой или лентой.

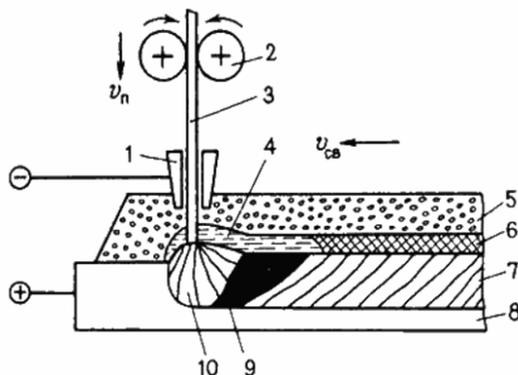


Рис. 3.7. Схема механизированной наплавки металла под слоем флюса:
 1 – токоподводящие колодки; 2 – подающие ролики; 3 – электродная проволока; 4 – слой шлака; 5 – слой сухого флюса; 6 – шлаковая корка;
 7 – сварной шов (наплавленный металл); 8 – основной металл;
 9 – сварочная ванна; 10 – электрическая дуга

Преимущества механизированного способа наплавки

1. Повышение производительности труда в 6...8 раз по сравнению с ручной дуговой наплавкой.
2. Снижение расхода электроэнергии в два раза за счёт более высокого термического КПД.
3. Высокое качество наплавленного металла благодаря надёжной защите наплавленного слоя от воздействия окружающей среды.
4. Возможность получения наплавленных слоев толщиной более 2 мм.
5. Меньший расход присадочного материала в результате исключения потерь на разбрызгивание и уменьшение угара электродного металла.
6. Лучшие условия труда оператора за счёт механизации процесса и отсутствия открытой дуги.

Недостатки

1. Большое вложение тепла в материал детали, что увеличивает зону термического влияния и изменяет результаты предыдущей термообработки детали.

2. После наплавки требуется термообработка наплавленного слоя или всей детали.

3. Трудности удержания ванны расплавленного металла на поверхности цилиндрической детали (детали диаметром меньше 50 мм не наплавляют).

4. Уменьшение усталостной прочности детали на 20...40 % за счет остаточных напряжений, пористости и структурной неоднородности слоя.

5. Появление при загрузке флюса в бункер и его просеивании после использования силикатной пыли, вредной для организма человека.

Наплавка под флюсом цельнометаллической проволокой

Наплавленный металл легируют путем применения легированной проволоки, легированных флюсов или дозированной засыпки легирующих примесей на поверхность наплавляемой детали. Иногда наплавленный металл не подвергается легированию, и наплавка преследует цель – восстановление необходимых геометрических размеров и формы детали.

Для автоматической наплавки применяют плавные флюсы:

- высококремнистые марганцевые марок АН-348А, ОСН-45, АН-60;
- низкокремнистые марганцевые марок АН-10, АН-16, АН-22;
- высококремнистые безмарганцевые марок АН-20, АН-28, 48-ОФ-6.

Для наплавки высоколегированных сталей и сплавов используют низкокремнистые марганцевые и безмарганцевые флюсы, обладающие меньшей окислительной способностью, – АН-30, 48-ОФ-6.

Автоматической наплавкой чаще всего восстанавливаются детали цилиндрической формы. Наплавляются такие детали, как правило, по винтовой линии. Ось вращения – горизонтальная. Такой способ обеспечивает непрерывность процесса и высокое качество работы, симметричность остаточных напряжений по отношению к оси детали. Однако при этом способе затруднено удержание флюса и жидкого металла в зоне наплавки.

Для удержания флюса применяют специальное флюсоудерживающее приспособление в виде насадки-воротника специальной формы, расположенной вокруг мундштука горелки.

С целью удержания расплавленного металла ванны и жидкого шлака наплавочная головка автомата устанавливается с некоторым смещением конца электродной проволоки с зенита (рис. 3.8).

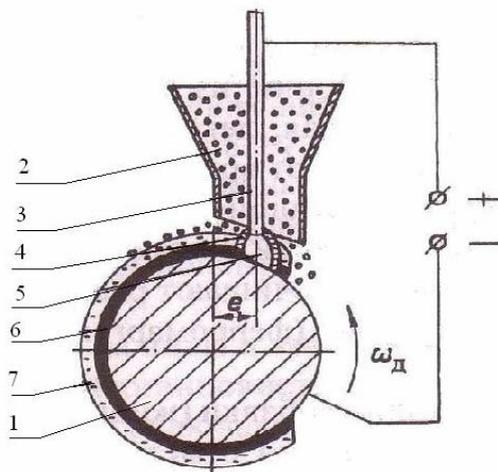


Рис. 3.8. Наплавка цилиндрической детали под слоем флюса:
 1 – изделие; 2 – бункер с флюсом; 3 – электродная проволока;
 4 – расплавленный флюс (шлак); 5 – сварочная дуга;
 6 – наплавленный слой; 7 – шлаковая корка

Величина смещения «e» зависит от диаметра наплавляемой детали и параметров режима наплавки и принимается от 10 мм и более. Окружная скорость выбирается от 10 до 50 м/ч. Чем меньше диаметр электрода, тем меньше следует выбирать скорость наплавки. Шаг наплавки определяется в зависимости от желательной толщины слоя, тока и напряжения в пределах от 3 до 12 мм. Сила тока для наплавки и диаметр электродной проволоки устанавливаются в зависимости от диаметра наплавляемой детали.

Наплавку цилиндрических деталей (коленчатых валов, крановых колес, опорных катков и прочих) производят на специальных вращателях или специально приспособленных для этого токарных станках (рис. 3.9).



Рис. 3.9. Установка УНВ-3-5 для дуговой наплавки тел вращения

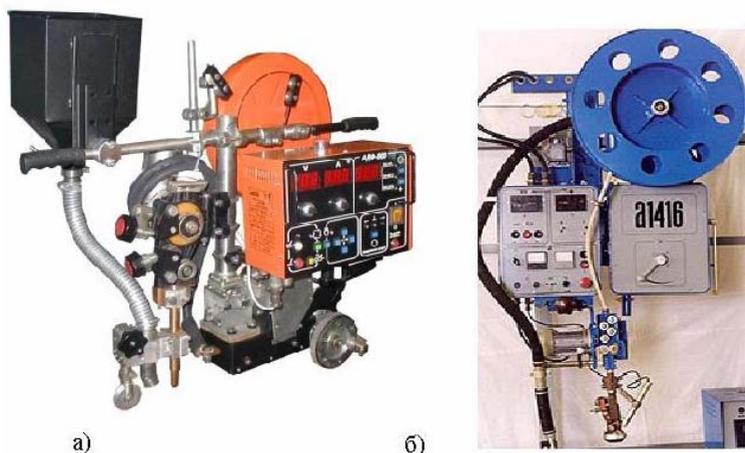


Рис. 3.10. Сварочный трактор АДФ-800 (а) и сварочный автомат А-1416 (б), применяемые для наплавки деталей под слоем флюса

Поверхности плоских деталей наплавляют с помощью оборудования, предназначенного для сварки с дополнительными перемещающими устройствами – сварочными автоматами и сварочными тракторами (рис. 3.10).

Сварочный трактор АДФ-800 предназначен для сварки и наплавки электродной проволокой под слоем флюса. Работает в комплекте с выпрямителями ВДУ-1250, ВДУ-1202, ВДУ-630 и др. АДФ-800 представляет собой самоходное устройство, в котором подача сварочной проволоки, перемещение и защита дуги происходят автоматически по определенной программе. Автомат подвесной самоходный А-1416 предназначен для двухдуговой сварки и наплавки сплошной проволокой под слоем флюса низкоуглеродистых и легированных сталей на постоянном токе с независимыми от параметров дуги скоростями сварки и подачи электродной проволоки. Глубокое регулирование скорости подачи электродной проволоки и скорости сварки, получаемое сменными шестернями, обеспечивает широкий диапазон применения автомата.

Наплавка производится отдельными валиками вдоль или поперек наплавляемой поверхности. Наплавку менее высоких, но более широких слоев металла целесообразно проводить с наклоном электродной проволоки под углом 40...50° к горизонту, глубина проплавления металла при этом в два раза меньше, ширина наплавленного валика больше при одинаковых режимах наплавки.

Для получения широкого слоя используют наплавку:

- 1) многоэлектродную;
- 2) многодуговую;
- 3) с поперечными колебаниями электрода;
- 4) стальной лентой.

Производительность наплавки оценивается в кг/ч наплавленного металла. Например, при ручной дуговой наплавке производительность оценивается в диапазоне 0,8...3 кг/ч; автоматическая одним электродом – 2...15 кг/ч; многоэлектродная – 5...30 кг/ч; электродной лентой – 10...60 кг/ч.

Автоматическая наплавка под флюсом электродной лентой

Исследования Института электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины показали, что при автоматической наплавке под слоем флюса можно вместо электродной проволоки использовать ленту малой толщины (0,3...1,0 мм) и большой ширины (10...100 мм и более). При наплавке лентой получается малая глубина проплавления основного металла вследствие невысокой плотности тока и в то же время обеспечивается надежный провар. Доля участия основного металла в формировании наплавленного валика составляет от 5 до 15 %. Высокая производительность процесса наплавки достигается за счет использования больших токов без увеличения глубины провара основного металла и наложения валика большой ширины за один проход.

Минимальная плотность тока, определяющаяся отношением силы тока к площади поперечного сечения электродной ленты, обеспечивает устойчивый процесс наплавки. Обычно плотность тока при наплавке лентой составляет около 10 А/мм², при этом напряжение на дуге составляет $U_d = 22...36$ В, скорость наплавки от 4 до 12 м/ч. В зависимости от режима за один проход можно наплавить слой толщиной от 2,5 до 8 мм.

Для наплавки используются электродные ленты различного состава. Например, для износостойкой наплавки можно использовать ленту из ковкого чугуна. Применяя флюс АН-28 и автоматический регулятор напряжения дуги, можно получить хорошее формирование валика с твердостью 40...50 НРС. При этом износостойкость наплавленного слоя в несколько раз больше износостойкости конструкционной стали. Возможно получение наплавленного слоя не только из чугуна, но также из различных износостойких сталей и цветных металлов. Для коррозионно-стойких покрытий широкое применение находят ленты из сталей 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т, ЮХ-18Н9Б, 10Х19Н11МЗ, 20Х13Н4Г9, 10Х13. При использовании таких лент лучшие результаты по формированию наплавленного слоя дает пемзовидный флюс АН-26, а при наплавке лентой из стали 20Х13Н4Г9 флюс 48-ОФ-10. При наплавке образуются валики, имеющие правильную форму, шлаковая корка легко отделяется.

Для наплавки изделий из цветных сплавов (бронзы, меди) изготавливаются ленты следующих марок: БрАМц9-2, БрБНТ1,9, БрКМц3-1, БрА5, БрОФ6,5-0,15, БрОЦ4-3, БрОЦС4-4-2,5. В качестве защитной среды применяют флюсы, а также защитные газы – аргон, гелий, азот и их смеси. Лучшей защитой является аргон, обеспечивающий надежную защиту дуги и минимальное проплавление основного металла. Наплавку лентой из бронзы БрАМц9-2 можно вести под флюсами АН-348А, АН-60, АН-20, АН-26.

Для наплавки деталей из никелевых сплавов можно применять ленты из марганцовистого никеля марок НМц2,5 и НМц5,0 или чистого никеля марок НП1, НП2, НП3 и НП4. Используют также никелевые ленты, содержащие сильные раскислители (1,5 % Al и 2,0...3,5 % Ti), или ленты и флюсы, содержащие 2...3 % Nb и 3 % Mn.

Механизированная электродуговая наплавка в защитных газах

В промышленности применяют различные способы электродуговой сварки и наплавки в среде защитных газов: в аргоне, гелии, углекислом газе. Эти способы во многих случаях позволяют восстанавливать или упрочнять поверхности изделий, наплавка которых другими способами затруднена. Кроме того, газоэлектрическая сварка создает возможности для автоматизации наплавочных работ там, где применение автоматической и полуавтоматической сварки под слоем флюса невозможно. При этом значительно увеличивается производительность труда и снижается себестоимость наплавочных работ.

Разработанный профессорами К.В. Любавским и Н.М. Новожиловым метод сварки плавящимся электродом в атмосфере углекислого газа дал возможность получать плотные швы при сварке малоуглеродистых, низколегированных и высоколегированных аустенитных сталей.

Сущность способа заключается в том, что воздух (кислород, водород, азот, пары воды и др.) оттесняется из зоны сварки струей углекислого газа, а окисление самим углекислым газом расплавленного дугой металла компенсируется за счет повышенного содержания элементов-раскислителей в электродной проволоке (рис. 3.11). На качество сварных соединений существенное влияние, особенно при полуавтоматической сварке, оказывает техника сварки.

От расстояния, угла наклона и характера движения горелки зависят надежность газовой защиты зоны сварки от воздуха, скорость охлаждения металла, форма шва, условия удаления газовых пузырей и неметаллических включений из сварочной ванны.

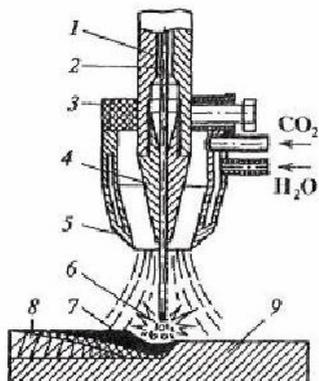


Рис. 3.11. Схема наплавки в среде углекислого газа:

- 1 — мундштук; 2 — электродная проволока; 3 — горелка; 4 — наконечник;
- 5 — сопло горелки; 6 — электрическая дуга; 7 — сварочная ванна;
- 8 — наплавленный валик; 9 — восстанавливаемое изделие

Процесс ремонтной сварки и наплавки в углекислом газе необходимо вести на короткой дуге. При сварке на токах 200...250 А длина дуги должна быть в пределах 1,5...4,0 мм, так как увеличение длины дуги повышает разбрызгивание жидкого металла и вызывает угар легирующих элементов. Сварка возможна на постоянном токе, а также на переменном токе с применением осциллятора.

Автоматическая наплавка в защитном газе плавящимся электродом производится подачей проволоки из кассеты к месту наплавки с постоянной скоростью через токоподводящий мундштук. Защитный газ из баллона по шлангу поступает через сопло горелки к месту горения дуги. Эффективность газовой защиты зависит от конструктивных особенностей газоподводящего сопла, расстояния между торцом сопла и поверхностью детали, а также от скорости наплавки, давления защитного газа и движения воздуха в месте наплавки. Наплавка в защитном газе позволяет механизировать про-

цесс работы в любом пространственном положении. Для наплавки в среде углекислого газа применяется углеродистая и низколегированная проволока диаметром от 0,8 до 3 мм. Проволоку диаметром 0,8...1,6 мм применяют при незначительном износе деталей и для наплавки цилиндрических деталей малых диаметров при любом износе. Наибольшая толщина наплавляемого однопроходного слоя в этом случае составляет 1...2,5 мм. На поверхности проволоки не должно быть ржавчины и различных загрязнений, которые приводят к образованию пористости и снижают устойчивость горения дуги. Очистка проволоки может проводиться как механическим, так и химическим путем. Химический состав электродной проволоки должен быть таким, чтобы можно было в достаточной степени раскислить ванну расплавленного металла, легировать его и получить плотный наплавленный металл. При наплавке углеродистых и низколегированных сталей в качестве раскислителей используют кремний и марганец.

Для наплавки стальных и чугунных изделий в среде углекислого газа применяется проволока марок Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-Х13, Св-Х17, Св-06Х19НТ, Св-18ХМА, Св-08Х20Н9Г7Т.

Для сварки в CO_2 используется также порошковая проволока марок ПП-18Т, ПП-4Х2В8Т, ПП-Х12ВФТ.

Использование для наплавки проволок марок Св-12ГС, Св-08ГС, Св-08Г2С дает наплавленный металл не очень высокой твердости и износостойкости. Такие проволоки применяются в основном для восстановления геометрических параметров изделия.

При наплавочных работах нет необходимости получать глубокое проплавление основного металла. Поэтому основными факторами являются: устойчивое горение дуги, производительность и качество наплавочных работ. С точки зрения устойчивости процесса рекомендуется силу тока принимать в зависимости от диаметра проволоки по следующим данным:

диаметр (мм)	0,8;	1,0;	1,2;	1,6;	2,0;	2,5;
сила тока (А)	60...120	80...160	90...260	120...350	200...450	250...550.

Уменьшение силы тока должно соответствовать снижению скорости подачи электродной проволоки.

Повышение напряжения на дуге приводит к увеличению ширины валика наплавленного металла, росту потерь металла на разбрызгивание, угар и окисление, ухудшается качество наплавки, появляются поры. Поэтому рекомендуется выдерживать определенное напряжение на дуге в зависимости от силы тока:

сила тока (А):	60	100	140	200	250	300	400;
напряжение (В):	18	19	20	22	25	28	30.

Наплавка в углекислом газе имеет особенно большие преимущества перед наплавкой под флюсом при восстановлении цилиндрических деталей малых диаметров (10...20 мм).

На устойчивость процесса наплавки существенное влияние оказывает вылет электродной проволоки. Большой вылет вызывает чрезмерный нагрев и перегорание проволоки в месте контакта с токоподводящим устройством. Чем более высокая плотность тока, тем меньше должен быть вылет электрода.

При наплавке в среде CO_2 валики должны перекрывать друг друга на $1/3$ ширины, что дает более ровную поверхность наплавленного металла.

Наплавку сталей с повышенным содержанием углерода или легирующих примесей необходимо производить с предварительным подогревом детали и с более высоким подогревом углекислого газа. В противном случае возможна закалка металла в зоне термического влияния, что приводит к появлению микротрещин и ухудшает обрабатываемость металла режущим инструментом.

Для сварки плавящимся электродом в среде углекислого газа используются полуавтоматы и автоматы как российского, так и зарубежного производства.

Полуавтоматы для наплавки в среде защитных газов

Полуавтомат ПДГ-603 (рис. 3.12, а) предназначен для дуговой механизированной сварки и наплавки в среде защитных газов, а также порошковой самозащитной проволокой изделий из низкоуглеродистых и конструкционных сталей. Полуавтомат имеет плавное регулирование сварочных параметров, настройку трех независимых режимов сварки, подающую приставку с четырьмя

ведущими роликами-шестернями, выносной пульт дистанционного управления, а также водяное охлаждение горелки при сварке на максимальных режимах.



а)



б)

Рис. 3.12. Полуавтоматы для дуговой сварки и наплавки в среде защитных газов: *а* – полуавтомат ПДГ-603; *б* – полуавтомат «Мидиком-160»

Полуавтомат ПДГО-501-1 предназначен для полуавтоматической сварки и наплавки металла плавящимся электродом как в среде защитных газов, так и порошковой проволокой. Скорость подачи проволоки регулируется ступенями от 95 до 725 м/ч, диаметр проволоки 1,2...3,2 мм. Полуавтомат размещен на легкой тележке вместе с устройством, на которое можно уложить бухту электродной проволоки массой до 80 кг. В комплект сварочного полуавтомата могут входить:

- источник питания ВДГ-506 с регулировкой напряжения на дуге от 18 до 50 В;
- горелка на ток до 300 А для сварки в среде защитного газа;
- горелка на ток до 500 А для сварки порошковой проволокой;
- провода сварочные и кабель управления с радиусом действия 10 м.

Полуавтомат «Мидиком-160». Производитель: ООО «МидикомС», Россия. Полуавтомат сварочный малогабаритный «Мидиком-160» (рис. 3.12, б) предназначен для ручной дуговой сварки на постоянном токе плавящимся электродом в среде защитного газа

малоуглеродистых, легированных, а также нержавеющей стали суммарной толщиной до 4 мм. Может использоваться для выполнения разнообразных сварочно-монтажных работ при авторемонте, в строительстве. Полуавтомат состоит из силового трансформатора, выпрямителя и LC-фильтра сварочного тока, механизма подачи электродной проволоки с катушкой и гибким рабочим шлангом, устройства подачи защитного газа, электронного блока управления, выбора режимов работы и индикации, системы принудительного охлаждения.

Полуавтомат MIG 305 C/S применяется для сварки металлов любой толщины и химического состава сплошной или порошковой проволокой в защитных газах.

Технические характеристики полуавтомата

• Сила тока	40...300 А
• Напряжение сети	3×380 В
• Ток при ПВ = 35 %	285 А
• Ток при ПВ = 60 %	215 А
• Ток при ПВ = 100 %	170 А
• Напряжение холостого хода	16...47 В
• Количество ступеней регулировки напряжения	20
• Вес	130 кг

Наиболее благоприятные условия для формирования валика металла наблюдаются при наплавке в инертных одноатомных газах аргоне и гелии (рис. 3.13). В аргоне имеют место два вида переноса металла через дугу: крупнокапельный без коротких замыканий с небольшим разбрызгиванием на докритическом токе и струйный на токе больше критического значения. Вид переноса металла через дугу промежуток влияет на форму проплавления основного металла и на формирование наплавленного валика. Наплавка со струйным переносом электродного металла нежелательна, так как при этом значительно увеличивается глубина проплавления основного металла.

В гелии наблюдается капельный перенос с короткими замыканиями дуги (малые ток и напряжение) и без коротких замыканий на повышенном токе и напряжении при незначительном разбрызгивании электродного металла.

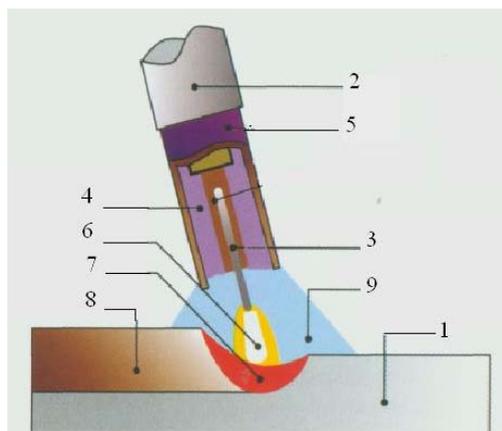


Рис. 3.13. Схема процесса наплавки электродной проволокой в среде аргона: 1 – наплавляемое изделие; 2 – горелка; 3 – электродная проволока; 4 – защитный газ; 5 – газовое сопло; 6 – сварочная дуга; 7 – сварочная ванна; 8 – наплавленный валик; 9 – защитная атмосфера

Валик металла, наплавленный в среде гелия, имеет меньшую выпуклость, чем в аргоне, так как аргон повышает поверхностное натяжение жидкого металла. Применение смеси $Ar+He$ позволяет использовать преимущества обоих газов.

Наплавка порошковой проволокой и порошковой лентой

Весьма перспективным способом восстановления и упрочнения поверхностей деталей, позволяющим значительно увеличить производительность труда по сравнению не только с ручной, но и механизированной сваркой в углекислом газе, является сварка и наплавка порошковой проволокой. Отличительная ее особенность по сравнению с другими механизированными способами состоит в том, что она сочетает преимущества и ручной сварки – простоту и мобильность, и механизированной сварки в углекислом газе – большую производительность и высокое качество сварных соединений.

Использование порошковой проволоки для наплавочных работ позволяет значительно расширить номенклатуру наплавляемых сталей, так как для большинства из них нельзя получить металлургическим путем соответствующую монолитную легированную проволоку.

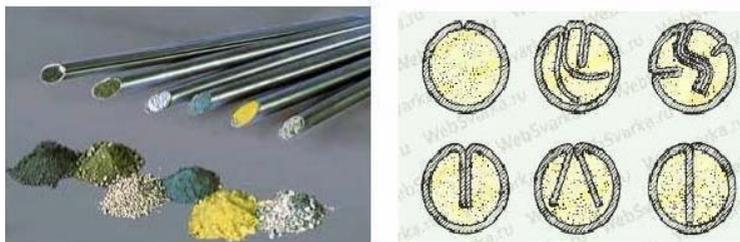
Идея применения электродов, имеющих прочную токопроводящую оболочку и менее прочную «сердцевину», состав которой можно изменять, была выдвинута в XIX веке великим русским изобретателем Н.Н. Бенардосом – родоначальником электродуговой сварки. В 30-е годы впервые в истории сварочной техники советский инженер В.Е. Сахнович экспериментально доказал возможность применения электродов, состоящих из тонкостенной стальной трубки и сердечника из сварочного флюса для автоматической сварки открытой дугой, т. е. не имеющей внешней защиты углекислым газом или флюсом. Он применял электроды, изготовленные из цельнотянутых стальных трубок, в которые засыпали порошкообразный сухой флюс; концы трубок заваривались, и они обжимались на 1,5...2,0 мм с целью уплотнения шихты. Они были названы В.Е. Сахновичем «электродами с внутренней обмазкой». В начале 60-х годов в Институте электросварки им. Е.О. Патона была предложена трубчатая электродная проволока, получившая название «порошковая проволока для производства сварочных работ». Сварка порошковой проволокой непрерывно совершенствуется, и этот механизированный способ дуговой сварки находит все большее применение как в нашей стране, так и за рубежом.

Автоматическая и полуавтоматическая наплавка порошковой проволокой

Порошковые проволоки представляют собой трубчатую сложного внутреннего сечения проволоку, заполненную порошкообразным наполнителем (рис. 3.14). Наполнитель имеет состав, соответствующий покрытиям электродов для сварки. Масса порошкообразного наполнителя составляет от 15 до 40 % веса проволоки.

Порошок, входящий в состав порошковой проволоки, при ее расплавлении электрической дугой выполняет следующие функции:

- обеспечивает газовую и шлаковую защиту сварочной ванны от воздействия окружающей среды;
- способствует раскислению сварочной ванны;
- легирует сварной шов;
- стабилизирует дуговой разряд.



а)

б)

Рис. 3.14. Порошковые проволоки для сварки и наплавки:
а – внешний вид; *б* – сечения проволоки

По способу защиты порошковые проволоки делятся на само-защитные и используемые с дополнительной защитой газом (CO_2) или флюсом. Самозащитные проволоки, как правило, применяются и для производства сварных конструкций, и для наплавки деталей. Порошковые проволоки, используемые с дополнительной защитой, применяются в основном для наплавочных работ.

Наплавка порошковой проволокой с внутренней защитой основана на введении в сердечник проволоки кроме легирующих компонентов также шлакообразующих и газообразующих материалов. Применение флюсовой и газовой защиты при наплавке такой проволокой не требуется. Легирующие элементы порошковой проволоки переходят в шов, а газо- и шлакообразующие материалы создают защиту металла от азота и кислорода воздуха. В дуге тонкая пленка расплавленного шлака покрывает капли жидкого металла и изолирует их от воздуха. Разложение газообразующих материалов создает поток защитного газа. После затвердевания на поверхности наплавленного валика образуется тонкая шлаковая корка, которая может не удаляться при наложении последующих слоев. При наплавке используют различные самозащитные порошковые проволоки. Для наплавки низкоуглеродистых слоев используют сварочные проволоки типа ПП-АНЗ и др. Для наплавки деталей, работающих при больших давлениях и повышенных температурах, применяют порошковую проволоку ПП-3ХВЗФ-О (буква «О» в обозначении марки порошковой проволоки указывает, что данная порошковая проволока предназначена для наплавки открытой дугой). Наплавку

деталей, подвергающихся интенсивному абразивному износу, производят самозащитной порошковой проволокой ПП-У15Х12М-О. Разработаны порошковые проволоки для исправления (заварки) дефектов стального литья (ППс-ТМВ6, ППс-ТМВ29, ППс-ТМВ14, ППс-ТМВ15, ВЕЛТЕК-Н210, ВЕЛТЕК-Н215).

Технология выполнения наплавки самозащитной порошковой проволокой в основном ничем не отличается от технологии наплавки в углекислом газе. Открытая дуга дает возможность точно направлять электрод, наблюдать за процессом формирования наплавляемого слоя, что имеет большое значение при наплавке деталей сложной формы.

Преимущества этого способа: применение менее сложной аппаратуры по сравнению с аппаратурой, используемой при наплавке под флюсом и в защитном газе, а также возможность выполнять наплавочные работы на открытом воздухе; увеличивается производительность по сравнению с наплавкой под флюсом и в защитных газах, снижается себестоимость наплавки. Порошковая проволока дает возможность более экономично расходовать легирующие вещества, поэтому очень перспективна. Рекомендуемые марки порошковой проволоки для наплавки различных деталей приведены в прил. 2.

Обычно порошковые проволоки используют для сварки шланговыми полуавтоматами. Ввиду возможности наблюдения за образованием шва техника наплавки различных изделий практически не отличается от техники их наплавки в защитных газах плавящимся электродом. При многослойной сварке или наплавке порошковой проволокой поверхность предыдущих слоев следует тщательно зачищать от шлака.

Наплавка порошковыми проволоками имеет свои недостатки. Малая жесткость трубчатой конструкции порошковой проволоки требует применения подающих механизмов с ограниченным усилием сжатия проволоки в подающих роликах. Наплавка может осуществляться только в нижнем и редко в вертикальном положении. Это объясняется тем, что образующаяся сварочная ванна повышенного объема, покрытая жидкотекучим шлаком, не удерживается в вертикальном и потолочном положениях силой поверхностного натяжения и давлением дуги. Существенный недостаток порошко-

вых проволок, сдерживающий их широкое промышленное применение, – повышенная вероятность образования в швах пор, вызываемая наличием пустот в проволоке. Кроме того, нерасплавившиеся компоненты сердечника, переходя в сварочную ванну, способствуют появлению газообразных продуктов. Повышает вероятность образования пор также влага, попавшая в наполнитель при хранении проволоки, кроме того, смазка и ржавчина, следы которых имеются на металлической оболочке.

Для автоматической наплавки деталей порошковой проволокой применяются наплавочные установки УД-209, УД-609, УНП-350-1 и др. Обычно в состав таких установок входит манипулятор-вращатель на базе токарного станка, источник питания дуги, сварочная головка с механизмом подачи проволоки, пульт управления, баллон с защитным газом. Принципиальная схема таких установок приведена на рис. 3.15.

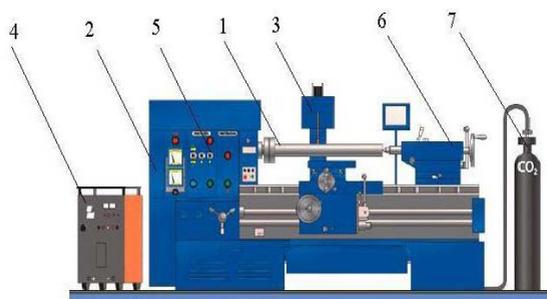


Рис. 3.15. Схема типовой установки для автоматической наплавки цилиндрических деталей порошковой проволокой: 1 – наплавляемая деталь; 2 – манипулятор-вращатель; 3 – сварочная головка; 4 – источник питания; 5 – пульт управления; 6 – задняя бабка; 7 – баллон с защитным газом

Порошковые ленты для наплавки

Порошковые ленты изготавливают на специальных станах, снабженных роликами для формирования и завальцовки ленты-оболочки. Стан имеет дозирующее устройство для подачи шихты и клеть валков для уплотнения этой шихты, формируя сердечник

порошковой ленты. Процесс волочения, в отличие от производства цельнометаллической ленты, при изготовлении порошковой ленты отсутствует. Ленту изготавливают обычно шириной 40...50 мм. Порошковые ленты применяют для наплавки изделий из различных конструкционных сплавов, но в основном стали или чугуна. При наплавке порошковыми лентами в качестве защитной среды могут применяться флюсы или защитные газы. Некоторые ленты могут использоваться без дополнительной защиты. Например, порошковые ленты ПЛ-АН101 и ПЛ-АН102 универсальны. Они предназначены для наплавки и под флюсом, и открытой дугой. В основном порошковые ленты применяют в тех случаях, когда величина изношенной поверхности достаточно большая, а степень износа невелика. Например, порошковые ленты ПЛ-У40Х38ГЗРТЮ и ПЛ-У30Х30ГЗТЮ используют для наплавки под флюсом деталей строительных и дорожных машин, работающих в условиях абразивного износа: первая – при отсутствии ударов, вторая – для деталей, испытывающих абразивный износ с ударными нагрузками.

3.4. Плазменная и плазменно-порошковая наплавка

Плазменная наплавка – это нанесение с помощью сжатой дуги слоя металла на поверхность изделия. Плазменная наплавка применяется при восстановлении изношенных деталей, когда необходимо восстановить размеры деталей и при этом обеспечить свойства наплавленного слоя, близкие к свойствам основного металла. Она также применяется при изготовлении новых деталей с целью придания рабочим поверхностям специальных свойств, например, жаропрочности, износостойкости, коррозионной стойкости и т. д. Масса металла наплавки в таких изделиях обычно составляет несколько процентов от массы всего изделия, а работоспособность поверхности детали значительно превосходит работоспособность однородного (без наплавки) изделия. При плазменной наплавке стремятся к минимальному перемешиванию основного металла с наплавленным, что обеспечивает высокие свойства наплавленного слоя.

Сущность плазменной наплавки состоит в том, что присадочный и основной металл расплавляются с помощью высокочастот-

центрированного электродугового разряда (плазменного потока), который формируется между электродом плазмотрона и изделием (плазма прямого действия) или между электродом и водоохлаждаемым соплом плазмотрона (косвенного действия). При этом присадочный материал также может быть электрически нейтральным по отношению к струе плазмы или электрически связанным с ней (рис. 3.16). В качестве присадочного материала используются проволоки, прутки, сыпучие порошковые материалы или специально приготовленные шнуры из порошков.

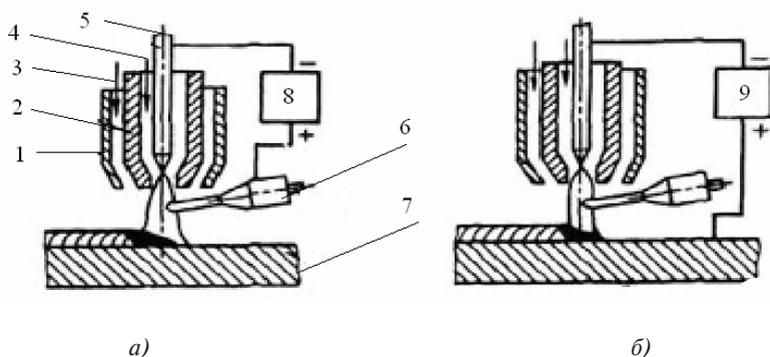


Рис. 3.16. Схемы плазменной наплавки: *а* – плазменной струей с токоведущей присадочной проволокой; *б* – плазменной дугой с нейтральной присадочной проволокой; 1 – защитное сопло; 2 – сопло плазмотрона; 3 – защитный газ; 4 – плазмообразующий газ; 5 – электрод; 6 – присадочная проволока; 7 – изделие; 8 – источник питания косвенной дуги; 9 – источник питания дуги прямого действия

Преимущества плазменной наплавки по сравнению с другими способами нанесения слоев на поверхность сводятся к следующему.

- Гладкая и ровная наплавленная поверхность, что позволяет оставлять припуск на механическую обработку в пределах 0,4...0,9 мм.
- Малая глубина проплавления основного металла (0,3...2,5 мм) и небольшая зона термического влияния (3...6 мм) обуславливают долю основного металла в покрытии < 5 %.
- Малое вложение тепла в обрабатываемую деталь обеспечивает небольшие деформации и термические воздействия на структуру основы.

- При плазменной наплавке получают слой толщиной 0,2...6,5 мм и шириной 1,2...45 мм. Если наносится легкоплавкий материал, то возможно нанесение покрытия с проплавлением очень тонких поверхностных слоев практически без оплавления поверхности.

- Термический КПД наплавки в 2...3 раза выше, чем при электродуговом процессе. Производительность процесса 0,4...5,5 кг/ч. Производительность плазменно-порошковой наплавки аустенитных нержавеющей сталей не уступает производительности электродуговой наплавки.

Плазменно-порошковая наплавка (ППН) (рис. 3.17) – механизированный процесс, при котором источником теплоты служит сжатая дуга (плазма), а присадочным материалом – гранулированные металлические порошки, которые подаются в плазмотрон транспортирующим газом с помощью специального питателя.

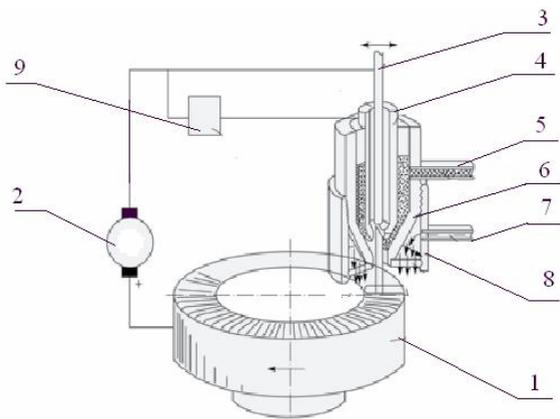


Рис. 3.17. Схема плазменно-порошковой наплавки: 1 – изделие; 2 – источник питания плазменной дуги; 3 – вольфрамовый электрод; 4 – стабилизирующее сопло плазмотрона; 5 – ввод транспортирующего газа с порошком; 6 – фокусирующее сопло; 7 – ввод защитного газа; 8 – защитное сопло; 9 – устройство поджига дуги

Процесс плазменно-порошковой наплавки отличается уникальными технологическими возможностями. Малая глубина проплавления основного металла, прецизионная точность, высокая культура производства и возможность наплавки самых разнообразных спла-

вов – все это делает его незаменимым при наплавке клапанов ДВС, запорной арматуры, шнеков экструдеров и термопластавтоматов, инструмента и многих других деталей. Для плазменно-порошковой наплавки используется специализированное оборудование, состоящее из источника питания плазмы, плазмотрона, устройства для подачи порошка, пульта управления, блока охлаждения и газобаллонной арматуры. Например, аппарат типа ПМ-300 и его модификации предназначены для плазменно-порошковой наплавки плоских, цилиндрических и других поверхностей различных деталей (рис. 3.18). Для вращения или перемещения детали относительно плазмотрона может использоваться токарно-винторезный станок, манипулятор либо какой-нибудь другой механизм. Наплавка осуществляется высокотемпературной сжатой дугой, получаемой в плазмотроне с неплавящимся электродом. Присадочным материалом служит мелкозернистый порошок износостойких, коррозионно-стойких и других сплавов на основе Fe, Ni, Co и Cu.

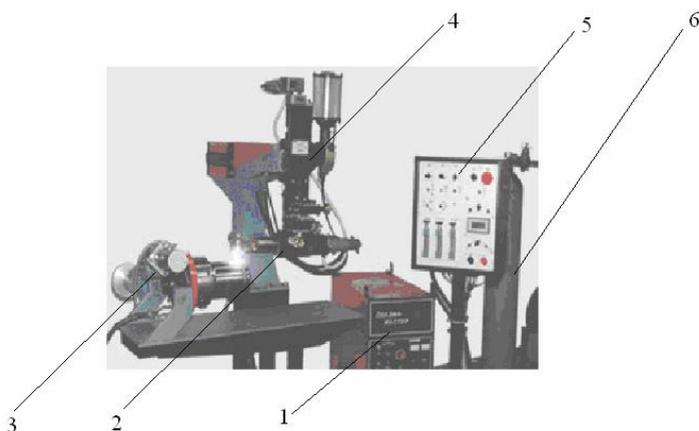


Рис. 3.18. Установка для плазменно-порошковой наплавки ПМ-300В:
1 – источник питания; 2 – плазмотрон; 3 – манипулятор-вращатель;
4 – механизм регулировки плазмотрона и подачи порошка;
5 – пульт управления; 6 – баллон с аргоном

Благодаря возможности регулирования в широком диапазоне соотношения между тепловой мощностью дуги и подачей присадочного порошка ППН обеспечивает достаточно высокую производительность при минимальном проплавлении основного металла, что позволяет обеспечивать требуемую твердость и заданный химический состав наплавленного металла уже на расстоянии 0,3...0,5 мм от поверхности сплавления. Это дает возможность ограничиться однослойной наплавкой там, где электродуговым способом необходимо наплавить 3...4 слоя.

Важной особенностью ППН является отличное формирование наплавленных валиков, стабильность и хорошая воспроизводимость их размеров. Установлено, что у 95 % наплавленных деталей отклонение толщины наплавленного слоя от номинального размера не превышает 0,5 мм. Это позволяет существенно сократить расход наплавочных материалов, время наплавки, а также затраты на механическую обработку наплавленных деталей.

ППН обеспечивает высокую работоспособность деталей за счет отличного качества наплавленного металла, его однородности, а также благоприятной структуры, определяемой специфическими условиями кристаллизации металла сварочной ванны.

Основные преимущества ППН:

- 1) высокая производительность (до 10 кг/ч);
- 2) высокое качество наплавленного металла;
- 3) малая глубина проплавления основного металла (до 5 %);
- 4) минимальные потери присадочного материала;
- 5) возможность наплавки относительно тонких слоев (0,5...5,0 мм).

В наплавочных плазматронах можно использовать три схемы ввода порошка в дугу:

- 1) распределенный через кольцевую щель между соплами (рис 3.17);
- 2) локальный боковой через канал в торце сопла;
- 3) аксиальный через полый электрод.

Наплавка комбинированным способом состоит в том, что в зону наплавки одновременно подаются порошок из питателя транспортирующим газом и проволока подающим механизмом (рис. 3.19).

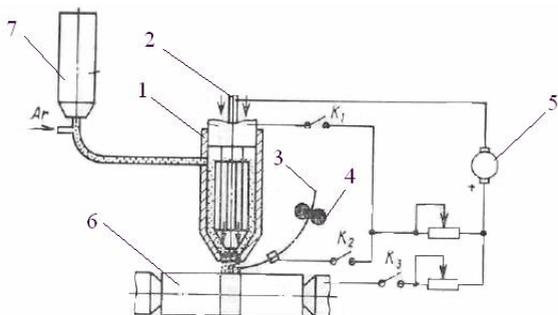


Рис. 3.19. Схема установки плазменной наплавки комбинированным способом: 1 – корпус плазмотрона (анод); 2 – вольфрамовый электрод; 3 – электродная проволока; 4 – механизм подачи проволоки; 5 – источник питания; 6 – наплавляемая деталь; 7 – порошковый питатель

Известный способ наплавки плазменной струей с токоведущей проволокой позволяет наплавлять слои с минимальной глубиной проплавления. Однако этот способ ограничивается использованием проволок с температурой плавления ниже температуры плавления основного металла (проволоки из меди, медных сплавов, аустенитных сталей).

Применение для наплавки на стальные изделия сварочных низкоуглеродистых проволок (Св-08А, Св-082ГС), а также легированных износостойких наплавочных проволок (Нп-3ОХГСА, Нп-65Г и др.) в качестве токоведущих не обеспечивает качественного формирования слоев из-за недостаточного подвода теплоты к основному металлу и плохой смачиваемости его подложки. Слои, наплавленные порошками твердых сплавов, характеризуются высокой износостойкостью, но низкой пластичностью. Слои, наплавленные проволоками, имеют, как правило, высокую пластичность, но значительно уступают порошкам по износостойкости и степени перемешивания с основным металлом. Объединение проволоки и порошка в единую схему позволило повысить эффективность сжатой дуги и добиться образования слоев без пор, трещин за один проход.

Важное преимущество комбинированного способа наплавки – возможность расширения диапазона регулирования состава наплавленного металла и получения слоев с требуемыми свойствами.

Плазменная наплавка твердыми сплавами. Для восстановления быстроизнашивающихся деталей тракторов, автомобилей, сельскохозяйственных машин и т. д. широко применяется износостойкая наплавка. Такая наплавка осуществляется различными твердыми сплавами: литыми (стеллит, сормайт), трубчатыми (рэлит), порошковыми (сталинит, сормайт, боридохромовые смеси). Плазменная наплавка рассматриваемых твердых сплавов может быть осуществлена как по схеме наплавки с токоведущей присадочной проволокой (в случае применения литых или трубчатых сплавов), так и по схеме наплавки порошками. Так как проволока из литых и трубчатых сплавов не изготавливается, то вместо присадочной проволоки применяются присадочные токоведущие прутки. Присадочный пруток подается к плазменной струе между двумя направляющими роликами по направляющей медной трубке. В качестве плазмообразующего и защитного газа используется аргон.

Плазменная наплавка с применением в качестве присадочного материала металлического порошка. В ряде случаев из наплавочного сплава трудно изготовить проволоку, ленту или даже прутки. Тогда для плазменной наплавки в качестве присадочного материала могут применяться металлические порошки. Способы наплавки с использованием порошков удобно применять и тогда, когда необходимо получить тонкий (менее 1 мм) слой металла наплавки.

При наплавке по слою порошка присадкой служит крупнозернистый порошок требуемого состава. Такой порошок либо заранее насыпается на наплавляемую поверхность, либо подается в сварочную ванну из питателя непосредственно в процессе наплавки через плазмотрон. Разработана целая гамма плазмотронов для плазменно-порошковой наплавки различных поверхностей и рассчитанных на различные мощности плазмы. Например, универсальный плазмотрон ПП-6-03 предназначен для плазменно-порошковой наплавки различных деталей сплавами на основе Fe, Ni и Co с целью защиты их от износа, коррозии и т. д. Конструктивно плазмотрон состоит из двух частей – собственно плазмотрона и держателя с горизонтальным расположением коммуникаций, являющегося неотъемлемой его частью. Плазмотрон присоединяется к держателю с помощью четырех питающих трубок и фиксируется четырьмя полыми винта-

ми, что позволяет очень быстро присоединять или отсоединять его при монтаже и обслуживании (рис. 3.20).

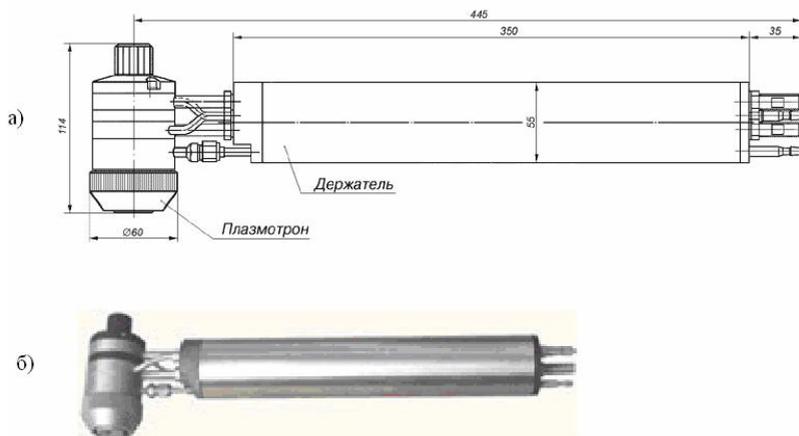


Рис. 3.20. Универсальный плазмотрон для плазменно-порошковой наплавки ПП-6-03: а – схема плазмотрона; б – внешний вид

Чаще всего для плазменной наплавки применяются порошки на основе никеля, кобальта или железа. Присадки бора и кремния снижают температуру плавления сплава, что позволяет получить тонкий слой металла наплавки при малой (меньше 10 %) степени проплавления основного металла. В то же время примеси бора и кремния повышают твердость и износостойкость металла наплавки. Такие сплавы жаростойки до температуры 950 °С, сохраняют высокую твердость при нагреве до 750 °С и обладают хорошей коррозионной стойкостью в растворах NH_4Cl , KCl , NaOH , 10 %-ной серной кислоте и других средах. Поэтому хромоникелевые сплавы с бором и кремнием нашли широкое применение для наплавки клапанов двигателей внутреннего сгорания, поршней кислотных насосов и т. д.

Плазменная наплавка по способу вдувания порошка в струю может применяться как для наплавки на основной металл легкоплавких, так и тугоплавких сплавов. Достижимая минимальная глубина проплавления основного металла составляет около 0,25 мм. Минимальная толщина слоя наплавки 0,5 мм; максимальная толщина

при наплавке в один проход составляет 5...6 мм. Для наплавки по способу вдувания порошка в плазменную струю используются те же порошки, что и при наплавке по слою порошка. Качество наплавки при этом остается хорошим.

Плазменная наплавка с применением присадочных материалов в виде порошковых сплавов обеспечивает высокое качество наплавленного металла. Так, наплавленный порошком ЛП8 металл по химическому составу соответствует кобальтовому стеллиту. Порошки ПГ-У30Х28Н4С4 и ЛПЗ предназначены для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного износа. При наплавке сплавов на основе кобальта с добавками хрома (21...32 %), вольфрама (4...17 %), углерода, кремния, марганца, железа, никеля обеспечивается твердость наплавленного слоя HRC 32...52, на основе никеля – HRC 34...54, на основе железа – HRC 55...63.

Микроплазменное напыление с использованием проволочных материалов. Одним из видов плазменно-дугового напыления (наплавки) является метод получения покрытий с использованием проволок в качестве присадочного материала. До настоящего времени такое напыление осуществлялось плазмотронами достаточно большой мощности. Например, в установке УПУ-8М плазмотрон мощностью 40 кВт проводит напыление из проволочных материалов диаметром 0,8...1,2 мм. При этом на деталях с толщиной стенок ≤ 1 мм возникает опасность местного перегрева и коробления изделия. Необходимость плазменного напыления на узкие ребра или дорожки ведет к большим потерям напыляемого материала (диаметр пятна напыления обычно составляет 15...30 мм). Анализируя существующие установки и теоретическую оценку возможности распыления проволоки микроплазменной струей, ученые ИЭС им. Е.О. Патона разработали приставку к плазмотрону для микроплазменного напыления, позволяющую проводить процесс с применением проволочных материалов. Приставка была использована в комплекте с существующей установкой МПН-004, предназначенной для напыления покрытий из порошковых материалов. Она включает источник питания с панелью управления, плазмотрон и специальное устройство для подачи порошка. Конструкция и параметры работы плазмотрона обеспечивают формирование ламинарной плазменной струи, что обуславливает ряд особенностей процесса:

- возможность уменьшения размера пятна напыления до 1...5 мм;
- возможность нанесения покрытий на изделия малых размеров с тонкими стенками без излишнего локального перегрева и коробления;
- низкий уровень звука ламинарной плазменной струи (всего 30...50 дБ).

Отличительной особенностью этой установки является наличие компактного механизма подачи проволоки в межэлектродный участок плазменной струи. Проволока подается приводом постоянного тока при помощи фрикционных роликов. Подающий механизм имеет ступенчатую (за счет сменных роликов) и плавную (за счет изменения числа оборотов на валу электродвигателя) регулировки скорости подачи проволоки.

3.5. Наплавка токами высокой частоты (индукционная)

Сущность метода индукционной наплавки заключается в нанесении на поверхность детали слоя специального материала с дальнейшим его расплавлением путём индукционного нагрева для восстановления первоначальной формы детали или придания поверхности особых свойств (рис. 3.21). Наплавленный слой отличается особой прочностью, что обеспечивает повышение износостойкости наплавляемых элементов, а следовательно, увеличивает их долговечность.

Полученные этим способом биметаллические изделия позволяют экономить дорогостоящие материалы, управлять такими свойствами, как коэффициент трения, существенно снижать себестоимость и повышать долговечность деталей и узлов.

Наплавка может быть одновременной или непрерывно-последовательной. Последняя может выполняться на достаточно боль-

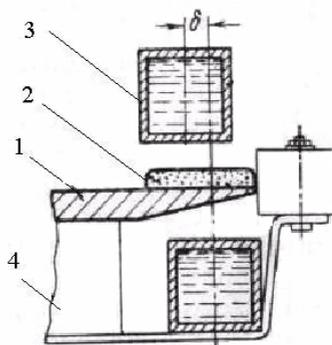


Рис. 3.21. Схема расположения наплавляемой детали в индукторе:
1 – деталь; 2 – слой шихты;
3 – индуктор; 4 – опорное приспособление

ших площадях поверхности при сравнительно небольшой мощности в индукторе.

Индукционная наплавка может осуществляться на детали, имеющие плоскую поверхность, наружную или внутреннюю цилиндрические поверхности. Наплавляемый металл может удерживаться на плоских поверхностях или имеющих малую кривизну за счет сил поверхностного натяжения, а при наплавке цилиндрических поверхностей с вращением деталей – за счет центробежных сил. Для удержания расплава на плоских поверхностях могут использоваться технологические буртики или специальные формующие холодильники. Для повышения производительности процесса и уменьшения расхода электроэнергии используются сплавы с более низкой температурой плавления, а также шихта с улучшенной теплопроводностью, увеличенной объемной массой и уменьшенным количеством флюса.

Детали, восстанавливаемые и упрочняемые индукционной наплавкой

Восстановленные и упрочненные методом индукционной наплавки детали служат в 3...10 раз дольше новых, не упрочненных деталей.

Индукционная наплавка применяется для упрочнения и восстановления деталей:

- железнодорожной техники;
- горнодобывающего оборудования;
- строительной техники;
- дорожно-ремонтной техники;
- автомобилей и тракторов;
- сельскохозяйственной техники.

К ним относятся такие изделия: долото лемеха, лапа культиватора, хвостовик автосцепки, замок автосцепки, центрирующая балка, хомут тяговый, плита опорная и т. д.

Технология индукционной наплавки

Технологический процесс индукционной наплавки складывается из следующих операций:

- 1) подготовка наплавляемой поверхности детали. Очистка от загрязнений и ржавчины;

- 2) нанесение шихты на упрочняемую поверхность для получения необходимой толщины износостойкого сплава с учетом требований эксплуатации;
- 3) подача детали в индуктор и расплавление шихты на всей наплавляемой поверхности;
- 4) удаление детали из индуктора и передача на участок термической обработки.

При разработке оптимального процесса упрочнения деталей машин необходимо учитывать влияние технологических факторов на качество наплавленного слоя. Основным условием получения качественного слоя наплавленного металла является одновременное расплавление шихты на всей упрочняемой поверхности. С уменьшением толщины основного металла продолжительность наплавки резко увеличивается. Это объясняется снижением коэффициента полезного действия нагрева вследствие уменьшения объема металла, разогреваемого индуктором.

В условиях массового производства неизбежны колебания толщины восстанавливаемых изделий вследствие разной величины их износа. Эта разница может достигать 25...40 % от номинальной толщины кромки. Сужение этого допуска представляет значительные технические трудности и требует либо предварительной механической обработки наплавляемой поверхности, либо пластической деформации в горячем состоянии.

Решающее влияние на стабильность наплавленного слоя по толщине оказывает равномерность слоя нанесенной шихты. При использовании ручных приспособлений для нанесения шихты на наплавляемую поверхность толщина слоя насыпки колеблется в пределах ± 20 % от номинальной, что не гарантирует получения равномерной толщины наплавленного слоя. Установлено, что по мере увеличения толщины слоя шихты увеличивается продолжительность наплавки детали.

В процессе индукционной наплавки рабочие органы подвергаются местному нагреву до высоких температур, что вызывает термические деформации детали. Величина и характер деформации зависят от общей жесткости детали, формы поверхности, метода нагрева, глубины фрезерования в период подготовки поверхности.

Наибольшей деформации во время наплавки подвергаются длинномерные детали, например режущие органы сельхозтехники: лемех рыхлителя, нож измельчающего аппарата силосоуборочного комбайна и др. С целью получения детали, соответствующей чертежу, эти заготовки перед наплавкой выгибают в обратную сторону на величину, равную деформации детали от термического воздействия, которую заранее рассчитывают или определяют эмпирическим путем.

При разработке и внедрении технологического процесса наплавки необходимо обеспечить стабильные геометрические размеры поверхности, достигнуть точности дозирования шихты по толщине не ниже $\pm 5\%$ номинальной толщины слоя шихты, обеспечить стабильную горизонтальную установку упрочняемой плоскости в индукторе, стремиться к использованию сплавов, вязких в интервале наплавочных температур.

Основная задача термической обработки после индукционной наплавки – устранение последствий перегрева основного металла. С этой целью в технологическом процессе изготовления деталей после наплавки обычно предусматривается нормализация.

Нормализация не является совершенно необходимой операцией после индукционной наплавки. Если в эксплуатации деталь не испытывает динамических нагрузок и можно не опасаться хрупкого разрушения, то термическая обработка после наплавки не производится. Это в первую очередь относится к малоуглеродистой стали (Ст3, 20). Для более ответственных деталей, изготавливаемых из среднеуглеродистых сталей и испытывающих при эксплуатации ударные нагрузки, например лапы культиваторов, нормализация после наплавки обязательна. В ряде случаев нормализация может быть совмещена с другими операциями, например с нагревом под гибку, если таковой применяется при придании деталям окончательной формы.

Технология индукционной наплавки опорной плиты

Для наплавки используется шихта, представляющая механическую смесь порошков твердого сплава ПС-5 и флюса, содержащего борный ангидрид, буру и силикокальций. Флюс, входящий в состав шихты, удаляет окисную пленку с основного металла, раскисляет наплавляемый металл и выполняет защитные функции, предотвращая взаимодействие расплавленного металла с кислородом воздуха

и задерживая теплоотдачу в окружающую среду. Шихта наносится на наплавляемые участки поверхности детали полуавтоматическим дозатором слоем определенной толщины, которая зависит от требуемой толщины наплавленного слоя. Затем деталь с нанесенным слоем шихты вводят в специальный индуктор, питаемый от высокочастотной установки (рис. 3.22). Для удобства транспортировки деталей к наплавочным установкам шихта предварительно спекается в газовой печи при температуре около 600 °С.

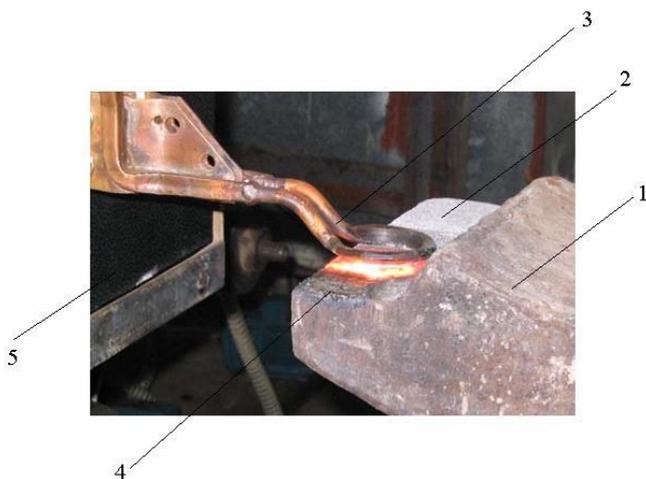


Рис. 3.22. Наплавка опорной плиты петлевым индуктором:
1 – изделие; 2 – слой шихты; 3 – петлевой индуктор;
4 – наплавленный слой; 5 – высокочастотный генератор

Источником питания, как правило, служат высокочастотные генераторы с частотой 70...150 кГц. При прохождении тока высокой частоты через контур индуктора в поверхностных слоях основного металла индуцируются токи, и наружный слой металла быстро разогревается. Слой шихты, расположенный между индуктором и нагреваемой поверхностью, в связи с высоким сопротивлением металлического порошка слабо реагирует на воздействие переменного электромагнитного поля. Шихта нагревается главным образом за счет теплопередачи от основного металла. В связи с этим температура плавления шихты должна быть ниже температуры начала плавления основного металла, а скорость подвода тепла к нагреваемой

поверхности должна быть значительно больше скорости его отвода в глубину изделия и потерь в окружающую среду.

Наплавленные детали подвергаются нормализации посредством индукционного нагрева до температуры 800...830 °С для снятия внутренних напряжений и улучшения структуры основного металла.

Индукторы для наплавки

Индуктор нагревательный (лат. *inductor*, от *induce* – ввожу, нахожу, побуждаю) – электромагнитное устройство, предназначенное для индукционного нагрева. Индуктор состоит из двух основных частей: индуктирующего провода, с помощью которого создается переменное магнитное поле, и токоподводов для подключения индуктирующего провода к источнику электрической энергии (рис. 3.23).

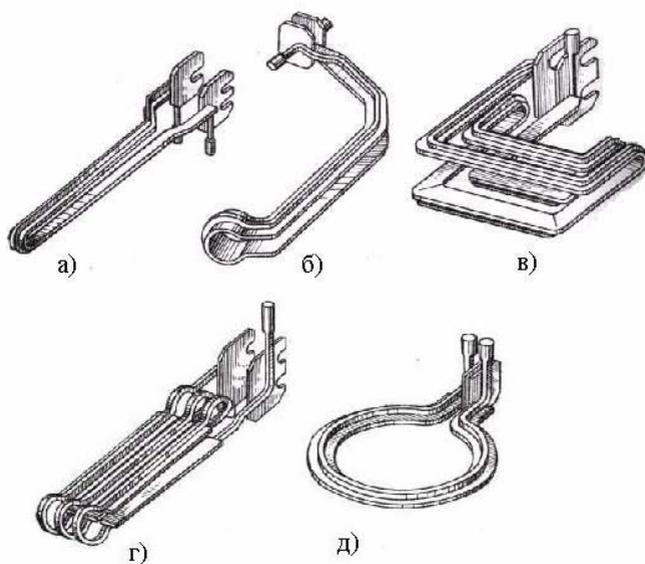


Рис. 3.23. Индукторы для наплавки различных деталей машин:
а – петлевой для наплавки лап культиваторов; б – для наплавки плужных лемехов; в – проходной для наплавки долотообразных лемехов; г – трехвитковый для наплавки крыльчаток пескометов; д – для одновременной центробежной наплавки режущих кромок сферических дисков-лушильников

Проводящее электрический ток тело, помещенное в магнитное переменное поле, нагревается вследствие теплового действия вихревых токов, наводимых в участках изделия, непосредственно охватываемых индуктирующим проводом. В основном все типы индукторов могут быть разделены на два вида: одновременного и непрерывно-последовательного нагрева. В первом случае площадь индуктирующего провода примерно равна площади нагреваемой поверхности, что позволяет одновременно нагревать все её участки. При втором способе нагреваемое изделие перемещают относительно индуктирующего провода, последовательно нагревая участки поверхности изделия.

Установки для индукционного нагрева

Установки индукционного нагрева серии «ПАРАЛЛЕЛЬ ИП» предназначены для напайки твердосплавных пластин режущего инструмента, а также для наплавки, нагрева и термообработки деталей различной формы с использованием индукторов и приспособлений специальной конструкции. Установки заменяют собой устаревшие высокочастотные установки с ламповыми генераторами и среднечастотные установки с машинными преобразователями. Они более экономичны, удобны и безопасны в эксплуатации, обладают малыми габаритами и современным дизайном.

Установки индукционного нагрева серии «ПАРАЛЛЕЛЬ ИНТ» предназначены для индукционного нагрева труб и прутков до температуры 750 °С в различных технологических процессах (сушка, отжиг, нанесение покрытий, очистка труб и буровых штанг от отложений). Установка ПАРАЛЛЕЛЬ ИНТ-30-8,0 служит для нагрева замков перед наворачиванием на бурильные трубы.

Установки индукционного нагрева серии «ПАРАЛЛЕЛЬ СТЫК» предназначены:

- для нагрева зон стыков и дефектных участков при нанесении изоляции трубопроводов;
- предварительного нагрева околошовной зоны при сварке и наплавке трубопроводов в полевых условиях;
- питания ручных шлифовальных машин (далее – шлифмашин) и другого электроинструмента с однофазными коллекторными двигателями напряжением 220 В, мощностью до 2 кВт.

Установки питаются от сварочных агрегатов постоянного тока и не создают остаточной намагниченности трубы.

Установка УПИ-10-440 предназначена для пайки твердосплавных пластин к режущим кромкам дисковых фрез и пил диаметром 120...1000 мм с толщиной полотна до 10 мм, сверл, резцов. Позволяет без нарушения структуры и деформации материала полотна фрезы производить пайку пластин при локальном нагреве токами высокой частоты.

Автомат для индукционной наплавки фасок клапанов 01.03-172 «РЕМДЕТАЛЬ». Поточная автоматическая линия управляемого индукционного нагрева предназначена для наплавки автомобильных клапанов двигателей внутреннего сгорания методом намораживания. Автоматизированная линия обеспечивает высококачественное упрочнение поверхности клапана при высоком уровне производительности установки.

Автоматическая поточная линия включает систему подачи заготовок и охлаждающей среды, источник питания, представляющий собой тиристорный преобразователь частоты, индуктор и систему управления.

3.6. Наплавка трением. Электроконтактная наварка

Сущность процесса наплавки металлов трением заключается в плавлении наносимого металла теплотой, выделяемой при трении инструмента, или самого наплавляемого металла о деталь с последующим соединением его с деталью при определенном усилии. Трение обеспечивается вращением наплавляемой детали или инструмента относительно массы наносимого металла или сплава. Основным условием для обеспечения плавления наносимого металла или сплава является изготовление наплавляемой заготовки или инструмента (с помощью которых осуществляется трение) из материалов с более высокой температурой плавления по сравнению с температурой плавления наносимого материала. Во избежание «прихватывания» наплавляемого металла к рабочей поверхности инструмента или формообразующей детали приспособления их изготавливают из особых материалов.

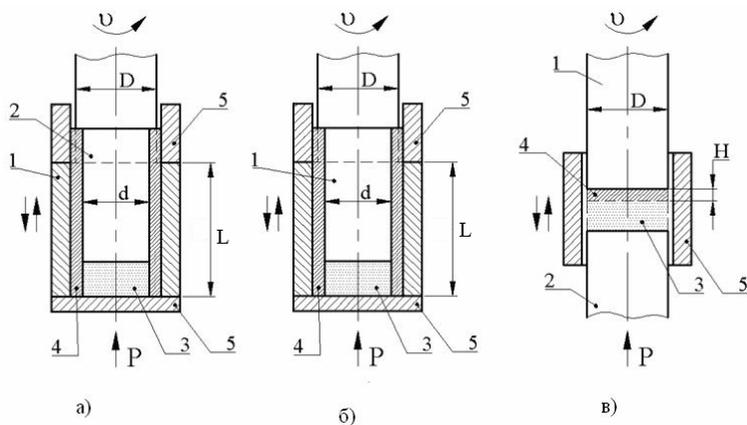


Рис. 3.24. Принципиальные схемы процесса наплавки трением:
a – на внутреннюю; *б* – на наружную; *в* – на торцовую поверхности;
 1 – деталь; 2 – инструмент; 3 – наплавляемый металл до наплавки;
 4 – наплавленный металл; 5 – приспособление

При наплавке металла на торцовую поверхность детали во внутреннюю полость приспособления 5 (рис. 3.24) помещают необходимое количество стружки 3, после чего в него вводят деталь 1. За счет продольного перемещения пуансона 2 наплавляемый металл предварительно уплотняется с образованием брикета соответствующей плотности. Наплавка происходит при вращении детали 1 и одновременном продольном перемещении пуансона 2 для создания рабочего давления на поверхности трения детали. В результате интенсивного тепловыделения от трения брикет расплавляется и, находясь в закрытом пространстве приспособления, наплавляется на торцовую поверхность детали. По достижении инструментом 2 крайнего положения, соответствующего заданному размеру H наносимого слоя металла, вращение детали прекращается, и наплавленный металл 4 кристаллизуется на ее поверхности в условиях всестороннего сжатия, обеспечивающих получение металлического соединения высокой прочности и высокую плотность наплавленного металла. После окончания кристаллизации инструмент отводится в исходное положение, приспособление раскрывается и наплавленная деталь извлекается. При наплавке металла или сплава на наружную поверхность цилиндрической детали 1 (рис. 3.24, *б*) инструмент отсутс-

твует, предварительное уплотнение стружки наносимого металла и создание рабочего давления на поверхность трения обеспечиваются продольным перемещением приспособления 5. Металл плавится трением торцовых и боковых поверхностей детали 1 о брикет, вытесняется из полости 3 и располагается на боковой поверхности детали слоем заданной толщины. В крайнем положении, соответствующем вытеснению всего металла, вращение детали и продольное перемещение приспособления прекращаются, и расплавленный металл 4 кристаллизуется на поверхности слоем заданной длины L .

При наплавке металла на внутреннюю боковую поверхность деталь 1 (рис. 3.24, *a*) закрепляют в приспособлении 5, обеспечивающем создание закрытого пространства достаточных размеров для помещения стружки.

Наплавка выполняется вращением инструмента 2 и продольным перемещением приспособления. В крайнем верхнем положении приспособления весь расплавленный металл располагается на наплавляемой поверхности слоем определенного размера; затем инструмент, не прекращая его вращения, извлекают из приспособления.

Преимущества и недостатки наплавки металлов трением

Наплавка трением отличается от других методов наплавки полезным использованием теплового эффекта трения, отсутствием расплавления основного металла и перегрева наплавляемого металла. При этом отсутствует их перемешивание. Важной особенностью процесса наплавки трением является образование металлического соединения между твердым и жидким металлами в условиях всестороннего сжатия, что обеспечивает плотность наплавленного металла.

Преимущества процесса:

- 1) стабильность химического состава и сохранение исходных механических свойств в наплавленном слое;
- 2) получение надежного соединения основного и наплавленного металлов;
- 3) возможность наплавки комбинированной шихтой для получения заданных свойств наплавленного слоя;
- 4) возможность эффективного использования отходов механической обработки;
- 5) высокая экономичность процесса.

К недостаткам процесса относятся:

- 1) невозможность нанесения металлов более тугоплавких, чем основной металл;
- 2) ограниченные размеры наплавляемых поверхностей;
- 3) необходимость изготовления специальных приспособлений или сменных вкладышей к ним для наплавки деталей каждого типа.

Процесс наплавки трением целесообразно применять для ремонта изношенных и изготовления биметаллических деталей, а также для поверхностного упрочнения деталей.

Особенно эффективен этот процесс для ремонта деталей типа втулок.

В настоящее время большинство резьбовых и шпиндельных гаек, золотников и клапанов нефтяной арматуры, подвижных и антифрикционных колец ремонтируются таким способом. В качестве наплавочных материалов могут использоваться алюминиевые сплавы (АЛ-1), медь (М-0, М-1), различные бронзы (БрОФ-10-1; БрАЖ9-4; БрАЖМц 10-3-1,5), латуни (ЛК80-3, ЛС59-1, Л-62), а также ковкий чугун, белый чугун и сплав Сормайт-1.

Технология ремонта изношенных деталей наплавкой трением

Технологический процесс ремонта изношенной или изготовления биметаллической детали наплавкой трением состоит из следующих этапов:

- подготовка детали к наплавке;
- подготовка наплавляемого металла или сплава;
- предварительное уплотнение наплавляемого металла или сплава;
- наплавка трением;
- контроль качества наплавки;
- окончательная механическая обработка наплавленной детали.

После наплавки деталь помещают в ящик с песком для медленного остывания. Качество соединения детали с наплавленным слоем и отсутствие дефектов проверяются визуально и простукиванием детали медным молотком. Проводятся также выборочные механические испытания наплавленных деталей для определения прочности соединения основного металла с наплавленным. Необ-

ходимые размеры и качество поверхности в соответствии с рабочим чертежом получаются механической обработкой (рис. 3.25).



Рис. 3.25. Пример наплавленной детали – втулка. Основа – сталь 3, наплавленный слой – латунь ЛМцС58-2-2

Электроконтактная наварка (ЭКН) является одним из перспективных способов формирования на рабочих поверхностях деталей машин металлопокрытий со специальными эксплуатационными свойствами. Способ позволяет наплавлять материалы различной формы, с различными физико-механическими свойствами (стальные ленты, порошки, проволоки). Основные принципы процесса электроконтактной наварки проволокой были разработаны в 70-х годах XX века. Сущность способа заключается в следующем. Наплавочный ролик прижимает наплавляемый, навариваемый или напекаемый материал к детали и деформирует его, после чего наносимый материал нагревается разрядом тока. При ЭКН на деталь компактного материала (сплошной проволоки или ленты) идут такие же процессы термомеханической обработки металла и образования сварного соединения, как и при сварке давлением. Если применяется порошковый материал или паста, то процессы уплотнения и спекания порошка, а также его соединения с основой значительно ускоряются.

С помощью электроконтактной наварки восстанавливаются различные детали автомобилей и тракторов, имеющие цилиндрические поверхности: гильзы блока цилиндров ДВС, оси колес, балансиры внешние и внутренние, валы ведущих мостов, полуоси, оси опорных катков тракторов, валы коробок передач, валы муфт

сцепления, опоры промежуточные, цапфы поворотные, кулаки поворотные, шкворни поворотных кулаков, рукава полуосей и т. п.

Электроконтактная наварка проволокой (лентой). Область применения – восстановление деталей с малыми износами (посадочные поверхности, шейки коленчатых валов и т. п.); толщина стальной ленты составляет 0,2...1,0 мм; порошковополимерной ленты – 0,5...2,0 мм.

Типовые размеры восстанавливаемых деталей: диаметр – 10...250 мм; длина – 50...1250 мм. Затраты на восстановление деталей методом электроконтактной наварки составляют 30...40 % от стоимости новых.

Процесс осуществляется следующим образом (рис. 3.26). Концы присадочных проволок (лент) 1 зажимаются между роликовыми электродами 2 и деталью 3, образуя электрическую цепь 4 вторичного контура сварочного трансформатора Тр. При пропускании во вторичном контуре импульсов сварочного тока I большой величины и малого напряжения происходит приварка проволоки (ленты) к поверхности детали.

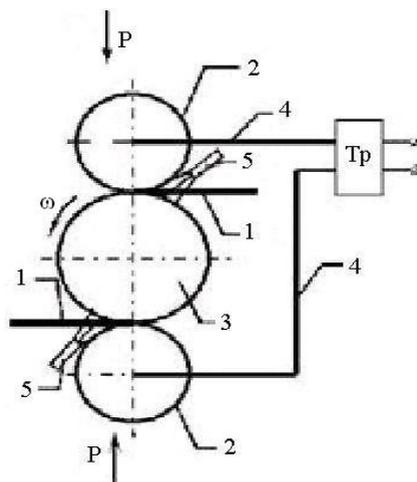


Рис. 3.26. Схема электроконтактной наварки проволоки или ленты: 1 – проволока (лента); 2 – электродные ролики; 3 – деталь; 4 – вторичный контур сварочного трансформатора; 5 – подача охлаждающей жидкости

Сплошной валик наваренного металла образуется при вращении детали с угловой скоростью так, чтобы единичные объемы наваренного металла перекрывали друг друга. Восстановление всей поверхности осуществляется наваркой по винтовой линии за счет продольной подачи роликовых электродов. Толщина слоя зависит от количества проходов. Подача в зону наварки охлаждающей воды 5 приводит к закалке углеродистого наваренного металла и предотвращает перегрев всей детали. Процесс электроконтактной наварки шейки коленчатого вала представлен на рис. 3.27.

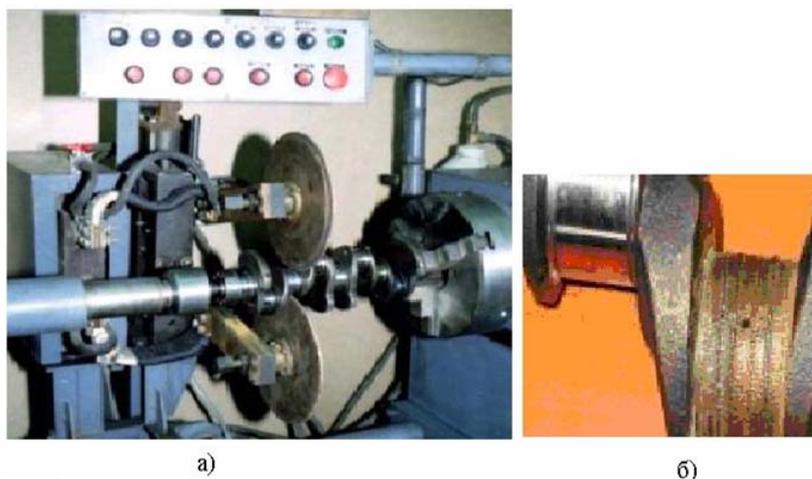


Рис. 3.27. Процесс электроконтактной наварки шейки коленчатого вала:
а – установка для наварки; *б* – наваренная шатунная шейка

Свойства наваренного металла определяются в первую очередь химическим составом присадочной проволоки (ленты). С увеличением содержания углерода возрастает твердость наваренного металла и, следовательно, его износостойкость. Наличие других легирующих элементов, например хрома, не ухудшает свариваемости. Это дает возможность наварки слоев со специальными свойствами. Наваренный металл характеризуется отсутствием неблагоприятной литой структуры, что имеет место при дуговой наплавке. Отсутствуют также такие характерные дефекты, как поры и трещины. Структура наваренного металла неоднородна – закаленные участки чередуют-

ся с частично отпущенными зонами. Эта структура характерна для многих импульсных технологий и объясняется особенностями их термических циклов. Такой вид структуры не оказывает негативное воздействие на износостойкость восстановленной поверхности.

Оборудование для электроконтактной наварки

В качестве оборудования могут применяться как специально разработанные, так и стандартные установки для шовной сварки. Для реализации электроконтактных технологий разработаны установки УЭН-01 первого поколения (изготавливаемые на базе токарных станков), а с 2002 года специализированные установки второго поколения УЭН-2П.М01, имеющие стабилизацию параметров режима и автоматизацию управления с единого пульта (рис. 3.28).

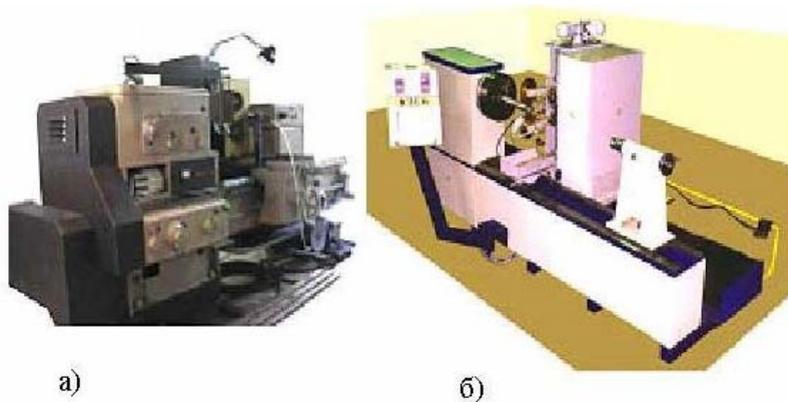


Рис. 3.28. Внешний вид установок для электроконтактной наварки:
а – установка УЭН-01; б – установка УЭН-2П.М01

Электроконтактное напекание порошков применяется для восстановления шеек коленчатых валов автомобилей и тракторов. Продолжительность наращивания слоя на одну шейку составляет 40...60 с, толщина слоя за один проход – до 1,7 мм. Микропористое покрытие на шейках получают посредством электроконтактного нагрева и спекания порошка при одновременном формовании его медным электродом. Исходным сырьем для напекания служат порошки, стружка, гранулы, отходы различных металлов и сплавов на основе меди, железа, никеля, вольфрама, например, БрОФ10-1, БрОЦС5-5-5, БрАЖ9-4,

БрОС1-22, ПМС-1, ПР-Х4Г2Р4С2Е, ПГ-СР1, ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-СР4, ПГ-УС25, ПГ-10Н-01, ПГ-10Н-02 и др.

Нарощенное покрытие имеет минимальные припуски на обработку (до 1 мм), микропористость – 15...20 % и износостойкость в 1,3...1,5 раза выше, чем износостойкость закаленной стали 45 или высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Ресурс восстановленных напеканием валов автомобилей семейства «ГАЗ» составляет не менее 100 тыс. км пробега. Валы этим способом можно восстанавливать неоднократно.

3.7. Ремонтная сварка литых деталей из чугуна, магниевых и алюминиевых сплавов

Чугун – сплав железа с углеродом (не менее 2,14 % С), разделяют на легированный и легированный, содержащий хром, никель, марганец и другие легирующие элементы.

По структуре различают белый чугун (с белым изломом), в котором углерод находится в виде цементита, и серый чугун (с серым изломом), в котором углерод находится в основном в форме графита. Серый чугун подразделяют на серый литейный, высокопрочный, ковкий, жаростойкий, жаропрочный, коррозионно-стойкий и антифрикционный.

Для изготовления литых корпусных деталей машин и станков применяют обычно серый машиностроительный чугун различных марок. Сварочно-технологические свойства чугуна в большой степени зависят от структуры металла в области сварки, состояния и вида графических включений в нем.

Перлитный чугун состоит из перлита с равномерно распределенным мелкозернистым и пластинчатым графитом. Количество перлита в структуре от 25 до 100 %. Эти чугуны обладают повышенной прочностью и пластичностью, применяются для ответственных деталей и хорошо свариваются. Получение той или другой структурной составляющей определяется химическим составом чугуна, условиями кристаллизации и остывания металла; таким образом, одной из основных мер для получения желаемой структуры чугуна является регулирование соотношений концентраций углеро-

да и кремния. Количество свободного углерода, выделяющегося в виде графита, зависит от скорости остывания сплава, содержания в сплаве кремния и наличия других ферритизаторов. При содержании в сплаве кремния более 4 % и медленном охлаждении отливки почти весь углерод выпадает в виде графита. Эти свойства кремния используют при сварке чугуна чугуной присадкой, в которой содержание кремния составляет от 3,5 до 4,5 %. Кремний уменьшает растворимость углерода в жидком и твердом растворе и вытесняет углерод из раствора в виде графита.

Перлитно-ферритные чугуны встречаются в массивных тяжелых отливках. В структуре кроме перлитной составляющей и графитных включений имеется некоторое количество зерен феррита. Свариваемость этих чугунов хуже, чем перлитных.

Ферритные чугуны в структуре имеют менее 25 % перлита, углерод почти весь выделен из сплава в виде графита. Эта структура характерна для деталей крупных и массивных, а также для деталей, работающих длительное время под воздействием тепла. Сварка данного чугуна сложна и требует специальной технологии.

Особенности сварки чугуна

Основные затруднения при сварке

1. Склонность к образованию твердых закаленных прослоек при быстром охлаждении сплава, нагретого до температуры 760 °С; обычно при этом образуются промежуточные структуры (мартенсит, тростит), обладающие высокой твердостью, затрудняющие обработку его обычным режущим инструментом.

2. Недостаточная пластичность чугуна, что при сварке приводит к трещинообразованию, связанному с неравномерным нагревом изделия. Чем больше перепад температур между основным металлом и сварным швом, тем больше вероятность возникновения трещин. При общем равномерном нагреве детали перед сваркой до температуры 300 °С и выше опасность трещинообразования резко уменьшается.

3. Потеря пластических свойств при плавлении и затвердевании, большая жидкотекучесть в расплавленном состоянии. Переход из твердого состояния в жидкое происходит сразу, минуя пластическое состояние.

Величина и форма графита следующим образом влияют на свариваемость чугуна.

1. Хорошая свариваемость – мелкий пластинчатый или сферообразный графит в чугунах перлитного класса.

2. Удовлетворительная свариваемость – графитные включения малого и среднего размера. Отдельные включения графита окружены достаточным полем металла, что обеспечивает свариваемость.

3. Ограниченная свариваемость – крупные включения графита, образующие сплошную сетку. Сложная чугунная отливка может иметь в различных своих частях неодинаковую структуру. Толстые стенки имеют структуру крупнозернистого феррита (вследствие медленного охлаждения), тонкие вследствие быстрого охлаждения – мелкозернистую перлитную структуру.

Области применения сварки чугуна

1. Исправление дефектов литья:

- а) дефекты, обнаруживаемые после извлечения отливок из литейных форм в литейном цехе (раковины, недоливы, трещины, рыхлоты, пористость и др.). Большинство дефектов исправляются на специально оборудованных участках;
- б) дефекты, обнаруживаемые в процессе механической обработки (раковины, пустоты, трещины). Исправление – сложная задача, требующая специальных электродов, технологии и квалификации сварщика.

2. Исправление различных повреждений, полученных в процессе эксплуатации:

- а) сварка чугунных деталей на ремонтных заводах с массовой однотипной продукцией (автомобили, тракторы и др.) – это позволяет применять единообразную технологию сварки, тщательно отработанную, обеспечивающую высокое качество сварного соединения;
- б) восстановление деталей больших габаритов и веса, вышедших из строя вследствие поломок и износа. Вопрос исправления таких деталей крайне сложен и требует применения специфических способов сварки.

3. Изготовление сварных изделий из отдельных чугунных отливок методом промежуточного литья или электрошлаковой сваркой (сварно-литые чугунные изделия).

Качество сварного соединения в чугунных изделиях определяется следующими показателями:

- 1) обрабатываемость наплавленного слоя (сварного шва) обычным режущим инструментом;
- 2) одинаковая твердость металла шва, зоны термического влияния и основного металла;
- 3) равнопрочность сварного соединения основному металлу;
- 4) одинаковый химический состав и структура наплавленного и основного металлов.

Классификация способов сварки чугуна

1. Горячая сварка чугуна (сварка с общим подогревом изделия):

- газовая сварка чугунной присадкой с применением флюса;
- газовая сварка с применением присадок из цветных металлов;
- электродуговая сварка угольным электродом с чугунной присадкой;
- электродуговая сварка чугунным электродом;
- электродуговая сварка стальным электродом со стабилизирующей обмазкой;
- литейная сварка способом промежуточного литья.

2. Холодная сварка чугуна:

- электродуговая сварка стальными покрытыми электродами;
- электродуговая сварка стальным электродом со специальной обмазкой;
- электродуговая сварка электродами из медно-железных сплавов;
- электродуговая сварка электродами из медно-никелевых сплавов;
- электродуговая сварка электродами из железо-никелевых сплавов;
- газовая низкотемпературная сварка специальной чугунной присадкой.

Горячая сварка чугуна

Предварительный подогрев изделия перед сваркой уменьшает скорость охлаждения наплавленного металла и препятствует образованию твердых закалочных структур, одновременно ослабляет общее напряженное состояние свариваемого изделия и предотвращает образование трещин. Для большинства изделий нагрев до 400...450 °С, при сварке жестких и сложных деталей нагрев должен быть повышен до 550...600 °С. Способы нагрева определяются усло-

виями производства. Массовые однотипные работы выполняются в специальных нагревательных печах (например, печи конвейерного типа), в горнах, газовых или электрических печах. Индивидуальные изделия подогреваются во временных горнах с применением древесного угля, кокса или газа. Горячая сварка выполняется только в нижнем положении. Обработка завариваемого участка под сварку заключается в тщательной вырубке всех трещин, раковин и надорванных мест, при этом должен быть вырублен весь рыхлый металл.

Вследствие высокой температуры основного металла, подогретого для сварки, затвердевание наплавленного металла замедляется, поэтому при горячей сварке нужно хорошо заформовать место сварки, чтобы не дать растечься жидкому металлу (рис. 3.29).

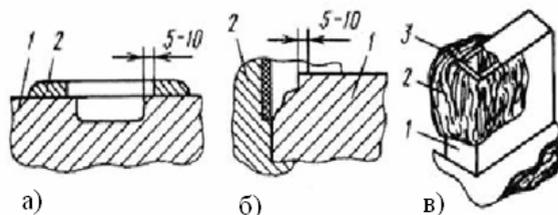


Рис. 3.29. Формовка места сварки для горячей сварки чугуна:
а – несквозной раковины; *б* – недолива кромки детали;
в – общий вид заформованного дефекта; 1 – деталь; 2 – формовка;
 3 – графитовые пластины

При формовке часто пользуются графитовыми, угольными или коксовыми пластинками, для больших деталей формовкой служит формовочная смесь высокой прочности (кварцевый песок, замешанный на жидком стекле). После формовки необходима просушка формы при постепенном подъеме температуры от 60 до 120 °С, затем проводят дальнейший нагрев под сварку со скоростью 120...150 °С в час в печах, горнах или временных нагревательных устройствах. Мало- и среднегабаритные детали надо подогревать до температуры 300...400 °С, а крупногабаритные – до 500...600 °С (до появления коричнево-красного цвета).

Способы нагрева и нагревательные устройства применяют в зависимости от характера производства (устранение литейных дефектов, ремонтная сварка и т. д.). Например, при массовом произ-

водстве в литейных цехах автомобильных и тракторных заводов целесообразно использовать конвейерные печи; для ремонтных работ удобен нагрев в муфельных печах или в горнах с открытым кожухом; для разовых ремонтных работ крупногабаритных изделий изготавливают временные нагревательные устройства из огнеупорного кирпича, в том числе печи-ямы в земляном полу цеха.

Остывание после сварки в зависимости от веса и формы детали длится от нескольких часов до нескольких суток. Замедленное охлаждение после сварки достигается при укрывании изделий теплоизолирующим слоем (листами асбеста и засыпкой песком, шлаком и др.) или при охлаждении вместе с печами, горнами — для замедленного охлаждения металла шва и обеспечения свойств сварного соединения, равноценных свойствам основного металла.

Материалы, применяемые для горячей сварки чугуна, приведены в табл. 5.

Таблица 5

Сварочные материалы для горячей сварки чугуна

Наименование	Марка и обозначение	Назначение
Наплавленный металл – чугун с перлитно-ферритной структурой		
Прутки чугунные (ГОСТ 2671–70)	А, Б	Для горячей газовой сварки (заварки) и изготовления электродов
Прутки чугунные	ПЧ-1	Для горячей газовой сварки, наплавки (диаметром 10...12 мм), изготовления электродов (диаметром 12...16). Разработаны с целью улучшения сварочно-технологических свойств прутков и повышения качества наплавленного металла
Электроды чугунные на прутках ПЧ-1, А, Б	ЭЧ-1	Для горячей дуговой сварки-наплавки (диаметром 12...16 мм)
Наплавленный металл – чугун с перлитной структурой		
Прутки чугунные	ПЧС-1 (ПЧ-2)	Для горячей газовой сварки, наплавки, изготовления электродов
Прутки чугунные самофлюсующие	ПЧ-3	Для горячей газовой сварки, наплавки при исправлении дефектов модифицированных чугунов

Наименование	Марка и обозначение	Назначение
Электроды чугу- нные на прутках ПЧС-1	ЭЧ-2	Для горячей дуговой сварки-наплавки
Наплавленный металл – чугун с шаровидным графитом		
Электроды чугу- нные на прутках ПЧС-2	ЭВЧ-1	Для горячей дуговой сварки-наплавки ваннным способом

Ацетиленокислородная сварка чугунных изделий

Газовая сварка чугуна по сравнению с другими способами обладает технологическими преимуществами. Основным из них является возможность регулирования в широких пределах скорости нагрева и величины нагреваемых зон, прилегающих к сварному шву, скорости заполнения сварочной ванны присадочным металлом и скорости охлаждения заваренного участка. Эти приемы широко используются в практике и дают возможность получать металл сварного соединения, соответствующий по качеству основному металлу.

Последовательность технологических операций при проведении горячей сварки газовым пламенем

Первое – подготовить детали к сварке. Для этого надо очистить поверхность пламенем горелки или металлическим скребком (щеткой), а если потребуется, то и зубилом. Кромки надо разделить под углом 70°.

Второе – подогреть детали. Мелкие детали подогреть до температуры 300...400 °С, а крупногабаритные до 500...600 °С.

Третье – установить деталь в зоне действия вытяжной вентиляции с расположением дефекта в нижнем положении и горизонтальной плоскости (продолжительность перерыва между окончанием подогрева и началом сварки для небольших отливок несложной конфигурации не должна превышать 3...5 мин во избежание охлаждения детали ниже 400 °С).

Четвертое – нагреть свариваемую поверхность газовым пламенем горелки с последующей обработкой флюсом. Для этого отрегулировать нормальное пламя удельной мощности 100...120 л/ч на 1 мм толщины металла и восстановительной его частью (на расстоя-

нии 2...3 мм от ядра пламени) равномерно прогреть кромки дефекта до расплавления с одновременным нанесением флюса и равномерным распределением его по поверхности дефекта с помощью присадочного прутка.

Пятое – заполнить дефектный участок расплавленным присадочным металлом. Для этого расплавить пруток наиболее горячей частью пламени, добавляя периодически флюс на кончике присадочного прутка. Сварку вести ванным способом (отдельными сварочными ваннами длиной 20...50 мм каждая) с поддержанием металла в жидком состоянии до полного заполнения дефекта присадочным металлом. При заварке краевых дефектов поддерживать ванну в полужидком состоянии (для исключения стекания металла) за счет периодического отведения пламени от места дефекта для охлаждения ванны и изменения угла наклона горелки к поверхности изделия с 80 до 10°. Удалять неметаллические включения из ванны в процессе сварки с помощью флюсования жидкого металла и интенсивного его перемешивания присадочным прутком.

Шестое – закончить процесс сварки, медленно отводя сварочную горелку от поверхности ванны на 50...60 мм, и при этом подогреть наплавленный металл пламенем в течение 0,5...1,5 мин. Затем накрыть деталь листовым асбестом для замедленного охлаждения металла шва.

Седьмое – осуществить термообработку. Детали нагреть до температуры 500...600 °С с последующим медленным охлаждением вместе с печью.

Сварка угольным или графитовым электродом

В отличие от газовой сварки здесь создается более высокая температура сварочной ванны и большая степень концентрации тепла. Сварка ведется на постоянном токе прямой полярности. Диаметр электрода 8...20 мм. Сила тока от 350 до 800 А, определяется диаметром электрода и толщиной свариваемого металла. Диаметр чугунного присадочного прутка 6...14 мм. Флюсы применяют такие же, как и для газовой сварки. При правильно выполненном процессе шов обладает механическими свойствами, структурой и химическим составом литейного чугуна.

Флюс при сварке чугуна выполняет следующие функции:

- 1) очищает свариваемую поверхность основного металла от окислов и загрязнений за счет их растворения в слое расплавленного флюса;
- 2) растворяет легкоплавкие соединения;
- 3) защищает расплавленную ванну от окисления;
- 4) увеличивает жидкотекучесть сварочных шлаков и ванны расплавленного металла и смачиваемость основного металла.

Дуговая сварка чугуном электродом

Горячая дуговая сварка чугуном электродом применяется при исправлении крупных литейных дефектов в тяжелых чугунных отливках.

В промышленности применяют много разнообразных обмазок для чугунных электродов. Обмазки должны хорошо стабилизировать дуговой промежуток, защищать от выгорания электродный металл в процессе его плавления и переноса через дуговой промежуток, легировать металл шва. Наиболее распространены для горячей сварки чугуна электроды марки ОИЧ-1. Они изготавливаются из чугунного стержня марок А и Б $\varnothing 10...18$ мм с обмазкой, в состав которой входят мел – 25 %, графит – 41 %, ферросилиций – 9 %, полевого шпата – 25 %. Толщина слоя покрытия – 0,1...0,2 мм, длина чугунных стержней составляет 350...500 мм. Разделка дефектного участка должна быть обязательно заформована. Подготовленная деталь подвергается нагреву до 350...400 °С.

Сварка может выполняться от источников переменного и постоянного тока. Сила тока устанавливается из расчета 50...90 А на 1 мм диаметра электрода. После зажигания дуги сварщик оплавляет кромки изделия и образует ванну расплавленного металла. При нормальном нагреве ванна оплавляет стенки детали, и жидкий металл хорошо смачивает кромки основного металла. Дуга при этом должна располагаться по центру сварочной ванны.

Для ускорения процесса заварки дефектов большого объема в сварочную ванну добавляют огарки чугунных электродов или заранее приготовленные куски чугунного лома. Процесс сварки заканчивается наплавкой поверхности выше уровня основного металла на 2...6 мм. Данное усиление играет роль литейной прибыли, в которой концентрируются шлаки, а потом образуется литейная корка.

Холодная сварка чугуна

Разработка всех способов холодной сварки чугуна направлена на решение следующих задач.

1. Получение сварного соединения, обрабатываемого обычным режущим инструментом. Ряд электродов (в основном из меди, никеля и их сплавов) дают обрабатываемый металл шва (ЦЧ-4, МНЧ-2). Вопрос получения обрабатываемых околошовных зон сварного соединения полностью не решен, так как этот участок вследствие большой скорости охлаждения обычно имеет структуру закалки (цементит).

2. Создание условий, снижающих внутренние напряжения и трещинообразования. Эта задача очень сложная, решена не полностью. Необходимо получить достаточно пластичный металл шва и осуществить проковку.

3. Получение наплавленного металла, близкого по химсоставу к основному металлу. Эта задача применительно к холодной сварке не решена, поскольку для сварки используется присадочный металл иного состава, чем основной.

При холодной сварке чугуна применяют следующие способы:

- 1) сварка стальными электродами;
- 2) сварка электродами из цветных металлов.

Сварка стальными электродами

Наплавка валика на чугунную деталь стальным электродом дает в первом слое половинчатые сплавы чугуна и высокоуглеродистой стали с содержанием углерода 1,6...1,8 %. Такие сплавы легко образуют твердые закаленные зоны и обладают большой хрупкостью. Технологические приемы сварки чугуна направлены на снижение твердости, хрупкости и трещинообразования в переходных зонах и в первых слоях наплавки.

Таковыми приемами являются:

- 1) выполнение сварки первых слоев на режимах с малой погонной энергией;
- 2) применение электродов малого диаметра 3...4 мм;
- 3) уменьшение силы тока до 90...150 А;
- 4) обеспечение минимальной глубины проплавления (1,5...2 мм);

5) использование обратного слоя (после наплавки первого валика длиной 50...60 мм сварщик сейчас же накладывает на этот валик второй слой). Такой прием является местной термообработкой, что улучшает структуру сварного соединения.

Применение этих мероприятий улучшает структуру переходных зон и увеличивает пластичность первого слоя наплавки, но полностью закалку и возникновение трещин не устраняет.

Широкая производственная проверка стальных электродов показала, что они в ряде случаев вполне обеспечивают надежное сварное соединение чугуна. Из числа качественных электродов хорошо зарекомендовали себя электроды марки УОНИ 13/55, дающие надежное сплавление с чугуном. Наплавленный металл обладает некоторой вязкостью, а во 2-м и 3-м слоях обрабатываемостью. Металл, наплавленный электродами марки ЦЧ-4, удовлетворительно обрабатывается режущим инструментом. В состав электродов ЦЧ-4 введен сильный карбидообразователь – ванадий.

При ремонте крупных дефектов массивных чугунных деталей стальным электродом применяется способ сварки с «шурупами». Для увеличения прочности сварного соединения, когда к нему не предъявляется других требований (например, при ремонте станин, рам, кронштейнов и других несущих элементов толстостенных конструкций), применяют стальные шпильки, которые частично разгружают наиболее слабую часть сварного соединения – линию сплавления.

Шпильки имеют резьбу, их ввертывают в тело свариваемой детали. Размеры шпилек обычно зависят от толщины свариваемых деталей. Практикой установлены следующие рекомендации: диаметр шпилек 0,3...0,4 толщины детали, но не более 12 мм; глубина ввертывания шпилек 1,5 диаметра их, но не более половины толщины свариваемых деталей; высота выступающей части 0,75...1,2 диаметра шпильки. Шпильки располагают в шахматном порядке на скошенных кромках деталей и в один ряд на поверхности детали с каждой стороны стыка, причем расстояние между ними должно быть равно 4...6 диаметров шпильки.

Сварку выполняют в следующем порядке. Сначала обваривают каждую шпильку и облицовывают поверхности кромок электродами диаметром 3 мм на малых токах. Затем на облицованные кромки

и шпильки наплавляют валики и окончательно заполняют разделку. При сварке деталей с толстыми стенками для уменьшения количества наплавленного металла рекомендуется в шов вваривать связи из круглой или полосовой стали (рис. 3.30). Для удержания расплавленного металла шва рекомендуется заформовать дефектный участок. При сварке нужно давать перерывы до охлаждения детали. На расстоянии 50...100 мм от шва температура основного металла не должна превышать 50...60 °С (терпит рука).

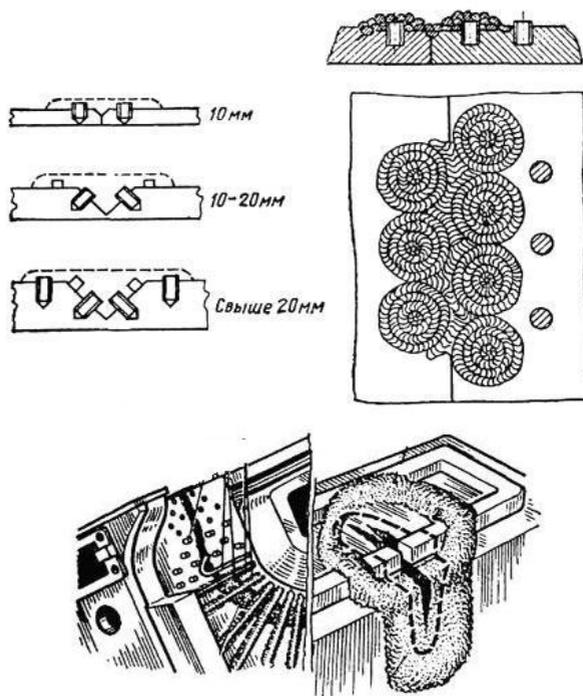


Рис. 3.30. Ремонтная сварка чугунного изделия стальным электродом с применением шпилек

Крайние ряды шпилек должны обвариваться после того, как заварен весь исправляемый участок. При многослойной сварке валики должны пересекаться под углом.

Сварка электродами из цветных металлов

Применение электродов из цветных металлов для дуговой сварки чугуна имеет целью получение металла сварного соединения, обрабатываемого обычным режущим инструментом. Медь и никель, не образующие с углеродом никаких соединений и не растворяющие его, позволяют получать мягкие наплавки с обеспечением 80...90 % прочности от основного металла.

Сварка медно-железными электродами

Многочисленные исследования медно-железных электродов показали наилучшие результаты при содержании в сплаве 80...95 % меди и 5...20 % железа. Такие сплавы дают достаточно прочное соединение и удовлетворительную обрабатываемость. Эти электроды для сварки чугуна применяются очень давно, ряд их выпускается промышленностью согласно разработанным техническим условиям. Существует несколько способов их приготовления:

- 1) медный стержень с оплеткой из жести, покрытый тонкой стабилизирующей обмазкой;
- 2) медный стержень в железной трубке со стабилизирующей обмазкой;
- 3) электрод из биметаллической проволоки (медь на проволоке, электролитическое омеднение);
- 4) пучок из медных и стальных электродов;
- 5) медный стержень с обмазкой основного типа (мрамор, плавиковый шпат), в который введен железный порошок (электроды ОЗЧ-1, ОЗЧ-2, ОЗЧ-6).

Электроды ОЗЧ-2 и ОЗЧ-6 при наплавке дают хорошие результаты в сочетании с проковкой. Сварка производится короткими участками вразброс, чтобы не допустить перегрева. Основное преимущество железно-медных электродов – возможность эффективной проковки наплавленного ими металла в горячем состоянии, что снижает усадочное напряжение и уменьшает опасность образования трещин в околосшовной зоне. Недостаток – неоднородная структура, в мягкой медной основе расположены включения твердой железной составляющей, затрудняющей механическую обработку.

Электроды, содержащие никель

Электроды используют главным образом для заварки различных дефектов, обнаруженных в процессе механической обработки, где местное повышение твердости недопустимо. Для этих целей применяют медно-никелевые и железоникелевые сплавы:

- тип «Монель» – Ni – 65...75 %; Cu – 27...30 %; Fe – 2...3 %; Mn – 1,2...1,8 %;
- тип «Мельхиор» – Ni – 80 %; Cu – 20 %.

При сварке этими сплавами отбел переходной зоны значительно меньше, чем при сварке стальными и медно-железными электродами. Недостаток этих сплавов – большая литейная усадка, ведущая к появлению горячих трещин в металле, снижающих прочность сварных соединений. Поэтому эти электроды не применяются для заварки трещин в изделиях, несущих силовую нагрузку. Электроды из монель-металла могут применяться для выполнения облицовочного – промежуточного слоя, после чего сварка ведется электродами другого состава. Это дает возможность уменьшить отбел в околошовной зоне. Например, при сварке со шпильками наносят облицовочный слой из монель-металла, а затем ведут сварку электродами марки УОНИ 13/55. Сварное соединение при этом получают удовлетворительное по механической прочности и обрабатываемости режущим инструментом.

Железоникелевые электроды ОЗЧ-3, ОЗЖН-1, ЦЧ-3 разработаны для сварки высокопрочного чугуна; применяется сплав железа с 55 % никеля. Электроды изготавливаются с обмазками основного типа, с толщиной слоя 0,8...1 мм на сторону. Сварка чаще всего ведется постоянным током обратной полярности. Наплавленный слой легко обрабатывается, так как величина отбеленной зоны незначительна вследствие графитизирующего влияния никеля.

Аустенитно-медный электрод

Марка АНЧ-1 состоит из стержня, стали марки 04Х18Н9, и медной оболочки. На электрод наносится покрытие фтористо-кальциевого типа. Аустенитно-медные электроды по сравнению с железомедными обладают следующими преимуществами: большой стойкостью против трещин и пор и лучшей обрабатываемостью, так

как отбел незначителен, благодаря графитизирующей способности Ni и меди. Кроме того, аустенитно-медные электроды, как и железоникелевые и железомедные в сочетании с проковкой шва обеспечивают необходимую плотность сварного соединения.

Низкотемпературная пайка-сварка чугуна латунными припоями

Процесс протекает при температуре 700...750 °С, при которой в чугуне не происходит структурных изменений. Это исключает опасность отбеливания чугуна и уменьшает возможность образования трещин. Пайку-сварку целесообразно применять при исправлении дефектов на уже обработанных поверхностях, где важно сохранить первоначальную форму изделия, нельзя использовать предварительный подогрев, а также в тонких сечениях, когда необходимо снизить опасность возникновения деформации. Этот способ позволяет получать соединения чугуна с чугуном и другими металлами, что упрощает конструкцию отливок. В качестве припоя используется кремнистая латунь ЛОК-59-1-0,3, содержащая до 0,4 % кремния. Для пайки-сварки изделий применяется припой ЛЮМНА-54-1-10-4-02, содержащий медь, олово, марганец, никель и до 0,6 % алюминия. При пайке-сварке этим припоем металл паяно-сварного шва имеет цвет чугуна, твердость 180...200 НВ и временное сопротивление разрыву 280...340 МПа. Применяется поверхностно-активный флюс марки ФПСН-2, содержащий 50 % борной кислоты (H_3BO_3), 25 % углекислого лития ($LiCO_3$), 25 % углекислого натрия (Na_2CO_3) и галоидосодержащую добавку для удаления вязкой окиси алюминия, образующейся в процессе пайки-сварки. Флюс плавится при 650 °С и служит индикатором начала процесса. Пайку выполняют обычной сварочной горелкой, работающей на ацетилене или газах-заменителях. Пламя должно быть нормальным. Кромки подготавливают механической обработкой. На поверхности чугуна не допускается грязь, окалина. Следы жиров удаляют протиркой растворителями (ацетоном, бензином и др.). Флюс наносят на основной металл после предварительного подогрева кромок до 300...400 °С. Пайку-сварку начинают в момент плавления флюса, направляя пламя на прилегающие к разделке участки основного металла во избежание раздувания флюса.

Расплавленный флюс прутком припоя равномерно распределяют по всей поверхности свариваемого места; затем пламя направляют на конец прутка, оплавливают его и по спирали снизу вверх заполняют разделку металлом припоя. Сразу же после затвердевания наплавки ее проковывают медным молотком.

Ремонт чугунных деталей по технологии фирмы Castolin Eutectic International С.А. [20]

Технология и сварочные материалы производства фирмы Castolin Eutectic International С.А. позволяют выполнять надёжный ремонт методом ручной электродуговой сварки деталей практически из любых марок чугуна кроме высокохромистых и отбелённых чугунов.

Разделку трещин при подготовке детали к сварке рекомендуется проводить с помощью специальных разделочных электродов типа ЕС 4000 (рис. 3.31). Данные электроды позволяют удалять изношенный металл, выжигать масло и примеси из околошовной зоны при очень малом подогреве детали. Производительность при разделке выше, чем при работе абразивным инструментом



Рис. 3.31. U-образная разделка кромок трещины, выполненная электродом ЕС 4000

в 4...5 раз. U-образная разделка, получаемая при работе разделочным электродом, по сравнению с традиционной V-образной для абразивного инструмента позволяет экономить до 30 % дорогостоящих материалов для сварки чугуна.

Для ремонта чугунных деталей рекомендуется использовать покрытые электроды типа ЕС 4040, которые позволяют уверенно проводить сварку в любом пространственном положении. Специальные добавки в обмазке электрода обеспечивают формирование углерода в околошовной зоне в форме шаровидного графита. Это исключает риск образования трещин. Замедленное плавление

стержня электрода даёт возможность сварки старых и замасленных чугуновых деталей. Электрод для ручной дуговой сварки чугуна типа ЕС 4040 позволяет сваривать чугун со сталью, никелевыми сплавами и сплавами на основе меди.

Для герметизации микропор в околосшовной зоне фирмой предлагается пруток для капиллярной пайки типа Castolin 157. Низкая температура плавления, высокая текучесть позволяют обеспечить герметичность водяных рубашек двигателей внутреннего сгорания, масляных ванн редукторов и т. п.

Наплавка деталей из алюминиевых сплавов

Основные затруднения при наплавке изделий из алюминиевых сплавов

Все алюминиевые сплавы, использующиеся для производства деталей, подразделяются на литейные и деформируемые. В свою очередь, эти сплавы могут быть термоупрочняемыми и не упрочняемыми термической обработкой, а также нагартованными, т. е. имеющими поверхностно-пластическое упрочнение. В зависимости от этих условий для восстановления деталей из алюминиевых сплавов электродуговой наплавкой требуется применять различные технологические приемы сварки, использовать дополнительное оборудование для подогрева изделий либо выбирать такие технологические установки, которые позволяют модулировать тепловложение в изделие. Наряду с этими проблемами при восстановлении деталей из алюминиевых сплавов возникают затруднения, связанные с особенностями теплофизических и металлургических свойств самого материала.

Основной трудностью при наплавке алюминиевых сплавов является устранение окисной пленки с поверхности наплавляемого и присадочного материалов. Поверхность алюминия и его сплавов покрыта тугоплавкой оксидной пленкой, плавящейся при температуре 2050 °С. Эта пленка очень затрудняет сплавление основного и присадочного металлов, поэтому свариваемые кромки необходимо тщательно очистить механическим или химическим способом. Следует иметь в виду, что при нагреве до 400...500 °С прочность алюминия резко падает и деталь может разрушиться даже под действием собственного веса.

Окисная пленка образуется на поверхности алюминия практически мгновенно из-за очень высокой активности алюминия по отношению к кислороду. Толщина окисной пленки зависит от условий эксплуатации изделия и длительности воздействия на него окислительной среды. Однако из-за своей высокой плотности толщина окисной пленки обычно не превышает 0,1 мм. Наличие на поверхности окисной пленки препятствует сплавлению металла, а попадание ее в сварочную ванну вызывает пористость наплавленного валика. Пористость возникает обычно из-за диссоциации окислов и попадания в сварной шов вместе с пленкой паров воды и органических загрязнителей. Чтобы исключить вредное воздействие окисной пленки, перед наплавкой алюминиевые изделия должны подготавливаться по следующей технологии:

- промывка горячей водой для устранения органических загрязнителей;
- выжигание масла газовой горелкой (для деталей, работающих в масляной ванне);
- зачистка поверхности механическим путем — точение, фрезерование, зачистка металлической щеткой.

Устранение окисной пленки может осуществляться химическим путем: травление в 10 %-ном растворе щелочи с последующей промывкой в воде и пассивированием в 3 %-ном растворе азотной кислоты.

Изделия из алюминиевых сплавов обычно наплавляют на переменном токе или на постоянном токе обратной полярности. Это связано с тем, что при этих условиях окисная пленка в процессе горения дуги разрушается под действием так называемого «механизма катодного разрушения». Сочетание предварительной подготовки металла с воздействием механизма катодного разрушения окисной пленки позволяет получать наплавленный валик достаточно высокого качества.

Алюминиевые сплавы обладают высокой теплопроводностью и имеют большой коэффициент литейного расширения. Поэтому для наплавки алюминиевых изделий требуется применять мощные источники тепла с высокой степенью концентрации тепловой энергии. Кроме того, для ремонтно-восстановительных работ требуются

жесткие зажимные приспособления с целью исключения коробления при наплавке.

Дополнительные трудности при наплавке алюминиевых изделий возникают из-за склонности некоторых сплавов к трещинообразованию.

Появление горячих трещин связано с большой литейной усадкой сплава в процессе кристаллизации и превышением темпа деформации металла над его деформационной способностью в области температурного интервала хрупкости. Борьба с трещинообразованием может осуществляться как технологическим, так и металлургическим путем. К технологическим мероприятиям относятся использование предварительного подогрева изделия, оптимизации параметров режима сварки, импульсного тепловложения. Металлургические мероприятия включают применение присадочных материалов повышенной чистоты, легирование наплавленного валика компонентами, повышающими пластичность сплава, модификацию металла тугоплавкими элементами.

Наплавка изделий из алюминиевых сплавов может осуществляться как плавящимся электродом, так и неплавящимся (вольфрамовым) с подачей присадочной проволоки. В качестве защитной среды используют инертные газы аргон или гелий. Для наплавки неплавящимся электродом используют установки типа УДГ-500, УДАР, ИСВУ-315, ТИР-300Д. Для наплавки изделий из алюминиевых сплавов трехфазной дугой неплавящимися электродами используют установку типа УДГТ-315. Для наплавки изделий плавящимся электродом используют сварочные выпрямители типа ВДГ-500, ВС-600 или другие аналогичные с жесткой характеристикой, применяемые для полуавтоматической сварки.

Способы сварки алюминиевых сплавов

Газовая сварка алюминия и его сплавов

Дает хорошие результаты при правильном выборе режима сварки и применении флюсов. Кромку соединения и присадочную проволоку очищают от оксидной пленки. Механическую очистку производят обезжириванием в щелочном растворе с последующей

очисткой металлической щеткой. Химическую очистку производят в такой последовательности: кромки обезжиривают и промачивают в 5 %-ном растворе каустической соды, затем соединяемые кромки промывают водой и насухо протирают ветошью и просушивают. Сварку следует выполнять не позднее чем через 8 часов после очистки. Флюс наносят на свариваемые кромки и присадочную проволоку в виде пасты или насыпают в разделку шва в виде порошка. Флюсы хранят в герметично закрытых сосудах, так как они очень интенсивно поглощают влагу из воздуха.

Сварку выполняют «левым способом», нормальным пламенем или с небольшим избытком ацетилен. Следует учесть, что большой избыток ацетилена способствует образованию пор в сварном шве. Большую опасность представляет избыток кислорода, который значительно затрудняет сварку. Наклон мундштука горелки в начале сварки устанавливают 70...80 градусов, а затем уменьшают до нормального значения — 30...45 градусов. Мощность сварочного пламени зависит от толщины металла. Сварные соединения из проката алюминиевых сплавов проковывают легкими ударами в холодном состоянии. Остатки флюса и шлака тщательно удаляют с помощью металлической щетки и горячей воды. В настоящее время в связи с развитием аргонодуговой сварки этот способ используют редко.

Ручная дуговая сварка вольфрамовым электродом на переменном токе в среде инертных газов

Электрическая дуга горит между изделием и неплавящимся электродом. Присадочный материал вводят в сварочную ванну без подключения к источнику тока. Как правило, сварку вольфрамовым неплавящимся электродом проводят на переменном токе в среде аргона.

Данный метод применяют для сварки стыковых, угловых и тавровых швов, а также для заварки различного рода дефектов изделий при толщине стенок от 1 до 12 мм, в зависимости от мощности источника питания и теплоемкости изделия. Использование однофазной дуги, горящей с вольфрамового электрода в среде инертного газа, для ремонтной сварки изделий больших толщин неэффективно вследствие большой теплопроводности алюминиевых сплавов.

Установка для сварки состоит из охлаждаемой воздухом или водой сварочной горелки с вольфрамовым электродом (рис. 3.32), системы подачи защитного газа и охлаждающей жидкости и специального трансформатора. Охлаждающую воду можно брать от водоразборного крана и после прохождения через установку отводить в канализацию. В случае применения охлаждающего устройства определённую часть воды постоянно вновь охлаждают. В этом случае отпадает необходимость в заборе воды, уменьшается опасность отложения солей в трубопроводах.

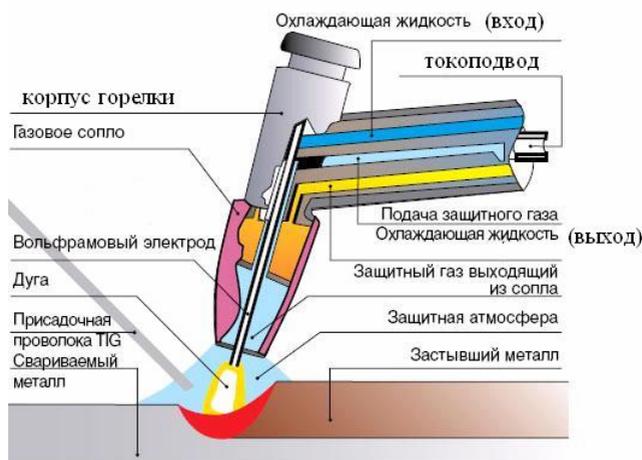


Рис. 3.32. Сварка алюминиевых сплавов на переменном токе вольфрамовым электродом в среде инертных защитных газов

Зажигание электрической дуги происходит, когда электрод, наклоненный под углом примерно 45° , находится на расстоянии примерно 3 мм от изделия (при горячем электроде расстояние должно быть немного больше). Целесообразно предварительно зажать электрод на куске отходов или на специально подготовленной для этого угольной или графитовой пластине. С целью обеспечения действенности потока аргона и предотвращения окисления свариваемого изделия необходимо держать электрод на наиболее благоприятном минимальном расстоянии от изделия. Как только сварочная ванна станет чистой, глянцевой, можно начинать сварку, подавая приса-

дочный материал. Необходимо избегать перегревов, которые приводят к матово-серой поверхности шва.

Пруток присадочного материала наклоняют на 10...20 градусов к поверхности свариваемого изделия, подводя его независимо от электрической дуги, но под покровом защитного газа. Соприкосновение вольфрамового электрода с изделием или присадочным материалом приводит к загрязнению сварного шва и повреждению электрода. Загрязнённый конец электрода отламывают.

Дуговая ремонтная сварка алюминиевых сплавов плавящимся металлическим электродом

Дуговую сварку алюминия плавящимся металлическим электродом с обмазкой применяют в настоящее время практически только для ремонта литых изделий. Электрическая дуга горит между свариваемым изделием и плавящимся электродом. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности (электрод является положительным полюсом). В большинстве случаев можно использовать выпрямители, применяемые для сварки стали. Способ пригоден для сварки изделий толщиной более 4 мм. Швы обычно накладываются зигзагообразно. Заварка дефектов осуществляется, как правило, в нижнем положении, так как алюминиевые сплавы в расплавленном состоянии обладают большой жидкотекучестью. Потолочная сварка вообще исключается.

Обмазка электродов при сварке выполняет функции флюса: она защищает расплавленный металл от воздуха, вызывает ионизацию зоны электрической дуги и этим непрерывно поддерживает ее горение.

К электродам, применяемым при этом способе, предъявляются следующие требования:

- легкое зажигание электрической дуги;
- легкая отделяемость шлака;
- стабильное качество (без признаков отслаивания оболочки);
- отсутствие брызг металла.

Покрытые электроды для сварки алюминия поставляют во влагоустойчивых пакетах. Эту упаковку снимают только перед работой. Отсыревшие электроды могут быть годны к употреблению после ос-

торожного просушивания. Обычно используют электроды диаметром 2...6 мм и длиной 400...450 мм.

Получение качественных швов во многом зависит от качества подготовки свариваемых поверхностей. Кромки сварного соединения с целью удаления дефектного металла и микротрещин обрабатывают пилами, фрезами, напильниками, а также резкой или строганием. Если обработку шва производят шлифованием или плазменной резкой, то фрезой или напильником удаляют ещё слой толщиной, по крайней мере, 0,2 мм. Нежелательно при обработке кромок использовать абразивный инструмент, так как частички абразива могут попасть в металл и при сварке вызвать дефект в виде пористости. Окисный слой на кромках и близлежащих поверхностях непосредственно перед сваркой рекомендуется удалять с помощью обезжиренной проволочной щётки. Хотя окисный слой тотчас же образуется снова, он очень тонок и, что важно, имеет везде одинаковую толщину. Кроме щёток, для удаления окисного слоя можно использовать напильники, скребки. Для удаления оксидного слоя также можно использовать травление в щелочи.

Свариваемые кромки и соседние участки (по крайней мере, по 50 мм с обеих сторон шва) должны быть чистыми и высушенными. Для этого необходимо после механической обработки дефектного участка кромки и присадку протереть органическим растворителем (этиловый спирт).

Предварительный подогрев необходим в том случае, если нельзя добиться достаточного провара в условиях соблюдения нормального режима сварки, т. е. если тепло, подводимое от соответствующего источника, так быстро отводится, что кромки шва и присадочный материал не расплавляются. Предварительный подогрев осуществляется газовыми горелками. При этом должны использоваться достаточно мощные горелки, пламя которых поддерживают слегка восстановительным, и поэтому оно не вызывает интенсивного увеличения толщины окисного слоя на кромках шва при длительном подогреве или избытке кислорода. При обработке различных сплавов следует также учитывать влияние температуры и времени подогрева на свойства материалов.

При толщине свариваемых изделий до 5 мм предварительный подогрев не производят; изделия большей толщины нагревают до 150...250 °С, литые детали – до 150...200 °С.

При многослойной сварке для заварки корня шва применяют электроды меньшего диаметра, при наложении каждого последующего слоя диаметр электрода увеличивают. Перед наложением последнего слоя шва следует тщательно механически (молотком и щётками) удалить шлак. При толщине свариваемых изделий до 4 мм для достижения хорошего провара рекомендуется использовать подложки из стали, меди или графита.

Силу тока рассчитывают в зависимости от толщины свариваемых изделий, диаметра электрода и возможного предварительного подогрева. Наклон электрода составляет от 90 до 60°.

Для ручной дуговой сварки алюминиевых сплавов разработан электрод марки ОЗА-2. Этим электродом довольно просто заварить трещину в детали из алюминиево-кремнистого сплава, изношенное отверстие, а также приварить обломавшуюся часть. Стержень электрода ОЗА-2 изготовлен из проволоки марки Св-АК5, которая близка по химическому составу к алюминиево-кремнистым сплавам, поэтому сварные соединения, выполненные этим электродом, имеют высокие механические свойства. Для разрушения окисной пленки и хорошего сплавления электродного металла с основным металлом детали на стержень электрода методом прессовки нанесена обмазка толщиной 0,6...0,8 мм. Главным компонентом ее является флюс АФ-4А.

При сварке автомобильных деталей обычно применяют электроды диаметром 5 или 6 мм. В случае использования электрода диаметром 5 мм сварку ведут при силе сварочного тока 140...160 А, а электрода диаметром 6 мм – 170...200 А. В связи с тем что стержень электрода ОЗА-2 плавится значительно скорее, чем у стального электрода, сварщику надо быстрее продвигать электрод вдоль шва. Длина дуги на протяжении всей сварки должна быть стабильной и равной приблизительно диаметру используемого электрода.

При заварке трещины электрод продвигают вперед равномерно без поперечных колебаний. Если же по условиям работы детали шов должен обладать более высокой прочностью, то его усиливают, на-

кладывая второй слой. Самые хорошие результаты при ручной электродуговой сварке алюминиевых сплавов получаются, если деталь предварительно подогреть до температуры 280...300 °С. При устранении повреждений в крупных деталях, таких как блоки цилиндров, достаточно подогреть металл лишь в зоне сварки. Местный подогрев обычно осуществляют пламенем газовой горелки.

Как при газовой сварке, так и при электродуговой электродами ОЗА-2 на поверхности детали в зоне сварки (на поверхности шва) остается корка прореагировавшего флюса, который вызывает коррозию шва. Для удаления этого шлака шов смачивают теплой водой, а затем зачищают металлической щеткой.

Ремонтная сварка и наплавка изделий из алюминиевых сплавов трехфазной дугой в среде аргона [7; 8; 9; 10]

Чтобы повысить производительность процесса сварки и наплавки изделий из алюминиевых сплавов, необходим более концентрированный источник теплоты. В качестве такого источника используют трехфазную дугу, которая представляет собой факел из поочередно горящих дуг: независимой дуги, горящей между двумя вольфрамовыми электродами, и двух зависимых дуг, горящих между электродами и изделием (рис. 3.33). Межэлектродная дуга трехфазного факела поддерживает в ионизированном состоянии дуговой промежуток между изделием и электродами, позволяет подогреть деталь перед наплавкой. Трехфазная дуга обладает большей мощностью, чем однофазная при одинаковом значении тока в электроде.

Способ сварки трехфазной дугой имеет существенные отличия от процесса сварки однофазной дугой не только в плане электрических, мощностных характеристик и стабильности горения, но также и в плане реализации технологических возможностей. Этот универсальный инструмент используется как при сварке малой толщины металла, так и при сварке алюминиевых сплавов толщиной до 40 мм; для ремонтной сварки изделий из сплавов магния и алюминия; для автоматической сварки полотнищ и тавровых соединений; для сварки и резки алюминиевых сплавов сжатой трехфазной.

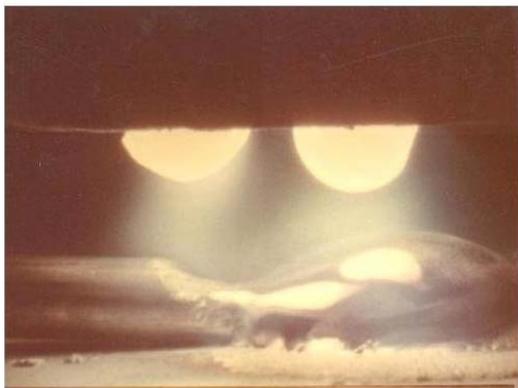


Рис. 3.33. Процесс наплавки поверхности изделия из алюминиевого сплава трехфазной дугой

Широкие технологические возможности трехфазной аргонодуговой сварки обусловлены как объективным фактором (физической природой самого процесса), так и субъективным фактором (результатом многочисленных исследований этого способа).

Замечательной особенностью горения трехфазной дуги, значительно расширяющей ее технологические возможности, является способность глубокой регулировки тока, протекающего через изделие при неизменном значении тока в электродах. Например, устанавливая с помощью разнесения обмоток трехфазного трансформатора сварочный ток в электродах, равный 100 А, можно добиться значений тока в изделии от 6 до 170 А при сохранении стабильности горения дуги во всем диапазоне изменения тока. Коэффициент тока (КТ), определяемый как отношение тока в изделии к току в электроде, при этом изменяется от 0,06 до 1,7. Такая широта диапазона тока сварки в изделии обеспечивается включением в цепь средней фазы источника питания балластного реостата. Применение балластных сопротивлений для регулировки сварочного тока известно достаточно давно, но такую глубину регулирования тока не удастся получить даже при сварке на постоянном токе (из-за нарушения устойчивости горения дуги на малых токах) и тем более при сварке алюминиевых сплавов на переменном токе вольфрамовым электродом. Эффективность такого глубокого регулирования тока проявляется особен-

но при наплавке тонколистовых или малогабаритных конструкций из легких сплавов, где требуется строго ограниченное тепловложение. Как известно, для получения качественного сварного соединения при наплавке алюминиевых сплавов требуется удалить окисную пленку с поверхности металла, что как раз и обеспечивается малоамперной дугой (6...15 А), а тепла, выделяемого межэлектродной дугой, достаточно для образования сварочной ванны. Другие способы наплавки дугой прямого действия обеспечить такое дозированное тепловложение не могут и, соответственно, реализовать технологию наплавки тонколистовых и малогабаритных конструкций из легких сплавов не в состоянии. Ниже приведены примеры реализации широких технологических возможностей трехфазной дуги.

Первый пример. Используя эффект глубокого регулирования сварочного тока в изделии, проводили наплавку на торец пакета из алюминиевых полос толщиной 1 мм с целью получения сплошной металлической поверхности на торце шинопровода. Полученные образцы сварных соединений, выполненных трехфазной дугой с глубоким регулированием сварочного тока (рис. 3.34, а) и обычной трехфазной дугой с величиной $KT = 1,7$ (рис. 3.34, б), резко отличаются величиной проплавления. Во втором случае провар металла достигает толщины самого пакета пластин, при этом создается большой объем литого металла в торце шинопровода, возникают значительные деформации пластин, составляющих пакет шинопровода.

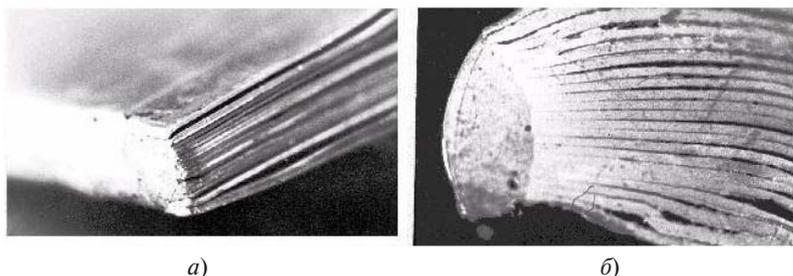


Рис. 3.34. Наплавка трехфазной дугой торца пакета шинопровода из тонколистового алюминиевого сплава:
а – при значении $KT = 0,5$; б – $KT = 1,7$

Второй пример. Достаточно наглядно широкие технологические возможности трехфазной дуги в среде аргона, связанные с глубоким регулированием сварочного тока в изделии, проявляются при наплавке пластин из сплава 1201 толщиной 20 мм и плакированных чистым алюминием толщиной 1 мм. Здесь требуется восстановить лишь плакирующий слой, не затрагивая металл основы. Используя трехфазную дугу с регулированием тока в изделии балластным сопротивлением, получили необходимый результат (рис. 3.35).

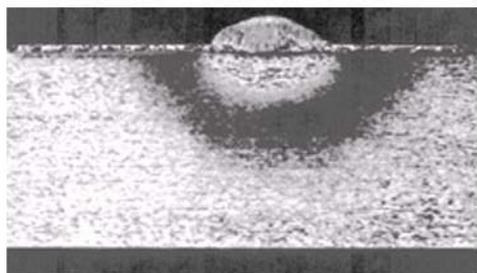


Рис. 3.35. Восстановление наплавкой трехфазной дугой плакирующего слоя на поверхности изделия из алюминиевого сплава 1201

Третий пример. Ремонтная сварка и наплавка изношенных деталей, как правило, выполняется с применением присадочной проволоки, подаваемой в сварочную ванну. Присадочный материал может иметь как круглое, так и прямоугольное сечение («лапша»). Диаметр присадочной проволоки и размеры «лапши» иногда превышают размеры дугового промежутка, что затрудняет процесс наплавки. Специфические особенности горения трехфазной дуги и конструктивное решение двухэлектродной горелки, применяемой для ремонтно-восстановительных работ, позволяют решить эту проблему за счет изменения величины дугового промежутка в первом и втором электродах (рис. 3.36).

Как видно из рис. 3.36, дуга от первого электрода воздействует на присадочный металл, расплавляя его, а дуга от второго электрода формирует сварочный валик. Поэтому при таком расположении электродов сварочной горелки даже крупногабаритные размеры присадочного материала не затрудняют процесс наплавки.



Рис. 3.36. Наплавка трехфазной дугой с подачей крупногабаритной присадки

Ремонт литых деталей из магниевых сплавов трехфазной дугой [8]

Наибольшее распространение в производстве литых изделий получили литейные магниевые сплавы МЛ5 и МЛ10. Сплав МЛ5 относится к группе высокопрочных сплавов с временным пределом прочности при термообработке по режиму Т6 (закалка + старение) до 260 МПа. Рабочий диапазон температур до 150 °С. Сплав МЛ10 относится к группе жаропрочных сплавов и имеет рабочий диапазон температур до 300 °С. Предел прочности этого сплава ниже, чем сплава МЛ5, и составляет 220 МПа. Оба сплава обладают хорошей демпфирующей способностью.

Производство изделий из магниевых сплавов методом литья сопряжено со значительными трудностями из-за сильной окисляемости и низкой температуры возгорания магния. Дополнительные трудности вызывает сложность магниевых литых изделий, особенно таких изделий, как корпуса редукторов. Они характеризуются высокой степенью жесткости конструкции, резкими переходами от толстой стенки к тонкой, наличием большого количества отверстий и ребер жесткости. Указанные причины вызывают появление в изделиях из магниевых сплавов различного рода дефектов: трещин, неслитин, шлаковых включений, газовых пузырей, пористости. Учитывая высокую стоимость магниевых литых изделий, устранение дефектов осуществляют сваркой. Дефекты, встречающиеся в изделиях из магниевых сплавов, имеют различную конфигурацию, размеры, глубину зале-

гания и проникновения в металл изделия. Наиболее просто и с достаточно высоким качеством устраняются поверхностные дефекты площадью до 1500 мм². Наиболее трудно устранимыми дефектами, из-за появления горячих трещин в месте заварки, являются сквозные отверстия на тонкой стенке в жестком изделии. Основным технологическим приемом при ремонте таких изделий на предприятиях является общий предварительный подогрев изделия до температуры 380...400 °С, что дает выход годных изделий после заварки на уровне 85...95 %. Применение такого приема в ряде случаев невозможно (механически обработанное изделие в размер с малым полем допуска) и экономически невыгодно (дополнительные энергозатраты, снижение производительности). При использовании широких технологических возможностей сварки трехфазной дугой был разработан ряд эффективных технологий по устранению дефектов магниевого литья, позволяющих ремонтировать изделия без применения общего подогрева с сохранением высокого уровня выхода годных изделий после заварки.

Заварка отверстий на изделии из сплава МЛ10 локальными швами [8]

Сущность этого способа заключается в создании в зоне ремонта тепловой ситуации, обеспечивающей осесимметричность температурного поля, минимальный разогрев дефектного участка и уменьшение темпа деформации кристаллизующегося металла путем наложения микрошвов в противоположных точках разделки с прогревом каждого локального шва на стадии его кристаллизации независимой дугой трехфазной горелки.

Для выполнения процесса устранения обнаруженного дефекта ремонтируемое изделие подготавливают к заварке. Для этого дефектный участок очерчивают специальным маркером и на участке разделки с помощью фрезы из углеродистой стали – «шарошки» – и пневматической дрели зачищают поверхность от окисной пленки и защитной пленки из солей хромовой кислоты (если таковая уже имеется на поверхности изделия). Зачищенный участок должен превышать дефектный участок по площади не менее чем на 20 %. Затем с помощью этого же инструмента высверливают дефектный металл на всю толщину стенки изделия, т. е. образуют сквозное отверстие.

Размеры этого отверстия должны превышать размеры самого дефекта, а форма отверстия должна соответствовать конфигурации дефекта. После этого шарошкой выполняют разделку кромок отверстия, обеспечивая угол разделки $40...60^\circ$ для обеспечения свободного доступа горелки к корню шва. С обратной стороны подготовленной разделки устанавливают технологическую подкладку в виде стальной или медной пластины толщиной $3...5$ мм таким образом, чтобы зазор между подкладкой и поверхностью изделия не превышал $0,5...1$ мм. Размеры технологической подкладки должны превышать величину разделки так, чтобы расстояние от кромок разделки до края пластины было не менее $15...20$ мм. Технологическую подкладку закрепляют специальными прижимами либо асбестовыми листами.

Для заварки дефектного участка требуется подготовить и присадочный материал. Обычно используются специально приготовленные прутки идентичного состава с основным материалом или с небольшими – $0,5...0,7$ % добавками церия в качестве элемента модификатора. Прутки изготавливаются литьем в специальные формы диаметром $5...10$ мм и длиной до 1000 мм. Иногда в качестве присадочного материала используют «лапшу», изготовленную из основного материала методом разливки расплавленного металла на плиту с канавками. Перед подачей в сварочную ванну присадочный материал зачищают механическим путем.

Непосредственно заварка дефектного участка осуществляется двухэлектродной горелкой РГТ-6 от источника питания трехфазной дуги УДГТ-315У2.

Предварительно устанавливаются параметры режима сварки. При толщине стенки ремонтируемого изделия $5...8$ мм и диаметре вольфрамовых электродов 4 мм устанавливают значение тока в электродах, равное 100 А, ток в изделии – 170 А, расход аргона – 10 л/мин, расход охлаждающей жидкости – 4 л/мин. Процесс заварки разделанного участка выполняют в следующей последовательности:

- 1) установить заданные параметры режима сварки;
- 2) включить источник питания с предварительной продувкой горелки аргоном;
- 3) зажечь осциллятором или угольным стержнем межэлектродную дугу;

- 4) поместить межэлектродную дугу в центр разделки и нагревать технологическую подкладку в течение 3–4 минут;
- 5) поднести сварочную горелку к какому-либо краю разделки;
- 6) включить цепь средней фазы источника питания нажатием педали ножного пульта управления;
- 7) расплавить кромку дефектного участка с образованием сварочной ванны диаметром 10...12 мм;
- 8) подать в сварочную ванну присадочный материал в количестве, сопоставимом с объемом сварочной ванны;
- 9) выключить ножным пультом управления цепь средней фазы источника питания, не убирая сварочную горелку из зоны ремонта;
- 10) прогреть независимой дугой двухэлектродной горелки кристаллизующийся объем локального шва в течение 1...1,5 минуты;
- 11) перенести сварочную горелку с горячей межэлектродной дугой в противоположный край разделанного дефектного участка;
- 12) повторить операции с 6 по 10 до окончательного заполнения разделки;
- 13) наложить последний шов в виде усиления с подачей присадки;
- 14) прогреть место окончания заварки независимой дугой в течение 2..3 минут;
- 15) отвести горелку от места заварки и выключить дугу.

Разработанная технология в ряде случаев дает положительный эффект, т. е. хорошее сплавление кромок в корне шва и отсутствие горячих трещин (рис. 3.37), особенно когда изделие не обладает высокой жесткостью, наличием остаточных напряжений в отливке и, что самое важное, если обеспечивается гарантированное сплавление кромок при наложении замыкающего отверстие локального валика. Трудность ситуации заключается в том, что для достижения хорошего сплавления кромок при наложении замыкающего валика требуется значительно увеличить объем сварочной ванны, а это приводит к перегреву дефектного участка, и, несмотря на воздействие на него независимой дуги, наблюдается высокая скорость охлаждения кристаллизующегося металла, и как следствие – появление горячих трещин.

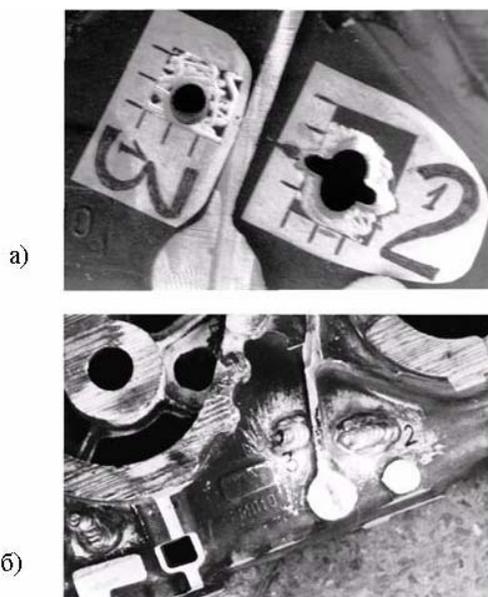


Рис. 3.37. Заварка дефекта изделия из магниевого сплава трехфазной дугой: *а* – внешний вид разделки; *б* – вид заваренного участка

Ремонт тонкостенных деталей на технологической подкладке с выемкой [8]

Реализовать тепловую ситуацию в зоне ремонта, близкую к режиму общего подогрева изделия, и повысить уровень выхода годных изделий при заварке дефектов магниевого литья до 95 % позволила разработанная технология устранения дефектов трехфазной дугой на технологической подкладке с глубокой выемкой методом сквозного проплавления дефектного участка.

Наряду с созданием благоприятной тепловой ситуации, с точки зрения снижения скорости охлаждения металла, а соответственно, и темпа его деформации в процессе кристаллизации сварочной ванны, разработанный способ позволяет гарантировать сплавление кромок в корне шва, что устраняет основной недостаток ранее рассмотренного способа.

Ниже приведен типовой технологический процесс заварки дефектов магниевого литья трехфазной дугой на подкладке с выемкой.

Ремонтируется изделие «кронштейн» из сплава МЛ10. Дефект – сквозные литейные поры. Площадь дефектного участка – 250 мм². Толщина стенки отливки – 8 мм.

1. Зачистить шарошкой внешнюю поверхность дефектного участка от литейной корки и окисной пленки. Обратную сторону не зачищать.

2. Установить со стороны корня шва с помощью прижимов стальную технологическую подкладку с глубокой выемкой. Глубина выемки не менее 8 мм, диаметр – 30 мм. Зазор между подкладкой и поверхностью металла не более 1...2 мм.

3. Установить параметры режима подогрева технологической подкладки независимой дугой трехфазной горелки. Ток в электродах – 200 А, расход аргона – 5 л/мин, охлаждающей жидкости через горелку – 4 л/мин.

4. Включить источник питания трехфазной дуги и зажечь независимую дугу с помощью осциллятора или угольного стержня.

5. Прогреть технологическую подкладку независимой дугой в течение 5...8 мин (при этом достигается температура подкладки 350...380 °С).

6. Установить режимы сварки, не выключая межэлектродную дугу, с помощью перемещения обмоток сварочного трансформатора на следующие параметры: ток в электродах – 140 А, ток в изделии – 230 А, расход аргона оставить прежний.

7. Поднести горелку к зачищенной поверхности дефектного участка и включить с помощью ножного пульта управления цепь средней фазы источника питания.

8. Расплавить дефектный участок до полного вытекания металла в выемку технологической подкладки. Следить за тем, чтобы металл дефектного участка оплавился по всему периметру выемки технологической подкладки.

9. Заварить образовавшуюся полость, интенсивно подавая присадочный материал в виде прутков.

10. Наварить усиление по всей площади дефектного участка толщиной 2...3 мм и заварить кратер.

11. Отключить среднюю фазу источника питания ножным пультом управления, не убирая сварочную горелку из зоны ремонта.

12. Прогреть сварное соединение независимой дугой в течение 3...5 минут.

13. Выключить сварочную дугу и не ранее чем через 3...4 минуты снять технологическую подкладку.

14. Удалить механическим путем сформировавшийся проплав со стороны корня шва и зачистить усиление.

Предложенный технологический процесс весьма эффективен с точки зрения повышения технологической прочности сварных соединений, так как трещин в зоне сварки практически не наблюдается (рис. 3.38). Однако применение такого способа ограничено толщиной ремонтируемого участка и возможностью доступа к обратной стороне дефектного участка. Кроме того, затрудняется использование его в местах залегания дефектов вблизи ребер жесткости, в углах и переходах от тонкого к толстому металлу.

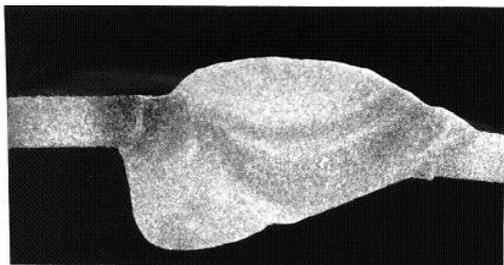


Рис. 3.38. Дефектный участок, заваренный методом сквозного проплавления

3.8. Газовая сварка и наплавка стальных деталей. Заварка трещин

Для газопламенной обработки металлов применяют различные горючие газы и жидкости. При их сжигании в смеси с воздухом температура пламени обычно не превышает 1800...2000 °С. При газовой сварке большинства металлов требуется, чтобы температура газосварочного пламени была не ниже 3000 °С. Для повышения температуры пламени горючих газов их сжигание производится в смеси с технически чистым кислородом.

В качестве горючих газов в основном используют ацетилен (C_2H_2) и пропан (C_3H_8). От того, какой горючий газ и в какой пропорции он будет смешан с кислородом, зависят характер пламени, его температура и свойства. Различают три вида пламени.

1. *Нормальное пламя* – не вызывает окисления или насыщения углеродом металла и способствует раскислению металла. Пламя состоит из ядра 1, восстановительной или рабочей зоны 2 и факела 3 (рис. 3.39). Ядро пламени

– ярко светящаяся часть, состоящая из смеси кислорода с ацетиленом, начинающим гореть. Плавнение металла ядром пламени недопустимо, потому что в составе ядра имеются кислород и свободный углерод, которые будут переходить в металл, окисляя его и насыщая углеродом.

Восстановительная или рабочая зона представляет собой прозрачный ободок вокруг ядра и состоит из смеси продуктов частичного сгорания газа. Продукты частичного сгорания газа являются восстановителями по отношению к окислам большинства металлов. В связи с этим зона, называемая восстановительной, является и рабочей зоной. Она же обладает наивысшей температурой из всех участков пламени, и ею производят плавление металла. В факеле пламени происходит полное догорание горючего газа за счет кислорода, поступающего из воздуха. Нагревать металл при сварке факелом пламени недопустимо в связи с окислением металла, а также из-за низкой температуры факела пламени.

2. *Окислительное пламя* – получается при избытке кислорода в смеси. Оно вызывает окисление металла. Окислительное пламя отличается укороченным ядром синеватого цвета, имеющим остроконечную форму, укороченным факелом, рабочая зона почти не заметна.

3. *Науглероживающее пламя* – получается при избытке ацетилена в газовой смеси. При плавлении стали таким пламенем углерод

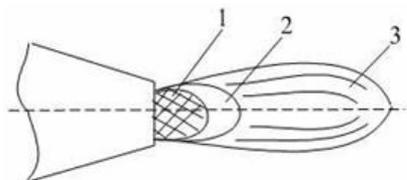


Рис. 3.39. Схема газового пламени:
1 – ядро пламени; 2 – рабочая зона;
3 – факел

из продуктов пламени переходит в металл. Науглероженный металл обладает повышенной твердостью и хрупкостью. Пламя отличается увеличенными размерами факела и ядра. Рабочая зона размыта и практически незаметна. В технике газопламенной обработки металлов обычно применяется нормальное пламя, но иногда рекомендуется слегка науглероживающее или слегка окислительное пламя.

Газовая сварка малоуглеродистой стали

Технология газовой сварки малоуглеродистой стали включает следующие операции.

1. Подготовка кромок металла под сварку:

- кромки под сварку подготавливаются в зависимости от толщины свариваемого металла, вида соединения и метода сварки. Перед сваркой кромки должны быть очищены от всех загрязнений на ширину 4...5 мм от оси шва. Стыковые соединения металла толщиной менее 2 мм сваривают без разделки кромок или с отбортовкой кромок. При толщине металла 2...5 мм делают скос одной из кромок; при толщине металла 5...15 мм делают разделку кромок V-образной формы; при толщине металла более 15 мм ведут двустороннюю сварку с X-образной разделкой кромок.

2. Подбор сварочной (присадочной) проволоки:

- диаметр проволоки для газовой сварки подбирается в зависимости от толщины свариваемого металла и способа сварки по следующим формулам:

1) для левого способа сварки $d = \delta/2 + 1$ мм;

2) для правого способа сварки $d = \delta/2$, где δ – толщина свариваемого материала в миллиметрах.

Сварочная проволока выбирается в зависимости от марки свариваемого металла. Для сварки стали марок Ст0...Ст15 выбирается проволока марки Св-08 или Св-15. Для сварки стали марок Ст15...Ст25 применяется проволока Св-08А или Св-08ГА.

3. Подбор мощности горелки (наконечника):

- мощность наконечника горелки подбирается в зависимости от толщины свариваемых кромок и метода сварки. В общем случае расход горючего газа определяется по формуле

$$A = K \times \delta,$$

где K – удельный расход газа на 1 мм толщины металла (справочные данные); δ – толщина металла в миллиметрах.

4. Управление горелкой:

- перед зажиганием горелки при помощи редуктора устанавливается необходимое рабочее давление кислорода. Сначала немного открывается кислородный вентиль на горелке, затем ацетиленовый и конец мундштука горелки подносится к пламени. После воспламенения смеси регулируют пламя до получения пламени нормального характера, руководствуясь его внешним видом. В процессе выполнения шва горелкой производят равномерное и непрерывное поступательное и колебательное движения, при этом факел пламени всегда должен оставаться параллельным оси шва.

Применяются два различных способа ручной газовой сварки: распространенный «левый» способ и менее распространенный – «правый» способ.

При «левом» способе сварка ведется справа налево (рис. 3.40). Впереди подается пруток присадочного металла, за ним следует горелка, пламя направлено под углом к поверхности металла в сторону еще не заваренного шва.

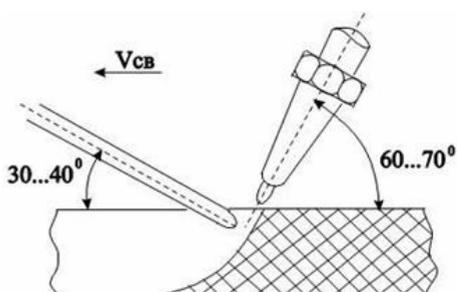


Рис. 3.40. Левый способ сварки

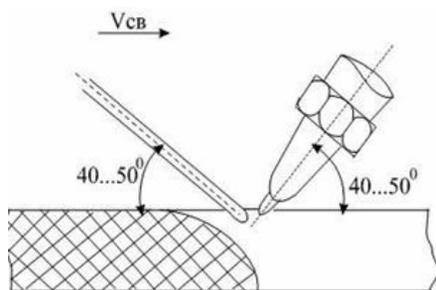


Рис. 3.41. Правый способ сварки

При «правом» способе сварка ведется слева направо (рис. 3.41). Впереди передвигают горелку, за ней подают пруток присадочного металла. Пламя направлено назад на уже заваренный шов. «Правый» способ целесообразен в том случае, когда толщина свариваемого металла более 5 мм.

5. *Подача сварочной проволоки* — осуществляется под углом около 45°. При сварке металла толщиной свыше 1,5 мм конец сварочного прутка остается погруженным в сварочный металл во избежание окисления. При сварке металла толщиной более 5 мм сварочной проволокой производят колебательные движения в сторону, противоположную движению горелки.

Перед сваркой производится прихватка свариваемых кромок, которую выполняют от середины шва к краям. После сварки изделия из малоуглеродистой стали последующей термообработке не подвергаются, так как ее влияние на качество малоуглеродистой стали невелико.

Газовая сварка среднеуглеродистой и высокоуглеродистой стали

Основные затруднения при сварке

1. Происходит кипение сварочной ванны.
2. Металл закаливается в зоне шва, и образуются трещины в шве и околошовной зоне (ОШЗ).

Особенности сварки

1. Мощность горелки для сварки подбирается несколько меньшая, чем при сварке малоуглеродистой стали.
2. Рекомендуется применять флюс, особенно для сварки высокоуглеродистой стали (50 % NaCO_3 , 50 % Na_2CO_3).
3. Перед сваркой заготовки рекомендуется отжигать.
4. Сварку следует выполнять с общим предварительным подогревом изделия, не допускаются перегрев и кипение сварочной ванны.
5. После сварки необходимо обеспечить наиболее замедленное охлаждение сварного соединения (укрывание песком, асбестом).
6. Во всех случаях сварки средне- и высокоуглеродистой стали рекомендуется последующая термическая обработка в виде отжига, нормализации или закалки с высоким отпускком.

Сварка легированной стали

Основные затруднения

1. Металл закаливается, и образуются трещины в шве и ОШЗ тем больше, чем больше в составе стали углерода и легирующих добавок.
2. Происходит выгорание из расплавленного металла легирующих элементов.

Особенности сварки

1. Необходимо постепенно нагревать металл в месте начала шва.
2. Накладывать швы следует с максимально возможной скоростью, не допуская перегрева металла.
3. В месте окончания шва осуществлять медленный, постепенный отвод пламени, образуя усиление в конце шва, а также обогреть увеличенную площадь металла.
4. Не допускать сварку металла при низких температурах. Обеспечивать медленное охлаждение сварного соединения.
5. Перед сваркой заготовки должны быть в отожженном состоянии.

Сварка высоколегированной и инструментальной стали

Основные затруднения при сварке

1. Образуются трещины в сварных швах вследствие сильной закаливваемости металла на воздухе.
2. Получаются швы с большой химической неоднородностью.

Особенности сварки

1. Заготовки перед сваркой должны быть в отожженном состоянии и тщательно очищены.
2. Заготовки перед сваркой должны подогреваться до температуры 250...300 °С.
3. При сварке должен обязательно применяться флюс.
4. Пламя должно быть с небольшим избытком ацетилена.
5. После сварки изделия в горячем состоянии необходимо помещать в печь для отжига.

Кроме различных сталей пламенем газовой горелки можно сваривать чугун, медь, латунь, бронзу. Широкое распространение газовое пламя нашло при ремонтной сварке чугуна, для наплавки,

а также для пайки различных металлов. Газовое пламя может обеспечивать процесс разъединения металлов или газокислородную резку.

Заварка трещин

При заварке трещин необходимо предварительно на их концах просверлить отверстия сверлом диаметром 5...8 мм (рис. 3.42), для того чтобы при нагреве трещина не распространялась дальше (в деталях из малоуглеродистой стали концы

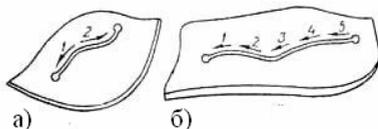


Рис. 3.42. Схема заварки коротких (а) и длинных (б) трещин

трещин можно не сверлить). Конец трещины легко обнаруживается при снятии зубилом тонкой стружки. Если стружка не раздваивается, то это указывает на то, что трещины в данном месте нет.

При толщине металла более 5...6 мм трещину разделяют в зависимости от толщины с одной или двух сторон. Трещина заваривается от середины к краям. Если трещина имеет длину более 500 мм, то сварку целесообразно вести обратноступенчатым способом участками длиной 150...200 мм (рис. 3.42, б). Кромки трещины перед сваркой должны быть зачищены до металлического блеска.

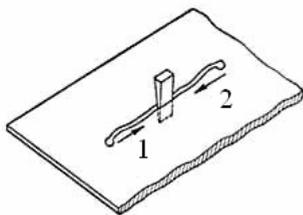


Рис. 3.43. Схема заварки трещины с расклиниванием

Приемы заварки трещины зависят от конфигурации детали и ее характера. Трещины длиной до 200 мм можно сваривать без прихваток. При длинных трещинах требуется простановка прихваток, чтобы при сварке не уменьшался зазор между кромками разделанной трещины. Иногда прихватки заменяют расклиниванием. Для этого в трещину посередине загоняют клин (рис. 3.43), вследствие чего она раздается. Трещину заваривают от каждого конца к клину. После этого клин выбивают и заваривают оставшийся участок. Если трещина выходит на край кромки детали, то сварку начинают от точки 1 и ведут к точке 2 (рис. 3.44). Затем заваривают оставшийся участок

2–3 от точки 3 к точке 2. Расстояние между точками 2 и 3 должно быть равно примерно $1/3$ общей длины трещины. Небольшие трещины на тонком металле, например на крыле автомобиля, могут завариваться в одном направлении. При заварке крыла автомобиля после наложения небольшого участка шва производится проковка его с целью сохранения профиля крыла.

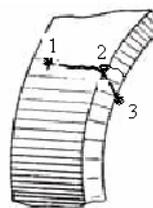


Рис. 3.44. Схема заварки трещины на крыле автомобиля

При заварке трещин на изделиях с малой толщиной листа (0,8...1,2 мм) колебательных движений горелкой и проволокой не делают.

Вварка заплата

При постановке заплата необходимо, чтобы материал заплата соответствовал основному металлу по толщине и марке стали; углы отверстия и заплата должны быть закруглены, так как при вварке заплата с острыми углами возникают трещины, начинающиеся от углов.

В основном металле и в заплата делают требуемый скос кромок. Размер заплата берется таким, чтобы получить соответствующий зазор.

Кромки очищаются от ржавчины и грязи. После пригонки заплата закрепляется прихватками через каждые 200...250 мм. Сварка производится в порядке, указанном на рис. 3.45. Заплате придают выпуклую форму. Во время сварки такая заплата будет свободно деформироваться. После сварки нагретую заплату ударами молотка выправляют. Это предупреждает образование трещин от усадки при остывании металла шва.

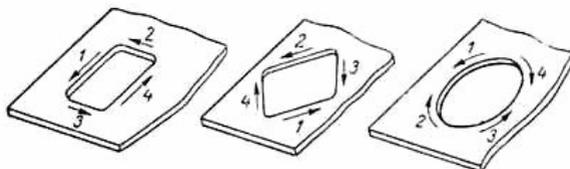


Рис. 3.45. Схема вварки заплата

3.9. Вибродуговая наплавка

Этот способ обычно используется для наплавки деталей типа тел вращения диаметром 8...10 мм и более. Сущность метода заключается в том, что основной и электродный металл нагревается до расплавления теплотой, которая выделяется в результате возникновения периодически повторяющихся электрических разрядов, т. е. прерывисто горящей электрической дуги. Наплавленный слой образуется в процессе кристаллизации расплавленных основного и электродного металлов. Малая длительность и прерывистость горения электрической дуги обусловлены вибрациями электродной проволоки, которые создаются с помощью электромагнитных или механических вибраторов.

Вибродуговая наплавка – разновидность механизированной дуговой наплавки плавящимся металлическим электродом. Процесс наплавки осуществляется при вибрации электрода с подачей охлаждающей жидкости на наплавленную поверхность (рис. 3.46).

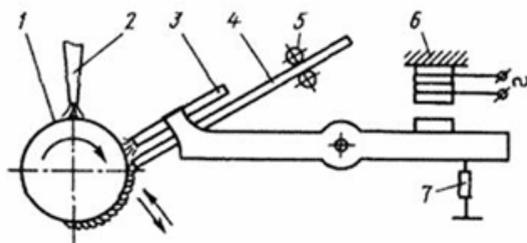


Рис. 3.46. Схема вибродуговой наплавки: 1 – наплавляемое изделие; 2 – сопло для подачи охлаждающей изделие жидкости; 3 – сопло для подачи жидкости в зону сварки; 4 – электродная проволока; 5 – подающие ролики; 6 – электромагнитный вибратор; 7 – пружина

Вибродуговая наплавка отличается тремя особенностями:

- 1) в цепь нагрузки источника питания включена индуктивность L ;
- 2) напряжение источника питания недостаточно для поддержания непрерывного дугового разряда;
- 3) электродная проволока совершает колебания относительно детали с частотой 50...100 Гц и амплитудой 1...3 мм с периодическим касанием наплавляемой поверхности.

Весь процесс наплавки состоит из весьма коротких и непрерывно повторяющихся циклов, каждый из которых можно разбить на три части: короткое замыкание цепи, разрыв этой цепи и холостой ход. При коротком замыкании напряжение в сварочной цепи падает до нуля, а ток быстро возрастает. Далее наступает разрыв цепи, при котором возможно кратковременное возникновение микродуги. При частоте тока вибратора 50 Гц продолжительность одного цикла составляет 0,01 секунды. Из этого времени ~ 65 % приходится на холостой ход. Следовательно, КПД – весьма низкий.

Во время короткого замыкания цепи через место контакта проходит ток плотностью до 400 А/мм². Вследствие этого металл в месте контакта нагревается до высокой температуры. Далее торец электродной проволоки отрывается вибратором от наплавляемой детали, оставляя на ней часть металла электрода. Возникающая затем электрическая дуга расплавляет этот металл. В это время расстояние между торцом электродной проволоки и наплавляемой деталью увеличивается, электрическая дуга гаснет и наступает период холодного хода. Частым повторением таких циклов наращивается металл наплавляемого валика.

Введение индуктивности в цепь дуги обеспечивает накопление электрической энергии в индуктивности во время разомкнутого состояния цепи, сдвиг фаз тока и напряжения, поэтому переход тока через нуль происходит при наличии напряжения источника питания и возникновении электродвижущей силы самоиндукции, которая совпадает по направлению с напряжением источника питания. Это обеспечивает повторное возникновение дугового разряда после разрыва сварочной цепи и устойчивое горение дуги.

Вибродуговую наплавку выполняют вибрирующим электродом диаметром 1,5...2 мм. При каждом коротком замыкании часть наплавляемого электрода остается на поверхности. Толщина слоя получается небольшой. Так как в зону наплавки все время подаются охлаждающая жидкость (обычно водный раствор кальцинированной соды) или потоки воздуха, изделие прогревается и деформируется очень мало. Ускоренное охлаждение способствует повышению твердости наплавленного металла. Наиболее часто этот способ применяют при наплавке цилиндрических изделий не-

большого диаметра (рис. 3.47). Выполняют вибродуговую наплавку и под слоем флюса.

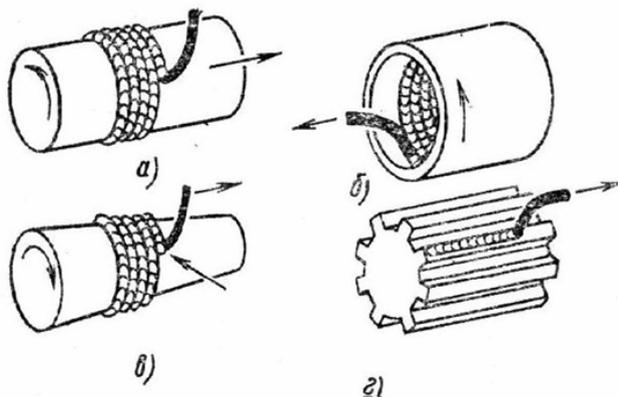


Рис. 3.47. Схемы вибродуговой наплавки изделий различной формы:
а – цилиндрической; б – внутренней поверхности трубы;
в – конической; г – шестерни

Вибродуговая наплавка под слоем флюса имеет ряд преимуществ: дает возможность наплавлять металл только на изношенную часть, что уменьшает трудоемкость последующей механической обработки; позволяет получать наплавленный слой без пор и трещин; деформация детали минимальная и не превышает полей допусков посадочных мест; минимальная зона термического влияния.

Для комбинированной наплавки под слоем флюса вибрирующим электродом можно применять головки ОКС-1252 и ОКС-6569. При использовании электродной проволоки марки Нп-80 и флюса АН-348А твердость наплавленного слоя составляет 36...38 HRC. Для увеличения твердости наплавленного слоя до 52...54 HRC к флюсу АН-348А добавляют по 2 % феррохрома и серебристого графита.

Аппараты для автоматической вибродуговой наплавки (автоматические вибродуговые аппараты) являются основной частью наплавочных вибродуговых установок и служат для подачи к месту наплавки электродной проволоки и вибрации конца проволоки с заданной частотой и амплитудой.

Степень совершенства аппаратов для вибродуговой наплавки в значительной мере определяется конструкцией их колебательной системы, особенно видом привода системы, который может быть электромагнитным, электромоторным или пневматическим. Наиболее распространены вибродуговые аппараты с электромагнитными вибраторами. Они достаточно просты в устройстве, позволяют легко настраивать систему на заданный размах вибрации конца электродной проволоки и обеспечивают синусоидальную форму вибрации с частотой 100 Гц (при включении вибратора в стандартную сеть переменного тока с частотой 50 Гц) (рис. 3.48).

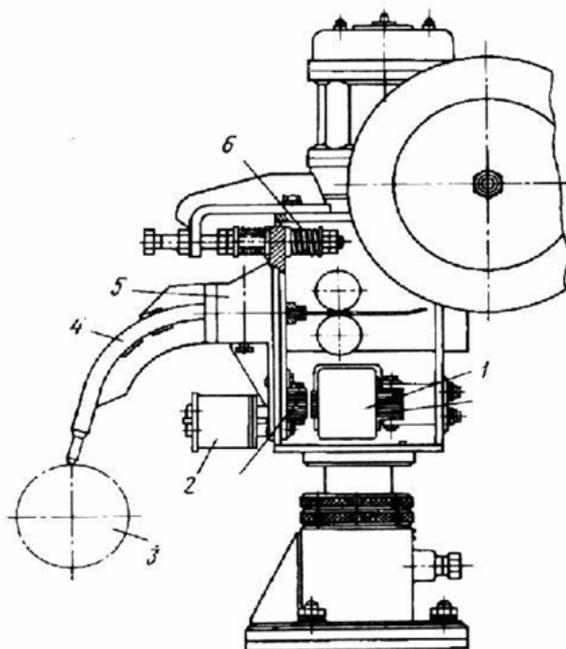


Рис. 3.48. Схема вибродугового аппарата ВДГ-3: 1 – электромагнитный вибратор; 2 – гидравлический амортизатор; 3 – наплавляемая деталь; 4 – хоботок; 5 – вибрирующий кронштейн; 6 – пружины

При необходимости наплавки деталей с различной частотой вибрации используют вибродуговые аппараты, снабженные колебательными системами с электромоторным приводом. В этом случае

вибрация рычага, на котором закреплен хоботок, осуществляется с помощью вращающегося кулачка, поджатого пружиной к вибрирующему рычагу. Эксцентриситет кулачка определяет размах вибрации конца электродной проволоки, а частота вращения кулачка — частоту вибрации. В аппаратах с такими колебательными системами предусмотрены наборы сменных кулачков и сравнительно простые способы изменения частоты их вращения.

Вибродуговые аппараты могут иметь верхний или боковой подвод электродной проволоки. Боковой подвод электрода применяют преимущественно для наплавки цилиндрических деталей. При этом вращение наплавляемой детали устанавливается таким, чтобы сварочная ванна располагалась над электродом. Жидкий металл ванны будет стремиться стечь вниз, растекаясь по ширине ванны, что приведет к образованию маловыпуклых, слегка уширенных валиков. При затекании жидкого металла под дугу уменьшается глубина проплавления основного металла, меньше разбавляется наплавленный слой металлом детали, что имеет важное значение при наплавке тонких слоев, особенно проволокой с повышенным содержанием углерода и легирующих элементов.

Вопросы для самоконтроля

1. Какова техника выполнения наплавки деталей с цилиндрической поверхностью?
2. В чем заключаются недостатки технологии электродуговой наплавки?
3. По каким параметрам выбирают покрытые электроды для ручной дуговой наплавки стальных изделий?
4. Какие преимущества и недостатки характерны для способа механизированной наплавки цилиндрических изделий под слоем флюса?
5. С какой целью подают углекислый газ в зону наплавки в процессе выполнения ремонта изделия?
6. Какие проволоки используются для наплавки стальных и чугунных деталей в среде углекислого газа?
7. Какие функции выполняет порошок, входящий в состав порошковой проволоки для наплавки стальных изделий, в процессе ее плавления?

8. В чем заключается сущность метода индукционной наплавки деталей?
9. Какие преимущества и недостатки характерны для метода индукционной наплавки?
10. Каковы преимущества плазменной наплавки по сравнению с другими способами нанесения слоев на поверхность?
11. В чем заключается сущность способа электроконтактной наварки цилиндрических поверхностей?
12. Какие материалы можно использовать для процесса наплавки трением?
13. Какие затруднения наблюдаются при ремонтной сварке чугуна?
14. Какие группы способов для ремонтной сварки чугунных изделий имеются в арсенале технологов-ремонтников?
15. С какой целью применяют общий предварительный подогрев чугунных деталей перед заваркой дефектов?
16. Какие электроды можно применять для восстановления чугунных деталей при сварке без предварительного подогрева («входную»).
17. В чем заключаются технологические и металлургические трудности при сварке сплавов на основе алюминия и магния?
18. Какие способы ремонтной сварки деталей из алюминиевых сплавов имеются в распоряжении технолога?
19. В чем состоит особенность ремонтной сварки изделий из легких сплавов трехфазной дугой неплавящимися электродами в среде аргона?
20. В чем заключаются проблемы заварки дефектов изделий из магниевых сплавов и как они решаются на ремонтных предприятиях?
21. Какими параметрами отличается газовая сварка от электродуговой ремонтной сварки покрытыми электродами?
22. Каковы технологические особенности ремонтной сварки стальных изделий с помощью газового пламени?
23. Какой технологический прием применяется при заварке трещин на тонколистовых изделиях?

Глава 4. НАПЫЛЕНИЕ И МЕТАЛЛИЗАЦИЯ

4.1. Газопламенное и детонационное напыление

Основателем газотермического метода получения покрытий признан швейцарский изобретатель доктор Макс Ульрих Шооп, который в 1913 году разработал газопламенный проволочный распылитель [19].

Источником тепла при данном способе напыления выступает ацетиленокислородное пламя, температура которого не превышает 3000 °С. В последнее время все шире стали применять заменители ацетилена: пропан, этилен, метан, водород. Газопламенный метод характеризуется относительной простотой применяемого оборудования, требует лишь наличия ацетилена и кислорода. Распыляемый материал, попадая в факел ацетиленокислородного пламени горелок, разогревается до температуры, близкой к температуре плавления, и разгоняется до скорости 20...30 м/с. При соударении с изделием разогретые частицы соединяются с поверхностью и между собой, образуя достаточно плотное и равномерное покрытие.

С помощью газопламенного метода можно проводить напыление полимерных материалов (пластмассы), металлических материалов (алюминий, бронза, баббит, никель и т. д.), а также тугоплавких керамических соединений (окись титана, окись алюминия и др.).

Достоинства газопламенного напыления

1. Напылением можно наносить различные покрытия на изделия из самых разнообразных материалов.

2. Равномерное покрытие можно напылить как на большую площадь, так и на ограниченные участки больших изделий, тогда как нанесение покрытий погружением в расплав, электролитическое осаждение, диффузионное насыщение и другие методы могут быть использованы в основном для деталей, размеры которых не превышают рабочих объемов используемых для этих целей ванн или нагревательных устройств.

3. Напыление является наиболее удобным и высокоэкономичным методом в случаях, когда необходимо нанести покрытие на часть большого изделия.

4. Напыление является наиболее эффективным способом в случаях, когда необходимо увеличить размеры детали на толщину не более 0,5...1 мм (восстановление и ремонт изношенных деталей).

5. Оборудование, на котором производят напыление, сравнительно простое и легкое и его можно достаточно быстро перемещать. Для газопламенного напыления достаточно иметь компрессор, который можно также использовать для предварительной пескоструйной обработки поверхности основы, горелку для напыления и баллоны с газами.

6. Для напыления можно использовать различные металлы и сплавы, а также большое число соединений и их смеси. Можно напылять различные материалы в несколько слоев, что позволяет получать покрытия со специальными характеристиками.

7. Основа, на которую производится напыление, мало деформируется, тогда как при других методах нанесения покрытий необходимо нагревать до высокой температуры всю деталь или большую ее часть, что часто приводит к ее деформации.

8. Напыление можно использовать для изготовления деталей различной формы. В этом случае напыление производят на поверхность оправки, которую после окончания процесса удаляют: остается оболочка из напыленного материала.

9. Технологический процесс напыления обеспечивает высокую производительность нанесения покрытия и характеризуется относительно небольшой трудоемкостью.

Недостатки

1. При нанесении покрытий на небольшие детали процесс напыления является неэкономичным из-за больших потерь напыляемого материала.

2. Для предварительной подготовки поверхности основы перед напылением широко применяют песко- и дробеструйную обработку кварцевым песком, корундом, стальной крошкой и другими материалами, которые загрязняют рабочий участок и ухудшают условия работы операторов, обслуживающих установку.

3. В процессе напыления частицы напыляемого материала могут разлетаться, а также образовывать различные соединения с воздухом, что вредно для здоровья работающих.

Газопламенное напыление в зависимости от состояния напыляемого материала может быть трех типов: проволочное, прутковое и порошковое. Кроме того, к газопламенному методу относится детонационное напыление, основанное на использовании энергии детонации смеси «кислород – горючий газ».

Проволочное и прутковое напыление

В обоих случаях напыляемый материал в виде проволоки или прутка подается через центральное отверстие горелки и расплавляется в пламени. Струя сжатого воздуха распыляет расплавленный материал на мелкие частицы, которые осаждаются на обрабатываемой поверхности. Подача проволоки производится с постоянной скоростью роликами, приводимыми в движение встроенной в горелку воздушной турбиной, работающей на сжатом воздухе, используемом для напыления, или электродвигателем через редукционный механизм. При этом необходима точная регулировка скорости вращения турбины или электродвигателя.

При использовании воздушной турбины трудно производить точную регулировку скорости подачи проволоки, однако в этом случае горелка более компактна и имеет меньшие габариты. Поэтому воздушные турбины используют в горелках, которые предназначены для ручного напыления. Горелки с электрическим двигателем позволяют более точно регулировать подачу проволоки и поддерживать ее постоянную скорость. Однако такие горелки имеют значительную массу, поэтому их устанавливают в механизированных установках для напыления. Диаметр напыляемой проволоки обычно не превышает 3 мм. При напылении металлов с низкими температурами плавления (алюминий, цинк и т. д.) горелками с повышенной производительностью диаметр проволоки может составлять 5...7 мм.

Для распыления металлических проволок диаметром от 1,5 до 4,0 мм и гибких шнуровых материалов диаметром от 3,0 до 5,0 мм применяется многофункциональная установка газопламенного напыления «Техникорд ТОП-ЖЕТ/2» (рис. 4.1). С ее помощью можно наносить покрытия для защиты поверхности деталей от различных видов изнашивания, кавитации, коррозионного воздействия различных сред, а также ремонта изношенных деталей с одновременным улучшением эксплуатационных свойств поверхности.

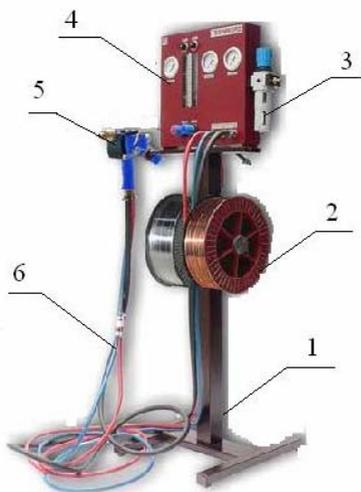


Рис. 4.1. Установка газопламенного напыления «Техникорд ТОП-ЖЕТ/2»:
1 – стойка; 2 – катушка с проволокой; 3 – блок подготовки воздуха;
4 – пульт управления газами; 5 – горелка «ТОП-ЖЕТ/2»; 6 – шланги

Установка включает пистолет-распылитель «ТОП-ЖЕТ/2», пульт управления рабочими газами, смонтированный на стойке. На стойке предусмотрены крепления для установки двух стандартных катушек с проволокой или шнуровым материалом. Пистолет-распылитель соединяется с пультом управления рабочими газами резиноканевыми рукавами с быстросъемными разъемами для кислорода, горючего газа и сжатого воздуха. Кислород и горючий газ подаются по рукавам на пульт управления от стандартных газовых баллонов, оснащенных редукторами. Сжатый воздух, подаваемый от компрессора, предварительно очищается от следов масла и влаги, после чего поступает по рукаву на вход блока подготовки воздуха и через пульт управления рабочими газами подается в горелку.

Напыление порошкового материала

Напыляемый порошок поступает в горелку сверху из бункера через отверстие, разгоняется потоком транспортирующего газа (смесь «кислород – горючий газ») и на выходе из сопла попадает в пламя, где происходит его нагревание. Увлекаемые струей горячего газа частицы порошка попадают на напыляемую поверхность. В порошковых горелках, как и в проволочных, подача напыляемого

материала в пламя и разгон образующихся расплавленных частиц может производиться при помощи струи сжатого воздуха.

В большинстве случаев в качестве горючего газа используют ацетилен. Можно также применять пропан, водород. Для напыления пластмасс чаще применяют пропан.

К агрегатам, в которых напыляемый материал подают в виде порошка, относят газопламенную горелку типа Rototec-80 швейцарской фирмы Castolin-Eutectic (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Газопламенная горелка Rototec-80

Напыляемый материал с размером частиц до 100 мкм засыпают в специальную ёмкость конусообразной формы. Конструктивно газопламенная горелка выполнена таким образом, что при её работе ёмкость с порошком находится в верхней части от газового канала. Поэтому, кроме инжекции, значительную роль в равномерной подаче порошка в область нагрева играет сила гравитации. Горелка выполнена в переносном варианте. Габариты кейса 500×300×80 мм. При распылении порошковых материалов с различными теплофизическими свойствами у горелок предусмотрено регулирование рабочей смеси газов, что позволяет получать качественные покрытия как из тугоплавких (Al_2O_3 и TiO_2), так и легкоплавких (бронза, баббит) материалов.

С помощью этой горелки можно осуществлять восстановление геометрических размеров посадочных мест крупногабаритных валов под подшипники качения и скольжения, коренных и шатунных шеек коленчатых валов ДВС, дизельных машин и компрессорных установок.

Технология газопламенного напыления

Технология проволочного газопламенного напыления, которую наиболее широко используют в промышленности, должна отвечать следующим требованиям.

Сжатый воздух, используемый для распыления расплавленной проволоки, должен быть сухим и не содержать масла. Давление сжатого воздуха должно быть не менее 0,4 МПа (4 физических атмосферы).

Перед напылением необходимо тщательно осмотреть поверхность. Если в результате осмотра установлено, что на ней имеются следы влаги, окисная пленка, окалина и другие загрязнения, необходима вторичная обдувка абразивными материалами. Первый слой покрытия напыляют в течение 4 часов после обдувки. Окончательное напыление покрытия до требуемой толщины должно быть проведено не более чем через 8 часов после предварительной обработки.

Зажигать горелку и выводить ее на рабочий режим необходимо вдали от напыляемой поверхности. Расстояние от горелки до поверхности детали обычно составляет 75...250 мм. Выбор величины этого расстояния зависит от напыляемого материала и диаметра проволоки, а также от свойств напыляемого покрытия. При очень малом расстоянии может возникнуть опасность коробления основы под действием термических напряжений. Когда же расстояние слишком большое, температура летящих частиц снижается, что приводит к образованию рыхлого покрытия и уменьшению прочности сцепления с основой, что может вызвать отделение покрытия от основы.

При порошковом напылении керамики расстояние от среза сопла горелки до основы составляет 150...200 мм, а в случае напыления пруткового материала это расстояние около 75 мм.

Наибольшая деформация напыляемых частиц при соударении с поверхностью основы происходит, если горелка установлена от-

носителем нее под углом 90°. Когда невозможно обеспечить этот угол, покрытие получается с несколько худшими характеристиками. Допустимый угол наклона горелки, при котором можно наносить покрытие, составляет не менее 45°.

При напылении режим работы горелки, скорость перемещения и расстояние напыления должны поддерживаться постоянными. Обычно скорость перемещения горелки или основы при напылении на плоские поверхности составляет от 10 до 25 м/мин, а шаг перемещения горелки – 6...12 мм.

В случае перегрева поверхности основы при напылении происходит снижение прочности сцепления покрытия. Как правило, температура поверхности напыляемой детали не должна превышать 260 °С. Для контроля температуры основы можно воспользоваться, например, термопарами, термокарандашами или термокрасками, которые наносят на деталь в непосредственной близости от места напыления. Для предотвращения перегрева при напылении обрабатываемую основу можно охлаждать воздухом.

При температуре напыляемой поверхности, близкой к 0 °С и ниже, проводить напыление не рекомендуется, так как покрытие может отслоиться. Для того чтобы покрытие не растрескалось, необходимо предварительно нагреть основу до температуры 100...120 °С.

От способа предварительной обработки основы в значительной степени зависит толщина наносимого покрытия. Нарезка резьбы на напыляемой поверхности позволяет наносить более толстые покрытия по сравнению с подготовкой поверхности обдувкой абразивными материалами.

При механическом перемещении напыляемого изделия или горелки процесс напыления принимает более устойчивый характер и покрытие можно получить более однородным. Для напыления на валы часто используют токарные станки. Обычно в этих случаях горелку устанавливают на суппорте. После напыления на этом же станке, не вынимая детали, можно произвести ее обточку или шлифование. При напылении покрытий на большие партии изделий процесс напыления желательно автоматизировать.

Покрытие, полученное после напыления, по своей структуре является в значительной степени пористым. Пористость его мож-

но в некоторых случаях эффективно использовать. Заполнять поры можно путем нанесения на покрытие слоя краски, пропиткой покрытия специальными составами или проплавлением его, если оно получено из самофлюсующихся сплавов. Для улучшения механических свойств и термостойкости покрытия его можно подвергнуть также термической обработке. Однако наиболее широкое применение находят плотные покрытия.

Высокоскоростное газопламенное напыление (HVOF «High Velocity Oxygen Fuel Spraying») [22]

Высокоскоростное газопламенное напыление по праву считается наиболее современной из технологий напыления. В странах Европы и Северной Америки высокоскоростное напыление практически вытеснило гальванику и методы вакуумного напыления во многих отраслях. Твердосплавные покрытия, нанесенные методами высокоскоростного напыления, по всем статьям превосходят гальванические покрытия, процесс создания которых признан чрезвычайно канцерогенным.

В начале 80-х годов прошлого века появились установки высокоскоростного напыления, более простые по конструкции и основанные на классической схеме жидкостного реактивного двигателя, со скоростью газового потока более 2000 м/с.

Плотность покрытий достигает при этом 99 %. В качестве наносимого материала используют порошки карбидов, металлокарбидов, сплавов на основе Ni, Cu и др. Для увеличения скорости частиц увеличивают скорость истечения продуктов сгорания путем повышения давления в камере сгорания до 1,5 МПа, а в конструкцию горелки вводят сопло Лавалья. На рис. 4.3 представлена схема распылителя системы высокоскоростного напыления.

В результате порошкового напыления образуется надежное, долговечное покрытие, обладающее отличными эксплуатационными свойствами. В том числе устойчивостью к коррозии, истиранию, ударам и другим внешним воздействиям. Оно продлевает срок службы изделий на десятки лет. При этом стоимость такого защитного покрытия гораздо ниже, чем аналогичного гальванического.

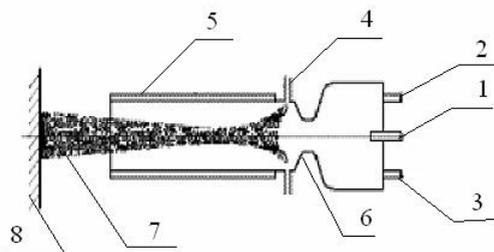


Рис. 4.3. Схема высокоскоростного напыления порошка:
 1 – канал осевой подачи порошка; 2 – подача кислорода;
 3 – подача топлива; 4 – канал радиальной подачи порошка;
 5 – ствол горелки; 6 – сопло Лавала; 7 – струя разогретого порошка;
 8 – напыляемая поверхность

Сверхзвуковое газозвдушеное напыление (СГН)

Для нанесения покрытий из порошков металлов и карбидов используется сверхзвуковая струя продуктов сгорания топливозвдушной смеси. В струе частицы распыляемого материала диаметром 10...45 мкм разгоняются до 800 м/с, нагреваясь при этом ниже температуры плавления. Покрытия отличаются практически беспористой структурой, низким содержанием кислорода и высокой, до 150 МПа, адгезионной прочностью. По производительности СГН в несколько раз превосходит процессы напыления аналогичного качества (HVOF «High Velocity Oxygen Fuel Spraying»), детонационное, плазменное в динамическом вакууме, холодное газодинамическое напыление (ХГН).

Установка для СГН включает пистолет для напыления, панель управления, порошковый питатель и ряд вспомогательных устройств (рис. 4.4). Панель управления с сенсорным экраном обеспечивает дистанционную настройку, регулирование и стабильность параметров процесса (расход газов, порошка, зажигание и выключение горения, безопасность). Вспомогательные устройства – подогреватель газа и испаритель – предназначены для поддержания постоянного давления горючего газа на выходе из баллона.

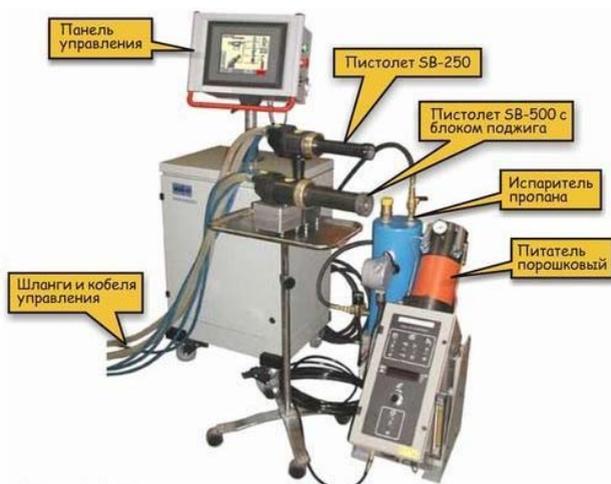


Рис. 4.4. Установка для сверхзвукового газоздушного напыления порошков

Значения скоростей и температур частиц при СГН занимают промежуточное положение между параметрами HVOF и ХГН, причем температура частиц ниже точки плавления сплавов на основе Co, Fe, Ni. Это позволяет избежать повышенного в сравнении с HVOF окисления частиц и избыточного тепловложения в покрытие. Кроме того, такое сочетание скоростей и температур частиц позволяет совместить в СГН высокое качество покрытий и производительность. Покрытия отличаются практически нулевой пористостью, аналогично значениям при плазменном напылении в вакууме, производительность в 10 раз выше, а затраты по нанесению 1 кг покрытия в 8...10 раз ниже, чем при HVOF.

Применение

Широкий набор распыляемых материалов, высокие производительность и характеристики покрытий позволяют эффективно использовать СГН-процесс для нанесения антикоррозионных и износостойких покрытий в различных сферах. Такие покрытия успешно заменяют электролитический хром, устойчивы к высокотемпературной коррозии в агрессивных средах, используются в авиации и энергетике для паровых и газовых турбин, эффективно работают в условиях интенсивного абразивного изнашивания.

Нанесение детонационных покрытий

Метод детонационного нанесения покрытий основан на высокоскоростном ударном взаимодействии нагретых до высоких температур частиц порошка напыленного материала с подложкой (рис. 4.5).

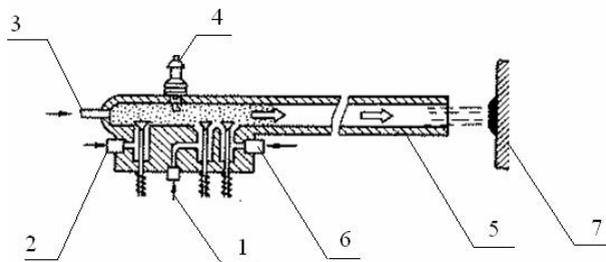


Рис. 4.5. Схема детонационной установки с внутренним смесеобразованием: 1 – клапан подачи ацетилена; 2 – клапан подачи азота; 3 – канал подачи порошка; 4 – свеча зажигания; 5 – ствол пушки; 6 – клапан подачи кислорода; 7 – мишень

Детонационная установка с внутренними смесеобразователями представляет собой водоохлаждаемый ствол длиной 1...1,8 м с внутренним диаметром от 10 до 40 мм. В ствол подается смесь кислорода и ацетилена вместе с порцией порошка. Взрывающаяся газовая смесь воспламеняется при помощи электрического импульса, и детонационная волна перемещается по стволу, ускоряя и нагревая порошок. Частицы порошка ускоряются до скорости 500...1000 м/с и ударяются в деталь, образуя пятно напыленного покрытия. Затем ствол очищается азотом, и процесс повторяется. Процесс напыления осуществляется циклически (4...10 циклов в секунду). Детонационные покрытия обеспечивают повышение эксплуатационных свойств и ресурса работы узлов, машин и механизмов, восстанавливают изношенные детали (до 1 мм на сторону).

Материалы покрытий:

- металлы и их оксиды, карбиды, бориды, нитриды;
- твердые сплавы;
- композитные порошки.

Комплекс детонационного напыления «ГРОМ-3М»

Комплекс «ГРОМ-3М» предназначен для восстановления дорогостоящих и дефицитных деталей машин, механизмов, работающих в условиях интенсивного износа (рис. 4.6).

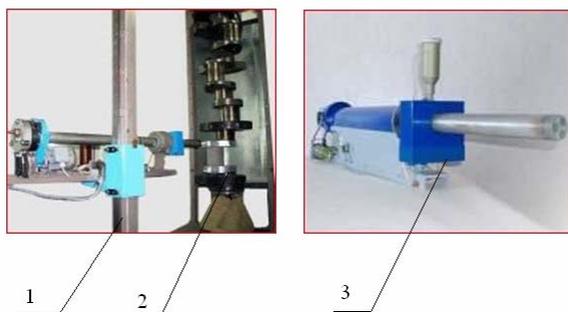


Рис. 4.6. Комплекс детонационного напыления «Гром-3М»:
1 – стойка для установки пушки; 2 – напыляемая деталь (коленвал);
3 – трехствольная пушка с порошковым питателем

В состав оборудования входят:

- пушка детонационная;
- защитная звукоизолированная камера;
- манипулятор для перемещения деталей;
- стойка управления.

Комплекс «ГРОМ-3М» позволяет:

- восстанавливать изношенные поверхности коренных и шатунных шеек коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания, а также любых тел вращения;
- наносить износостойкие покрытия с заданными свойствами;
- существенно повысить эксплуатационный ресурс восстановленных деталей;
- в 2...3 раза снизить затраты при ремонте оборудования за счет отказа от приобретения новых узлов и деталей машин и механизмов.

Технические характеристики

- Габаритные размеры напыляемых деталей:
 - длина, мм 1700
 - диаметр, мм 500

• Масса напыляемых деталей, кг	не более 350
• Вертикальное перемещение пушки, мм	1900
• Скорость перемещения пушки, м/с	5...50
• Скорость вращения напыляемой детали, об./мин	1...75
• Скорострельность пушки, цикл/с	17
• Количество стволов, шт.	3
• Толщина наносимого слоя, мм	0,01...3
• Адгезия, кг/мм ²	10...30
• Твердость наносимых слоев, ед. HRC	до 65
• Рабочие газы:	
«топливо» – пропан-бутан	
«окислитель» – кислород	
«продувка» – воздух	
• Напряжение питания, В	3×380
• Потребляемая электрическая мощность, кВт	не более 1

4.2. Плазменное напыление

Наиболее перспективным методом нанесения защитных покрытий является плазменное напыление, при котором нагрев, плавление, диспергирование и перенос напыляемого материала осуществляются плазменной струей, полученной нагревом потока газа в электрическом дуговом разряде. Сжатие дуги в плазмотроне обеспечивает повышение температуры плазменной струи до 10000...15000 К. Нагрев и расширение газа позволяют получить скорость плазменной струи, приближающуюся к скорости звука, а в некоторых случаях превышающую ее. Высокие температура и скорость струи позволяют напылять покрытия из любых материалов: металлов и сплавов, керамических материалов, таких как оксиды, карбиды, бориды, нитриды, и композиционных материалов. В качестве плазмообразующих газов используют аргон, азот и их смеси с водородом и гелием. Энергетические параметры плазменной струи можно регулировать в широких пределах подбором газов, параметров дугового разряда, расходом газов, геометрией сопел и катодов (рис. 4.7).

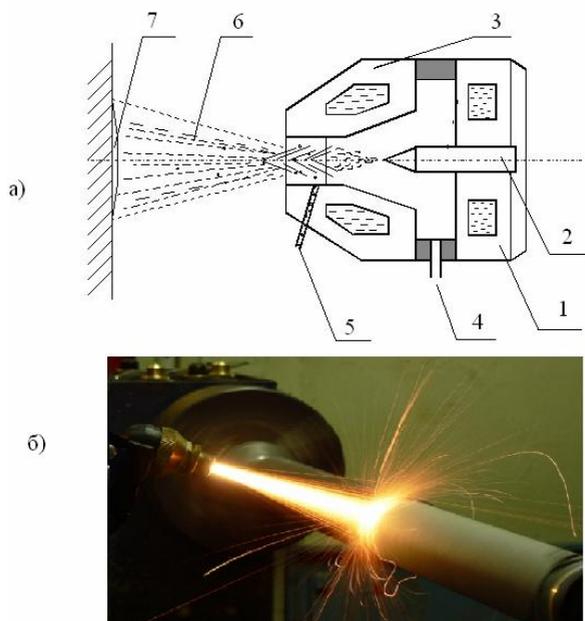


Рис. 4.7. Схема (а) и реальный процесс (б) плазменно-порошкового напыления поверхностей деталей: 1 – корпус плазмотрона; 2 – вольфрамовый электрод; 3 – охлаждаемый анод; 4 – канал подачи газа; 5 – канал подачи порошка; 6 – плазменная струя; 7 – напыляемая поверхность

Физическое взаимодействие напыляемой частицы с основой происходит на атомарном, ионном и молекулярном уровнях. При сближении атомов напыляемого материала и основы на расстояние примерно до 10^{-9} м возникают силы молекулярного взаимодействия Ван дер Ваальса. Если сблизить атомы на расстояние 10^{-10} м, то образуется химическая связь. В условиях плазменного напыления, когда скорость частицы в полете составляет 100...150 м/с, при соударении в течение 10^{-8} ... 10^{-9} секунды возникает импульсное давление до 1500 Па, в результате чего происходит растекание жидкой компоненты частицы и активизация процесса взаимодействия ее с основой. Вследствие этого метод плазменного напыления обеспечивает высокую адгезионную прочность покрытий из тугоплавких керамических материалов.

Высокая температура плазменной струи и возможность менять ее в широком диапазоне подбором диаметра сопла и режимов работы позволяют производить напыление самых различных материалов: от легкоплавких металлов до тугоплавких керамических материалов. При этом поверхность изделия нагревается не выше 100...200 °С, что исключает ее деформацию. Покрытия, полученные плазменным напылением, имеют высокую плотность и хорошее сцепление с поверхностью детали.

По сравнению с аналогами – газопламенным, электродуговым и детонационным напылением, процессами наплавки и осаждения – процесс плазменного напыления имеет следующие преимущества:

- эффективное управление энергетическими характеристиками напыляемых частиц и условиями формирования покрытия за счет гибкости регулирования параметров и режимов работы плазмотрона;
- высокие коэффициент использования порошка (до 85 %), прочность сцепления покрытия с основой (до 60 МПа), низкая пористость;
- высокая производительность процесса;
- универсальность за счет получения покрытий из большинства материалов без ограничения их температур плавления;
- нанесение покрытия на изделия, изготовленные практически из любого материала;
- отсутствие ограничений по размерам напыляемых изделий;
- низкое термическое воздействие на напыляемую основу, что позволяет избежать деформаций, изменений размеров изделий, а также исключить нежелательные структурные превращения основного металла;
- нанесение покрытия на локальные поверхности;
- получение регламентированной однородной пористости покрытия для использования в условиях работы со смазкой поверхностей скольжения;
- нанесение покрытия с минимальными припусками для последующей механической обработки;
- возможность использования для формообразования деталей (плазменное напыление производят на поверхность формы-оправки, которая после окончания процесса удаляется, остается оболочка из напыленного материала);

- надежность и стабильность оборудования, высокий ресурс элементов плазмотрона за счет оптимизации условий охлаждения и обеспечения плавного нарастания и спада тока;
- низкий расход аргона;
- маневренность и возможность автоматизации процесса.

Плазменное напыление достаточно широко применяется для восстановления и упрочнения поверхностей деталей во многих отраслях промышленности. В автомобилестроении с помощью плазменного напыления обрабатывают коленчатые валы, поворотные цапфы, втулки-шестерни коробки передач, оси коромысел, посадочные отверстия картера КПП, кулачки распределительных валов, ступицы маховиков двигателя, валы водяных насосов и вентиляторов, головки цилиндров, поршневые кольца, диски сцепления, выхлопные клапаны, рычаги управления, вилки переключения коробки передач, тормозные барабаны, шаровые пальцы рулевого управления, глушители, крылья и т. п.

Технологический процесс плазменного напыления (рис. 4.8) представляет собой последовательность операций, начиная от подготовки напыляемого материала и заканчивая контролем качества напыленного покрытия по толщине слоя, степени адгезии с основой и плотности покрытия.

В качестве плазмообразующих газов при напылении материалов используют аргон, гелий, азот, водород и их смеси. Плазмообразующие газы не содержат кислорода, поэтому не окисляют материал и напыляемую поверхность. Водород в чистом виде практически не применяется по экономическим соображениям, а также вследствие разрушающего действия на электрод.

Азот и аргон используются чаще, однако наилучшими показателями обладают газовые смеси, например $\text{Ar} + \text{N}$ и $\text{Ar} + \text{H}_2$. Вид плазмообразующего газа выбирают исходя из требуемой температуры, теплосодержания и скорости потока, его степени инертности к распыляемому материалу и восстанавливаемой поверхности. Следует учитывать, что плазма двух- и многоатомных газов по сравнению с одноатомными содержит больше тепла при одинаковой температуре, потому что ее энтальпия определяется тепловым движением атомов, ионизацией и энергией диссоциации.

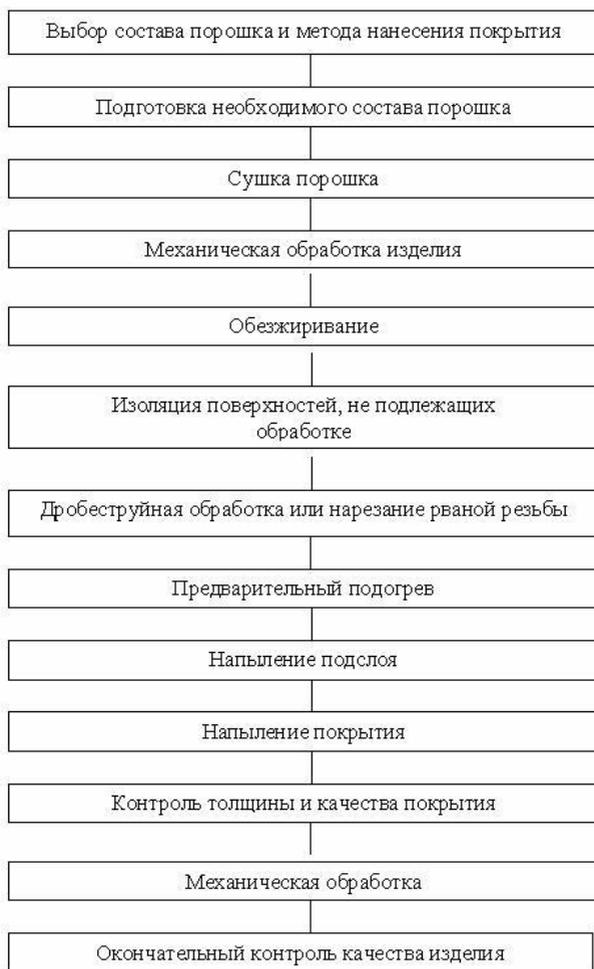


Рис. 4.8. Технологическая схема нанесения покрытия

При напылении порошковых или шнуровых материалов электрическое напряжение прилагают к электродам плазменной горелки. При напылении проволоочных материалов напряжение подводят к электродам горелки, дополнительно оно может быть приложено к напыляемому материалу, т. е. проволока может быть токоведущей или нет. Напыляемую деталь в цепь нагрзуки не включают.

Оборудование для плазменного напыления состоит обычно из одного или двух серийных сварочных источников питания, плазмотрона и порошкового дозатора. В качестве источника питания используются установки плазменной сварки и наплавки типа УПНС-304, плазменной обработки УПУ-3Д, УПО-302, УПВ-301 и сварочные выпрямители ВД-201, ВД-306, ВДУ-506 и др. Плазмотрон (мощностью до 25 кВт) и порошковый дозатор обычно изготавливаются по оригинальным конструкторским разработкам.

Комплекс плазменного напыления УПУ-3Д

Комплекс предназначен для нанесения износостойких, фрикционных, изоляционных и других специальных покрытий на поверхности деталей методом плазменного напыления порошковых материалов. В качестве плазмообразующих газов используются аргон и смесь аргона с водородом.

В комплекс для напыления входят следующие агрегаты:

- установка плазменного напыления УПУ-3Д, включающая шкаф управления и источник питания ИПН 160/600 (рис. 4.9);



Рис. 4.9. Установка для плазменного напыления УПУ-3Д

- плазмотрон ПП-25 (ПП-6-01; ПП-21) (рис. 4.10);
- дозатор порошковых материалов;
- баллоны с газом «Аргон» и «Водород»;

- автономная система охлаждения плазмотрона и источника питания;
- прибор для измерения температуры охлаждающей жидкости;
- стойка для баллонов;
- редукторы, шланги соединительные;
- платформа для размещения и транспортировки агрегатов комплекса.

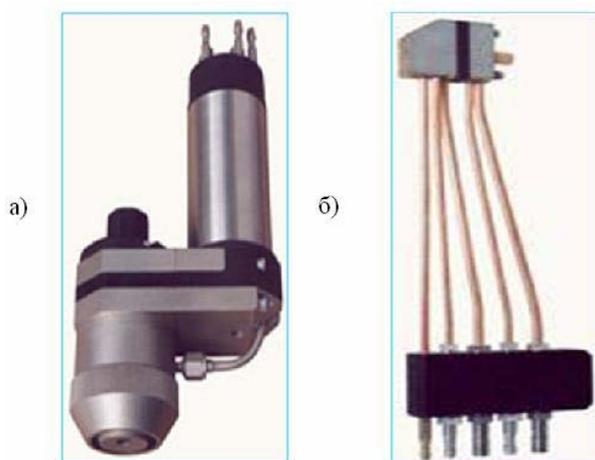


Рис. 4.10. Плазмтроны для плазменно-порошкового напыления:
а – высокопроизводительный плазмтрон ПП-6-01;
б – для напыления в труднодоступных местах ПП-21

Основные технические характеристики

Наименование параметра	Значение
Габаритные размеры комплекса, мм	2500×1500×1700
Масса комплекса, кг	1200
Толщина напыляемых покрытий, мм	0,05...3,00
Прочность сцепления напыленного покрытия с подложкой, МПа	до 100
Фракция напыляемых порошковых материалов, мкм	40...160
Напыляемые материалы	металлы, керамика
Регулирование тока дуги плазмтрона	плавное
Пределы регулирования тока плазмтрона, А	200...400
Пределы регулирования напряжения плазмтрона, В	30...90

Наименование параметра	Значение
Максимально потребляемая мощность комплекса, КВА	30
Напряжение питания комплекса, В	380×3ф
Плазмообразующие газы и смеси	аргон + водород
Расход плазмообразующих газов, м ³ /ч	0,9...1,5
Система охлаждения водой	автономная
Расход воды для охлаждения плазмотрона и источника питания, л/мин	6
Давление воды в системе охлаждения, МПа	0,2...0,3
Производительность напыления, кг/ч	2...4

4.3. Металлизация (электродуговая, газовая)

Одним из эффективных способов защиты металлов от коррозии является электродуговая металлизация распылением. Основными антикоррозионными материалами, наносимыми способом металлизации на стальные конструкции и изделия, являются цинк, алюминий и их сплавы. Кроме того, металлизация применяется для восстановления и упрочнения изношенных поверхностей деталей машин и приборов.

Принцип действия и устройство электродугового металлизатора

Принцип работы металлизатора состоит в расплавлении двух проволочных электродов электрической дугой и распылении расплавленного металла струей сжатого воздуха. Расплавленные частицы, попадая на покрываемую поверхность, сцепляются с ней и образуют сплошное покрытие, при этом толщина слоя регулируется числом проходов металлизатора и скоростью его перемещения относительно металлизированной поверхности (рис. 4.11).

Конструкция электродугового металлизатора предусматривает специальные направляющие, через которые непрерывно осуществляется подача двух распыляемых проволок. Между концами этих проволок возбуждается электрическая дуга. В центральной части металлизатора имеется сопло, через которое подается сжатый воздух. Струя сжатого воздуха отрывает с проволок-электродов частицы расплавленного металла и уносит их к напыляемой поверхности.

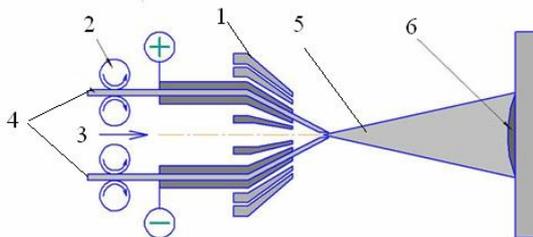


Рис. 4.11. Схема процесса электродуговой металлизации:
 1 – корпус металлизатора; 2 – механизм подачи проволоки; 3 – канал подачи воздуха; 4 – электродные проволоки; 5 – электрическая дуга с распыленными частицами проволоки; 6 – напыленное покрытие

Электродуговой металлизатор может работать как на постоянном, так и на переменном токе. При использовании переменного тока дуга горит неустойчиво и сопровождается большим шумом. При постоянном токе характер работы становится устойчивым, напыленный материал имеет мелкозернистую структуру, производительность процесса при этом достаточно высокая. Поэтому в настоящее время для электродуговой металлизации поверхностей используют источники постоянного тока. Для работы металлизатора обычно применяют проволоку диаметром 0,8...2 мм.

Преимуществом способа электродуговой металлизации является высокая производительность процесса и возможность значительного сокращения затрат времени на напыление. Например, при силе тока до 700 А можно напылять стальное покрытие с производительностью 30...35 кг/ч, что превышает в несколько раз производительность газопламенного напыления. По сравнению с газопламенным напылением металлизация позволяет получать более прочные покрытия с высокой степенью адгезии.

При использовании в качестве электродов проволок из двух различных металлов можно получить покрытие из их сплава. При напылении покрытия распылением двух электродов из разнородных материалов желательно использовать такие электрометаллизаторы, которые бы позволяли производить отдельную регулировку скорости подачи каждого электрода.

Недостатком рассматриваемого метода является перегрев и окисление напыляемого материала при малых скоростях подачи распыляемой проволоки. Кроме того, большое количество теплоты, выделяющейся при горении дуги, приводит к значительному выгоранию легирующих элементов, входящих в напыляемый сплав. Это необходимо иметь в виду при разработке технологии нанесения покрытий и применять для напыления проволоку, содержащую повышенное количество легирующих элементов.

Металлизатор обычно состоит из следующих основных частей: корпуса, привода механизма подачи проволоки, распылительной головки, шлангов защитных для проволоки и пульта управления. Например, электродуговой металлизатор ЭДМ-5У (рис. 4.12) предназначен для нанесения металлических покрытий со сверхзвуковым истечением воздуха на специально подготовленную поверхность. Асинхронный двигатель мощностью 0,25 кВт позволяет работать с проволоками диаметром до 3,5 мм. Авторы этой конструкции (ООО НПФ «ТОМ») разработали специальное сверхзвуковое воздушное сопло (скорость выхода воздуха до 500 м/с), позволяющее как значительно увеличить скорость полета частиц расплавленного металла (повысить адгезию), так и уменьшить угол распыления, что приводит к увеличению коэффициента использования проволоки. Пульт управления металлизатором оснащен частотным преобразователем для плавного регулирования режимов напыления и соединения металлизатора со сварочным источником питания.

Кроме указанного металлизатора разработаны и используются для нанесения коррозионно-стойких покрытий, восстановления и упрочнения поверхностей изделий металлизаторы типа ЭМ-14М, ЭМ-17, ЭМ-19 с различными характеристиками и производительностью.

Источниками питания для работы металлизаторов служат сварочные выпрямители типа ВДУ-504, -505, -506, ВС-600, ПСГ-500, ПСУ-500 и другие с регулируемым напряжением и жесткой вольт-амперной характеристикой. Эти источники тока позволяют производить распыление практически любых металлов в широком диапазоне режимов работы.

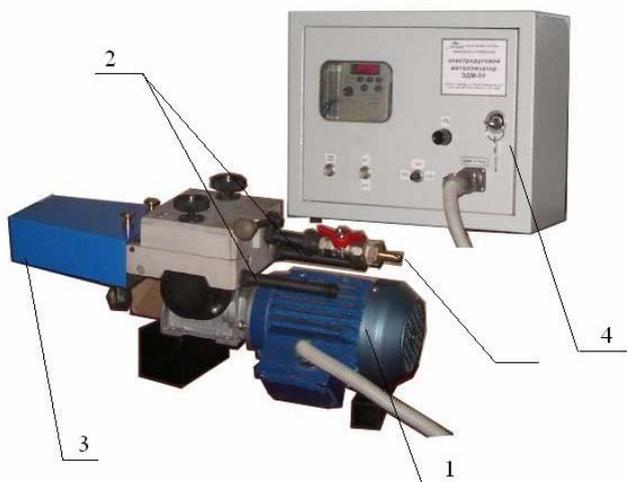


Рис. 4.12. Электродуговой металлизатор ЭДМ-5У:
1 – электродвигатель; 2 – каналы подачи проволоки; 3 – сопло;
4 – блок управления; 5 – канал подачи воздуха

Технология нанесения покрытий

Технология нанесения металлопокрытий складывается из подготовки поверхности, нанесения покрытия и, в случае необходимости, его обработки.

Предварительная обработка поверхности основы является важным фактором для обеспечения прочного сцепления покрытия с деталью, так как в большинстве случаев соединение напыленного покрытия с основой происходит в результате механического сцепления. Следовательно, для того чтобы расплавленные частицы, которые ударяются и деформируются об основу, прочно сцеплялись с неровностями поверхности, основа должна быть достаточно шероховатой.

Помимо механического соединения напыленного покрытия с основой возможны и другие виды соединений, например сплавление напыляемого материала с материалом основы, образование химических соединений и т. д.

Повышение прочности механического зацепления связано с увеличением площади поверхности основы и созданием большей

активности основы, что также важно и для других видов соединений. Поэтому создание развитой шероховатости на поверхности основы является важным требованием. Перед предварительной обработкой поверхности необходимо провести промывку и, насколько возможно, удалить влагу, масло и другие загрязнения, а также окисные пленки.

В деталях из пористых материалов и чугунных отливках в порах может содержаться масло, которое при напылении в результате нагревания выделяется на поверхность, что в значительной степени ухудшает сцепление покрытия с основой. Поэтому такие детали после обычного обезжиривания должны быть подвергнуты отжигу при температуре 250...500 °С, в процессе которого происходит выгорание масла, содержащегося в порах. Окисные пленки удаляют с поверхности в основном механически обдувкой кварцевым песком, корундом или стальной крошкой. Для удаления окисных пленок со стальных деталей иногда используют травление в азотной, соляной и других кислотах.

Обычным средством подготовки поверхности изделий со сложной конфигурацией или тел вращения является дробеструйная обработка стальной или чугунной колотой дробью грануляции 0,8...1,6 мм, или корундовым порошком той же грануляции при давлении воздуха 0,4...0,6 МПа, очищенного от влаги и масла. Для деталей с незакалённой поверхностью может применяться подготовка поверхности нарезанием рваной резьбы: для термообработанных твердых поверхностей после нарезания резьбы необходима струйно-абразивная обработка электрокорундовым порошком. Значения параметров шероховатости поверхности изделия, требования к металлизации, к покрытию и методы контроля должны соответствовать ГОСТ 9.304–84 «Покрытия газотермические. Общие требования и методы контроля». Подготовленную поверхность следует металлизировать не позднее двух часов после окончания подготовки.

Режим работы металлизатора (напряжение, дистанция металлизации) устанавливается оператором в зависимости от применяемого металла подложки и проволоки, её диаметра, давления воздуха, скорости подачи проволоки. При нанесении покрытия необходимо избегать нагрева металлируемой поверхности выше 100...120 °С.

Во избежание перегрева и отслоения покрытия его следует наносить при непрерывном вращении детали и возвратно-поступательном перемещении металлатора вдоль ее оси или перемещать металлатор относительно неподвижной поверхности плоской или сложной конфигурации. Высокое качество покрытий может быть достигнуто только при условии непрерывности подачи проволоки и минимального напряжения дуги, обеспечивающего стабильность её горения. Завышение напряжения ведет к перегреву покрытия и чрезмерному выгоранию легирующих элементов проволоки.

В электродуговом металлаторе угол между электродами (напыляемыми проволоками) обычно составляет 30...60°. При углах, превышающих 60°, процесс напыления становится чувствительным к изменению условий напыления и нестабильным. При работе металлатора на постоянном токе напыляемая проволока, выполняющая функции анода, расплавляется приблизительно на 50 % быстрее, чем катод. Поэтому теоретически анодную проволоку следует подавать быстрее катодной. Однако на практике не возникает необходимости в разных скоростях подачи электродов. Поэтому проволоки подаются обычно с одинаковой скоростью, либо регулирование скорости плавления проволок осуществляют за счет разности диаметров анодной и катодной проволок.

Важным фактором при напылении является правильная регулировка тока, позволяющая уравновесить скорости подачи проволок со скоростью их расплавления и таким образом обеспечить постоянство длины дуги. При напылении расстояние от сопла металлатора до покрываемой поверхности обычно составляет 100...200 мм (рис. 4.13).



Рис. 4.13. Работа металлатора при нанесении покрытия

Обработка покрытий после металлизации

Покрытие, полученное после напыления, по своей структуре является в значительной степени пористым. Пористость его можно в некоторых случаях эффективно использовать. Заполнять поры можно путем нанесения на покрытие слоя краски, пропиткой покрытия специальными составами. Однако наиболее широкое применение находят плотные покрытия.

Преимущества электродуговой металлизации:

- высокая антикоррозионная стойкость металлизационных покрытий;
- отсутствие деформации изделий;
- мобильность металлизационных установок и возможность нанесения защитных покрытий в полевых условиях;
- высокая производительность процесса;
- высокая адгезионная прочность металлизационных покрытий (в сравнении с лакокрасочными или газопламенными покрытиями);
- высокие пластические характеристики металлизационных покрытий.

Основными недостатками металлизации являются большая пористость (до 20 %) и значительные потери металла при распылении.

Механическая обработка покрытий

Когда необходимо получить чистую поверхность с точными размерами и заданной шероховатостью, напыленное с некоторым припуском покрытие подвергают механической обработке. Основные виды механической обработки покрытий – резание и шлифование.

Для обработки покрытий из углеродистых и коррозионно-стойких сталей методом точения или фрезерования можно использовать быстрорежущий и твердосплавный инструмент. Шлифование покрытий можно осуществлять как с подачей охлаждающей жидкости, так и без нее. «Мокрое» шлифование предпочтительнее в случаях, когда не возникает проблем, связанных с проникновением охлаждающей жидкости в поры покрытия. Грубое шлифование (как сухое, так и мокрое) может привести к образованию трещин на шлифуемой поверхности. Поэтому, чтобы получить качественную поверхность, необходимо правильно выбрать шлифовальный круг и режимы шлифо-

вания. Обычно для шлифования нанесенных покрытий используют круги со сравнительно грубой структурой и непрочной связкой.

После окончательного шлифования поверхность покрытия должна иметь матовый блеск и содержать мелкие поры. Слишком блестящая поверхность, на которой отсутствуют поры, указывает на неправильное шлифование.

Уплотнение покрытия, заполнение его пор уплотняющими материалами, когда это необходимо, производят перед шлифованием. Уплотняющие материалы препятствуют проникновению в поры покрытия частиц абразивных материалов, используемых при шлифовании. Если поры покрытия не заполнены уплотняющими материалами, то после шлифования необходимо промыть покрытие и удалить частицы, попавшие в него при шлифовании. Это особенно важно для покрытий, наносимых на поверхность подшипников. Покрытия из мягких материалов (олова, цинка, баббита) можно хонинговать, в результате чего получается гладкая поверхность с незначительной пористостью.

4.4. Вакуумное напыление

Среди методов нанесения защитных покрытий, основанных на воздействии на поверхность детали потоков частиц и квантов с высокой энергией, большое значение имеют вакуумные ионно-плазменные методы. Характерной их чертой является прямое преобразование эклектической энергии в энергию технологического воздействия, основанного на структурно-фазовых превращениях в осажденном на поверхности конденсате или в самом поверхностном слое детали, помещенной в вакуумную камеру.

Основные достоинства данных методов: возможность создания высокого уровня физико-механических свойств материалов в тонких поверхностных слоях, нанесение плотных покрытий из тугоплавких химических соединений, которые невозможно получить традиционными методами.

Кроме того, эти методы обеспечивают:

- высокую адгезию покрытия к подложке;
- равномерность покрытия по толщине на большой площади;

- варьирование состава покрытия в широком диапазоне в пределах одного технологического цикла;
- высокую чистоту поверхности покрытия;
- экологическую чистоту производственного цикла.

Методы вакуумного ионно-плазменного напыления:

- полимеризация в тлеющем разряде;
- ионное осаждение (в триодной распылительной системе, диодной распылительной системе, с использованием разряда в полном катоде);
- электродуговое испарение;
- катодное распыление (на постоянном токе, высокочастотное);
- химическое осаждение в плазме тлеющего разряда.

Современные вакуумные ионно-плазменные методы упрочнения поверхностей деталей машин и нанесения покрытий включают следующие этапы:

- 1) генерацию корпускулярного потока вещества;
- 2) его активизацию, ускорение и фокусировку;
- 3) конденсацию и внедрение в поверхность деталей (подложек).

Генерация корпускулярного потока вещества возможна его испарением (сублимацией) за счет нагрева и распылением.

Нагрев испаряемого вещества может осуществляться:

- за счет выделения Джоулева тепла при прохождении электрического тока через испаряемый материал или через испаритель;
- в результате бомбардировки поверхности металла ускоренным потоком электронов (электронно-лучевой нагрев) или квантами электромагнитного излучения (лазерный нагрев);
- высокочастотным электрическим магнитным полем (индукционный нагрев);
- электрической дугой.

Выбор способа нагрева и конструкция испарения зависят от природы испаряемого материала, его исходной формы (гранулы, порошок, проволока), требуемой скорости испарения, постоянства во времени и т. д.

Наибольшее распространение получил нагрев при помощи электронной бомбардировки, что позволяет достигать температуры 4000 °С и плотности энергии в луче до 5×10^8 Вт/см².

Электронно-лучевой способ нагрева состоит в том, что на образец металла направляют поток электронов от катода, ускоренных электрическим полем до энергии 5...25 кэВ. Поток электронов (электронный луч) получают с помощью электронно-лучевых пушек.

Средняя энергия частиц в потоке, образованном испарением, невысока, поэтому необходимо увеличить энергию частиц, прибывающих на подложку. Простым способом ускорения заряженных частиц является воздействие на них электрическим полем. Однако для создания потоков в основном используются нейтральные частицы, поэтому их активацию можно осуществлять воздействием на атомы потоком электронов, ионов или фотонов.

В результате образования активированного корпускулярного потока в контакт с подложкой детали входят нейтральные частицы (возбужденные и невозбужденные) с высокой энергией и ионы. Процесс взаимодействия такого сложного по составу потока с поверхностью металла сводится к протеканию явлений конденсации, внедрения и распыления.

Ионное распыление

Ионные распылители разделяют на две группы:

- 1) плазмоионные — в них мишень находится в газоразрядной плазме, создаваемой с помощью тлеющего, дугового и высокочастотного разряда. Распыление происходит в результате бомбардировки мишени ионами, извлекаемыми из плазмы;
- 2) автономные источники без фокусировки и с фокусировкой ионных пучков, бомбардирующих мишень.

В наиболее простом случае система распыления состоит из двух электродов, помещенных в вакуумную камеру. Распыляемую мишень из наносимого материала располагают на катоде. На другом электроде на расстоянии в несколько сантиметров от катода устанавливают детали (подложки). Камеру вакуумируют, а затем наполняют рабочим газом (чаще всего аргоном) до давления 1,33 Па. На электрод с подложки подают отрицательный потенциал, зажигают газоразрядную плазму и бомбардировкой ионами производят очистку их от поверхностных загрязнений. Далее отрицательный потенциал прикладывают к мишени и распыляют ее. Распыляемые частицы движутся через плазму разряда, осаждаются на деталях и

образуют покрытие. Большая часть энергии ионов, бомбардирующих мишень (до 25 %), переходит в тепло, которое отводится водой, охлаждающей катод.

Магнетронное распыление

Нанесение покрытий в вакууме с помощью магнетронных систем заключается в распылении твердой мишени напыляемого материала ионами инертного газа, образующимися в плазме аномального тлеющего разряда при наложении на него магнитного поля, силовые линии которого ортогонально пересекают силовые линии магнитного поля.

Основными элементами магнетрона являются катод-мишень, анод и магнитная система. Силовые линии магнитного поля замыкаются между полюсами магнитной системы. Поверхность мишени, расположенная между системами входа и выхода силовых линий магнитного поля, интенсивно распыляется и имеет вид замкнутой дорожки, геометрия которой определяется формой полюсов магнитной системы. При подаче постоянного напряжения между мишенью (отрицательный потенциал) и анодом (положительный потенциал) возникает неоднородное электрическое поле и возбуждается тлеющий разряд. Наличие замкнутого магнитного поля у распыляемой поверхности мишени позволяет локализовать плазму разряда непосредственно у мишени. Эмитированные с катода под действием ионной бомбардировки электроны захватываются магнитным полем, и им сообщается сложное циклоидальное движение по замкнутым траекториям у поверхностей мишени. Электроны оказываются как бы в ловушке, создаваемой с одной стороны магнитным полем, возвращающим их на катод, а с другой стороны – поверхностью мишени, их отталкивающей. Электрон циркулирует в этой ловушке до тех пор, пока не произойдет несколько ионизирующих столкновений с атомами рабочего газа, в результате которых он потеряет полученную от электрического поля энергию. Таким образом, большая часть энергии электрона, прежде чем он попадает на анод, используется на ионизацию и возбуждение, что значительно увеличивает эффективность процесса ионизации и приводит к возрастанию концентрации положительных ионов у поверхности мишени. Это, в свою очередь, приводит к увеличению интенсивности

ионной бомбардировки мишени и значительному росту скорости осаждения покрытия.

Ионное осаждение покрытий

Ионное осаждение покрытий осуществляется методами, в которых осаждаемая пленка подвергается интенсивному воздействию ионного компонента корпускулярного потока, обеспечивающего изменения в структуре и свойствах как переходной зоны, так и самого покрытия. Такой результат возможен либо при высокой степени ионизации корпускулярного потока (газообразного или металлического) осаждаемого вещества, либо при высокой энергии ионного компонента корпускулярного потока.

По типу источника генерации металлического компонента потока различают ионно-термические системы распыления и холодные системы. В первых системах перевод переносимого материала из твердого в парообразное состояние происходит в результате термического нагрева, во вторых – распылением с поверхности интегрально холодной мишени (катода).

Эти методы позволяют получать покрытия с высокими служебными характеристиками. В машиностроении они нашли применение для получения износостойких и коррозионно-стойких покрытий как из чистых металлов, так и из сплавов. Недостатком этих методов является низкий процент ионизированных частиц в общем потоке испаряемого материала, что влияет на адгезионные свойства покрытия и условия протекания реакции с реактивным газом.

Ионно-диффузионное насыщение

Система ионного насыщения представляет собой вакуумную камеру с двухэлектродной электрической схемой: катод-электрод с деталями; второй электрод (анод) – заземленный корпус вакуумной камеры. Для проведения процесса насыщения в вакуумную камеру подается легирующий материал (элемент или химическое соединение) в газообразном (парообразном) состоянии, а к деталям прикладывается отрицательный потенциал от 300 до 1000 В. Поверхность детали бомбардируется положительными ионами легирующего элемента из газоразрядной плазмы, что позволяет значительно сократить длительность процесса насыщения поверхности.

Этот метод широко применяется при азотировании сталей и металлов и имеет преимущества перед печами обычного газового азотирования:

- сокращение длительности цикла в 3...5 раз;
- уменьшение деформации деталей в 3...5 раз;
- возможность проведения регулируемых процессов азотирования с получением слоев с заданным составом и структурой;
- возможность уменьшения температуры процесса азотирования до 350...400 °С, что позволяет избежать разупрочнения материала сердцевины изделий;
- простота защиты отдельных участков деталей от азотирования;
- снижение удельных расходов электрической энергии в 1,5...2 раза и рабочего газа в 30...50 раз.

Ионная имплантация (легирование)

В этом процессе тонкий поверхностный слой изделия насыщается тем элементом, потоком ионов которого поверхность обрабатывается (бомбардируется). Имплантированный элемент (ионы) может входить в кристаллическую решетку основы в виде твердого тела или образовывать мелкокристаллические выделения химических соединений с компонентами материала основы. Кроме того, при внедрении иона в кристаллическую решетку основы в ней инициируется смещение атомов, приводящих к образованию большого количества дефектов кристаллической решетки. Толщина этого насыщенного дефектами и вследствие этого упрочненного слоя во много раз превышает глубину проникновения ионов. Толщина модифицированного слоя составляет несколько микрон. Имплантация ионов существенно увеличивает износостойкость поверхности и увеличивает антикоррозионные свойства верхнего обработанного слоя металла за счет его легирования.

Нанесение покрытий с помощью электродугового разряда в вакууме

Генерация ионных и атомных потоков в устройствах данного типа осуществляется с помощью вакуумного дугowego разряда, который горит в вакуумной камере, между двух электродов: охлаждаемого катода и анода непосредственно в парах распыляемого материала.

Условия формирования дугового разряда таковы, что он концентрируется на поверхности интегрально холодного ($< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) катода в форме катодных микропятен, в которых происходит интенсивное испарение материала мишени и ионизация его паров. Потoki ионов и атомов, образованные в результате этих процессов, осаждаются на поверхности подложки (рис. 4.14).

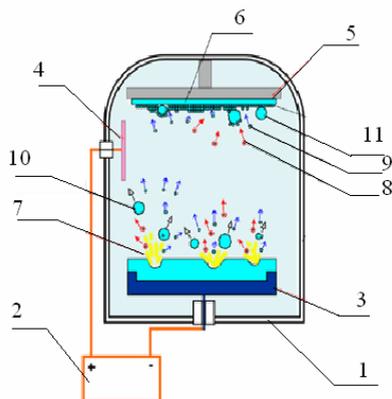


Рис. 4.14. Напыление с помощью дугового разряда в вакууме:

- 1 – вакуумная камера; 2 – источник питания; 3 – катод;
 4 – анод; 5 – подложка; 6 – напыленный слой; 7 – катодные микропятна;
 8 – распыленные ионы; 9 – распыленные атомы;
 10 – микрокапли вещества (капельная фаза);
 11 – капельная фаза на осажденной поверхности

Поскольку испарение материала из микропятен носит взрывоподобный характер, то вместе с атомами и ионами происходит также выброс микрокапель, т. е. частиц расплавленного материала диаметром до 10 мкм, которые также осаждаются на подложку, повреждая поверхность растущей пленки. Для борьбы с микрокапельной фазой используют системы экранов, магнитные сепараторы, системы модуляции тока дуги и др.

Преимущества метода вакуумного ионно-плазменного напыления с дуговым испарением материалов:

- получение слоя оксидов, нитридов, карбидов, интерметаллидов;
- получение покрытий толщиной до 10...15 мкм;

- получение многослойных покрытий с высокой адгезионной стойкостью;
- изделие не требует дополнительной финишной операции после напыления;
- технология позволяет получать тонкие слои из различных материалов;
- достаточно высокая производительность. Системы на основе вакуумно-дугового испарения материалов обеспечивают скорости осаждения до 2...3 мкм/мин;
- широкий выбор состава покрытий;
- адгезия покрытия к материалу подложки в 1,5...2 раза выше, чем при гальваническом нанесении покрытия;
- высокая твердость и коррозионная стойкость напыленного слоя;
- отсутствие скрытой пористости;
- экологическая чистота процесса.

Пример технологического процесса нанесения нитрида титана на поверхность твердосплавного режущего инструмента

1. Шлифование опорных поверхностей пластин для увеличения площади контакта с корпусом державки до значения параметра шероховатости Ra не более 0,6 мкм.

2. Контроль поступающих под напыление твердосплавных пластин на наличие дефектов поверхности (трещин, пор, раковин и др.) с помощью метода капиллярной дефектоскопии.

3. Предварительная очистка пластин перед напылением, включающая ультразвуковое обезжиривание в моющем растворе, ультразвуковую промывку в горячей воде, промывку в дистиллированной воде, сушку и промывку гидролизным спиртом.

4. Предварительный подогрев оснастки с установленными пластинами до температуры 300...350 °С и выдержкой в течение 15...20 мин с целью уменьшения времени разогрева пластин и снижения количества микродуг в процессе ионно-плазменного травления в вакууме.

5. Ионно-плазменное напыление, проводимое в три этапа:

1) очистка поверхности пластин от загрязнений бомбардировкой ионами аргона в тлеющем разряде (ионно-плазменное травление);

- 2) распыление, активация и нагрев поверхности пластин бомбардировкой ионами Ti в дуговом разряде;
- 3) напыление TiN на поверхности пластин путем осаждения в вакууме из высокоскоростного плазменного потока в условиях бомбардировки пластин ионами Ti и одновременном прохождении плазмохимической реакции их с реакционным газом-азотом.

Процесс ионно-плазменного напыления осуществляется следующим образом. Предварительно прошедшие заточку, контроль, очистку и подогрев твердосплавные пластины вместе с приспособлениями устанавливаются в вакуумную камеру на расстоянии около 270 мм от испарителя. При помощи вакуумной системы создается давление $6,6 \cdot 10^{-3}$ Па ($5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.). Затем в камеру подается аргон до значения давления 2,6 Па ($2 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.). На пластины через выполняющие роль катода приспособления и механизмы вращения подается отрицательный потенциал, равный 300 В, который в процессе очистки повышается до 1000 В. При этих условиях в вакуумной камере за счет ионизации молекул аргона происходит явление лавинообразного нарастания потока электронов, сопровождающееся свечением газа между электродами и возникновением самостоятельного тлеющего разряда. За счет кинетической энергии ускоренных в электрическом поле положительных ионов аргона, бомбардирующих катод (в данном случае – изделие), происходит процесс ионно-плазменного травления поверхностных слоев твердосплавных пластин, сопровождающийся повышением их температуры до 300...340 °С. Эффективное время ионно-плазменного травления составляет 10...20 мин, что отвечает отсутствию микродуг в вакуумной камере. По окончании процесса очистки прекращается подача аргона, и вакуумная камера откачивается до давления $6,6 \cdot 10^{-3}$ Па ($5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.). На твердосплавные пластины подается отрицательный потенциал, равный 1,0 кВ, устанавливается ток дуги 90...100 А и с помощью устройства бесконтактного поджига дуги инициируется вакуумный электродуговой разряд.

Ток дуги концентрируется на микроскопических участках, называемых катодными пятнами, хаотически перемещающимися по торцевой поверхности катода. Температура в катодном пятне достигает температуры кипения и составляет несколько тысяч градусов,

что приводит к эрозии и испарению материала катода за счет выброса его из катодного пятна в виде высокоскоростных плазменных микропучков, ионов Ti и нейтральных частиц (капельной фазы и пара). Использование ускоренных пучков большой плотности, получаемых из плазменного потока, позволяет осуществлять очистку и разогрев поверхности твердосплавных пластин путем распыления атомов мишени, а также конденсацию ионов Ti на поверхности изделий. При достижении температуры пластин $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ напряжение снижается до значения $200\text{...}250\text{ В}$, и в камеру подается реакционный газ – азот особой чистоты до давления $0,5\text{...}0,8\text{ Па}$ ($4\cdot 10^{-3}\text{...}6\cdot 10^{-3}\text{ мм рт. ст.}$), которое поддерживается постоянным в течение всего процесса напыления. При этом за счет плазмохимической реакции между ионами азота и ионами Ti образуется соединение TiN , которое конденсируется в виде тонкопленочного покрытия ($7\text{...}10\text{ мкм}$).

Установки вакуумного ионно-плазменного нанесения покрытий

Установка вакуумная для нанесения покрытий 1АП487 (рис. 4.15) предназначена для нанесения пленок алюминия испарением в вакууме и защитного покрытия монооксида кремния. Для увеличения производительности имеются две полукамеры с шестью барабанами карусельного типа, обеспечивающими планетарное вращение вокруг центрально расположенного испарителя.



Рис. 4.15. Установка вакуумная для нанесения покрытий 1АП487

Технические характеристики установки:

- габаритные размеры – 6000×4500×2400;
- очистка изделий в тлеющем разряде;
- установленная мощность – 66 кВт;
- предельный вакуум – 10^{-5} мм рт. ст.;
- размер камеры: длина – 1 м, диаметр – 1 м, материал – нержавеющей сталь.

Установка ННВ-6.6-И1 предназначена для нанесения на изделие (инструмент) широкой гаммы многослойных, в том числе и композиционных, покрытий на основе различных соединений тугоплавких металлов (нитриды, карбиды, карбонитриды, оксиды, бориды).

Принцип действия установки основан на использовании метода парофизического осаждения материала на подложку в вакууме.

Основным узлом установки является электродуговой испаритель, в котором испарение материала с поверхности катода происходит благодаря высокой концентрации энергии электрической дуги в «катодном пятне». Достижимые высокие температуры обеспечивают испарение самых тугоплавких материалов, включая вольфрам и графит.

Предварительная обработка (очистка, активирование, нагрев) поверхности изделия осуществляется в результате воздействия высокоэнергетических потоков ионов инертного газа и осаждаемого материала в тлеющем плазменном разряде, что создает условия для формирования высококачественного покрытия оптимальной структуры и с хорошей адгезией к поверхности.

В качестве материала катодов в электродуговых испарителях чаще всего используют титан. Возможно применение молибдена, вольфрама, циркония, хрома, ниобия, графита и др. В качестве реакционного газа могут использоваться различные газы, в том числе азот.

Оригинальная конструкция систем магнитной фокусировки плазменного потока испарителя, плавного регулирования напряжения высоковольтного источника питания, а также высокоточного регулирования привода стола установки позволяет подобрать технологический режим формирования высококачественного покрытия при максимальной производительности.

Установка проста и удобна в эксплуатации. Особенно перспективна при нанесении износостойких покрытий на металлорежущий и штамповый инструмент, детали для экстремальных условий эксплуатации.

Технические характеристики установки ННВ-6.6-И1

1. Рабочий вакуум (мм рт. ст.) от $5 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-4}$.
2. Размеры рабочей камеры (мм): диаметр – 600, высота – 600.
3. Количество дуговых испарителей – 3.
4. Максимальная загрузка (кг) – 110.
5. Скорость осаждения покрытия (мкм/ч) – 13...40.
6. Ток дуговых испарителей (А) – 300.
7. Масса установки (кг) – 3000.

Конструкция и принцип действия ННВ-6.6-И1

Установка (рис. 4.16) состоит из следующих основных узлов: корпус вакуумной камеры со шкафом управления; электроды токоподводящие (катоды); система водоохлаждения; вакуумная система; механизм вращения с предметным столиком; источники питания.

Корпус установки имеет вид вертикального цилиндрического сосуда с боковым проемом, который закрывает дверца. Он выполнен с двойными стенками, образующими полость водоохлаждения (или подогрева при откачке камеры). На боковых стенках корпуса установлены два токоподводящих электрода. Корпус с дверцей образует вакуумную камеру. Дверца также имеет двойные стенки, которые образуют полость водоохлаждения. На дверце или на верхней плоскости корпуса установлен третий токоподводящий электрод.

Электрод токоподводящий, представляющий собой электродуговой испаритель, состоит из корпуса и держателя, которые электрически изолированы друг от друга, и защитного кожуха.

Система водоохлаждения состоит из панели водораспределительной и трубопроводов. В панели предусмотрена воронка для визуального контроля протока воды, а также датчики сигнализаторов уровня. Расход воды регулируют вентили, установленные на коллекторе.

Вакуумная система обеспечивает создание в рабочей камере необходимого рабочего давления. Регулирование остаточного давле-

ния выполняется с помощью автоматического регулятора напуска рабочего газа.

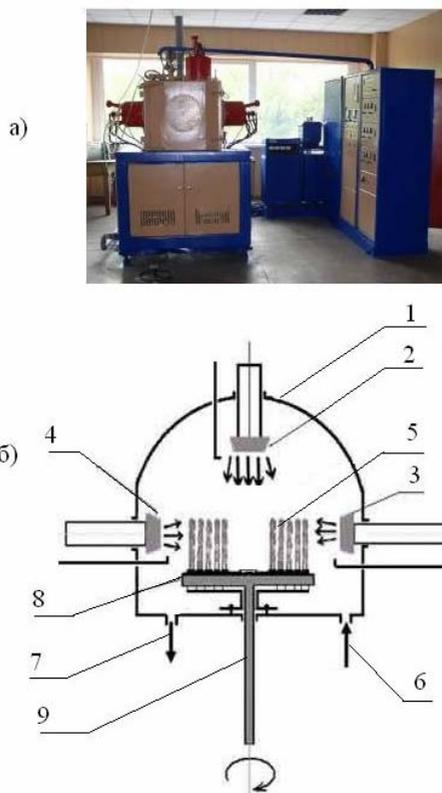


Рис. 4.16. Внешний вид (а) и схема (б) установки ННВ-6.6-И1:
1 – вакуумная камера; 2 – катод первый; 3 – катод второй; 4 – катод третий; 5 – напыляемые изделия; 6 – клапан подачи газа; 7 – клапан для вакуумирования камеры; 8 – предметный столик; 9 – механизм вращения

Механизм вращения имеет электромеханический привод, состоящий из электродвигателя постоянного тока и редуктора, соединенных клиноременной передачей. Электродвигатель позволяет изменять число оборотов и направление вращения.

Основание предназначено для монтажа на нем камеры, вакуумной системы, системы водоохлаждения и подогрева. В тумбе основания расположен механизм вращения и блоки поджига дуги.

Электродвигатель установлен на плите, которая крепится к тумбе основания. Вакуумная система, панель водоохлаждения расположены на площадке основания. В площадке под съемным листом размещены провода цепей управления и силовые цепи.

Электрическая часть (шкаф управления) служит для электроснабжения установки и управления технологическим процессом. Электроснабжение производится от трехфазной сети напряжением 380 В, цепи управления питаются напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

Высоковольтный источник питания, включающий тиристорный преобразователь напряжения, высоковольтный трансформатор и выпрямитель, обеспечивает регулирование напряжения в пределах от 100 до 1500 В.

Источник опорного напряжения, включающий тиристорный преобразователь (общий с высоковольтным источником), трансформатор и выпрямитель, обеспечивает регулирование напряжения от 20 до 280 В.

Для получения при нанесении покрытий нитридов металла в установке предусмотрена система напуска рабочего газа (азота). Система состоит из клапана с электромагнитным приводом, клапана напускного регулируемого (автоматического натекателя) и электронного блока управления.

Установка МАП-2 предназначена для нанесения и снятия защитных, жаростойких, износостойких и других видов покрытий ионно-плазменным способом в вакууме на деталях, имеющих ось вращения (рис. 4.17).

Суть метода ионно-плазменного напыления в том, что в вакуумной камере с остаточным давлением $2 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. (почти на два порядка выше, чем необходимо для электронно-лучевого напыления) зажигается дуга между находящимся в центре цилиндрическим катодом и расположенным по периферии кольцевым анодом. Ток дуги нагревает локально (в катодном пятне) катод настолько, что его материал испаряется и ионизируется. В промежутке между катодом и анодом расположены детали (лопатки газотурбинного двигателя), на которые тоже подается электрическое напряжение, и ионы попадают не только на анод, но и на лопатки, ускоряясь электрическим полем.

а)



б)

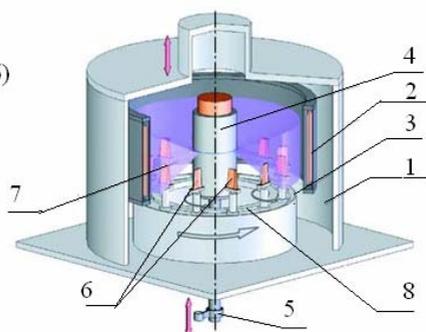


Рис. 4.17. Внешний вид (а) и схема (б) установки МАП-2:

1 – вакуумная камера; 2 – магнитная катушка; 3 – анод; 4 – катод;
5 – привод катода; 6 – изделия (лопатки турбин ГТД); 7 – радиальный
плазменный поток; 8 – планетарный привод вращения деталей

Установка МАП-2 оснащена современной системой управления на базе промышленного компьютера и PLC-контроллеров, новыми инверторными блоками питания на базе IGBT-технологий для ионного источника и для дугового испарителя. В установке предусмотрена 3-канальная система газонапуска с возможностью автоматического регулирования суммарного давления смеси газов в технологической камере, что резко расширяет функциональные и технологические возможности установки, а также увеличивает ее производительность. Полная автоматизация процесса с высокоточной стабилизацией технологических параметров посредством современных устройств питания и управления обеспечивает воспроизво-

димось процессов с повышением качества покрытий. Применение в электрооборудовании элементной базы лучших мировых производителей увеличивает надежность работы установки.

Основные технические характеристики установки:

- диаметр описанной окружности напыляемой детали (мм) – 120;
- максимальная длина изделия (мм) – 150;
- давление в камере при нанесении покрытий (Па) – $2,6...6,6 \cdot 10^{-3}$.
- масса установки (кг) – 3000;
- габаритные размеры (мм) – 4100×2500×2600.

Установка ВИАМ МЭШ-50 предназначена для высокоскоростного ионно-плазменного осаждения многослойных защитных и упрочняющих покрытий на внешнюю поверхность деталей машин. Толщины наносимых покрытий от единиц микрон до 120...200 мкм.

Установка по своим технологическим возможностям не имеет аналогов и рекомендуется для нанесения многокомпонентных конденсированных, диффузионных и конденсационно-диффузионных защитных покрытий на лопатки турбин и компрессоров авиационных транспортных и энергетических силовых установок, а также для нанесения упрочняющих и защитных покрытий на детали машин, режущий и штамповый инструмент.

Применение вакуумных ионно-плазменных технологий модифицирования поверхностей и нанесения функциональных покрытий

Ионно-плазменные технологии применяются для нанесения износостойких, коррозионно-стойких, жаропрочных, электропроводящих, декоративно-защитных покрытий титана, циркония, хрома, никеля, алюминия, молибдена, вольфрама и других элементов, а также их двойных и тройных композиций; сплавов сложных составов, продуктов синтеза (оксиды, нитриды, карбиды) на конструкционные, инструментальные стали и твёрдые сплавы при температуре не более 70 °С.

Вакуумные ионно-плазменные технологии обеспечивают:

- получение декоративных покрытий, альтернативных покрытиям из драгоценных металлов;
- нанесение декоративных покрытий на конструкционные неметаллические материалы (стекло, керамику, пластмассу, углепластик);

- нанесение коррозионно-стойких покрытий на низколегированные и углеродистые стали для обще- и всеклиматического исполнения;
- получение износостойких покрытий для различных контактных пар трения, в том числе титановых;
- нанесение переходных покрытий на разнородные материалы;
- нанесение многослойных износостойких покрытий на основе TiN, ZrN, TiZrAlN, TiAlN на режущий инструмент от 0,3 мм, в том числе для обработки титановых сплавов;
- нанесение несплошных покрытий на режущий инструмент;
- получение индикаторных покрытий для мерительного инструмента;
- ионное азотирование с нанесением функциональных покрытий;
- модифицирование поверхности жаропрочных титановых и алюминиевых сплавов с получением на поверхности интерметаллидов типа NiAl; Ni₃Al; TiAl; Ti₃Al; TiAl₃.

4.5. Электроискровое наращивание и легирование

Физические основы процесса электроискрового легирования (ЭИЛ)

Способ электроискровой обработки металлов, разработанный Б.Р. Лазаренко и Н.И. Лазаренко, основан на явлении электрической эрозии материалов при искровом разряде в газовой среде (преимущественно на воздухе) и полярного переноса продуктов эрозии на катод (деталь), на поверхности которого формируется слой измененной структуры и состава [12]. В результате электрического пробоя межэлектродного промежутка возникает искровой разряд, в котором поток электронов приводит к локальному разогреву электрода (анода). На поверхности катода под действием значительных тепловых нагрузок происходят микрометаллургические и сопутствующие им процессы (термомеханические, гидродинамические, диффузионные), осуществляющие перемешивание материала катода и анода, при взаимодействии с компонентами газовой среды, что способствует образованию высокой адгезии между основой и формируемым слоем. Поэтому электроискровое легирование следует считать методом создания новых композиционных материалов.

В первую очередь это относится к тугоплавким покрытиям, наиболее существенно и принципиально изменяющим свойства верхнего слоя материала. Величина этих изменений определяется составом, структурой, свойствами материалов электродов и технологическими параметрами процесса электроискрового легирования.

Общая схема процесса ЭИЛ

На рис. 4.18 приведена общая схема процесса ЭИЛ с вибрирующим анодом в виде компактного электрода и изображение образующегося верхнего слоя.

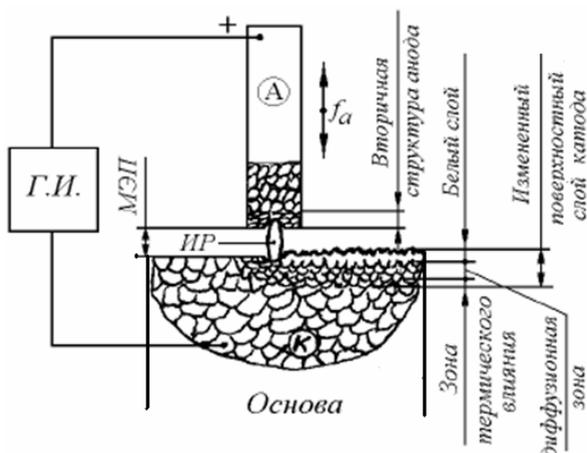


Рис. 4.18. Схема электроискрового легирования (ЭИЛ):

Г.И. – генератор импульсного тока; МЭП – межэлектродный промежуток;
ИР – искровой разряд; А – анод; К – катод

Процесс ЭИЛ начинается со сближения анода (электрода) с катодом (деталью). При расстоянии между ними, равном пробивному, начинается развитие искрового разряда длительностью $10^{-6} \dots 10^{-3}$ с, который во многих случаях завершается при контакте электродов.

При небольших напряжениях между электродами ($U < 100$ В) возможно контактное начало разряда от накопительного конденсатора генератора импульсов. После пробоя межэлектродного промежутка (МЭП) за счет энергии, поступающей от генератора импульсов, на поверхностях электродов развиваются локальные очаги

плавления, испарения, вызывающие электрическую эрозию материалов электродов (анода и катода).

Преимущественный перенос эродируемого материала анода на катод обеспечивает формирование на нем измененного поверхностного слоя. После окончания импульсного искрового разряда и отхода анода от катода завершается разрыв электрической цепи. Реализация непрерывного процесса ЭИЛ за счет периодической коммутации анода с катодом осуществляется с помощью специальных устройств, например вибратора с закрепленным на нем анодом. Конструктивно разработаны и другие устройства периодической коммутации, в том числе и для процессов формирования покрытий методом ЭИЛ порошковыми материалами.

Модель процесса электроискрового легирования

Модель процесса, разработанная Б.Р. Лазаренко и Н.И. Лазаренко, заключается в следующем: при сближении электродов напряженность электрического поля между ними увеличивается и, достигнув определенной величины, вызывает пробой промежутка между электродами. Через возникающий канал сквозной проводимости пучок электронов сфокусированно ударяется о твердую металлическую поверхность анода. Энергия движения остановленных электронов выделяется в поверхностных слоях анода. Энергия от специального источника питания импульсно подводится к разрядному промежутку, поэтому плотность тока в канале значительно превосходит критические значения. Вследствие этого металл анода локально разогревается, расплавляется и частично испаряется. Капля расплавленного металла отделяется от анода и, опережая его, движется к катоду. В процессе отделения от анода летящая капля успевает нагреться до высокой температуры, закипает и взрывается. Цепь тока прерывается, фокусирующее действие электромагнитного поля исчезает, и образовавшиеся частицы летят широким фронтом. Поскольку перегретая капля и частицы находятся в газовой среде, возможно образование химических соединений, вследствие чего отделившиеся от анода частицы могут отличаться от материала анода. Достигнув катода, расплавленные частицы анода свариваются с ним и частично внедряются в его поверхность. Движущийся за частицами электрод-анод механически ударяет о катод, переме-

шивая частицы анода. При этом протекают процессы диффузии и химических реакций. Механический удар по раскаленной массе металла проковывает полученное покрытие, увеличивая его однородность и плотность. Так как процесс носит локальный характер, имеет место и сверхскоростная закалка. После этого электрод-анод отходит от катода, а на поверхности последнего остается прочно соединенный с ним слой материала анода.

Эта модель процесса разработана для высоких напряжений между электродами. При ЭИЛ, где используют напряжения не выше 100...200 В, пробой межэлектродного промежутка происходит практически при контакте электродов (зазор 5...10 мкм) через частицы, находящиеся в воздухе или на поверхности электродов. При контактном начале пробоя на первом этапе происходит электрический взрыв контактного мостика, обеспечивающий предварительную очистку поверхности и последующее формирование межэлектродного пространства для развития плазменного разряда. На сблизившиеся жидкие объемы анода и катода действуют гидродинамическое давление факелов, газокинетическое давление со стороны канала проводимости, сила электрического поля, электродинамическая сила, реактивное давление. Механизм образования покрытия при ЭИЛ дополняется в работах Н.И. Лазаренко, согласно которому выброс металла происходит и с поверхности катода [16]. На поверхности последнего образуется лунка с краями, несколько приподнятыми над первоначальной поверхностью. Поэтому при электроискровом легировании поверхность обрабатываемой детали представляет собой совокупность гребней и впадин, геометрические размеры и частота следований которых определяет шероховатость, сплошность обработанной поверхности.

Установки для электроискрового наращивания и легирования

Универсальная механизированная высокочастотная установка ИМ-101 (рис. 4.19) предназначена для электроискрового упрочнения рабочих поверхностей всех видов режущего инструмента, штампового кузнечно-прессового, заготовительного и литейного производств, для восстановления изношенных поверхностей деталей

в ремонтном производстве при работе в ручном и механизированном режимах при оснащении одноэлектродными и многоэлектродными головками.



Рис. 4.19. Универсальная механизированная высокочастотная установка для электроискрового легирования ИМ-101

Особенности: установка оснащена двумя генераторами электроискровых разрядов и позволяет использовать параллельно две одноэлектродные головки для повышения производительности механизированного ЭИЛ.

Технические характеристики установки:

- напряжение питающей сети, В (50 Гц) — 220 ± 22 ;
- потребляемая мощность, кВА — 1,5;
- суммарная емкость разрядных конденсаторов, мкФ — 340;
- производительность, $\text{см}^2/\text{мин}$ — до 12,0;
- частота следования импульсов, Гц — 100...1200;
- толщина слоя покрытия, мм — до 1,2;
- шероховатость покрытия, R_a мкм — 1,5;
- масса генератора, кг — 42;
- габаритные размеры, мм — $480 \times 210 \times 480$;
- повышенная мощность;
- позволяет создавать покрытия толщиной до 0,1 мм за один проход.

Малогабаритная установка для ручного ЭИЛ типа ИМ-05 (рис. 4.20) предназначена для электроискрового упрочнения рабочих поверхностей всех видов режущего инструмента, штампового оснащения кузнечно-заготовительного и литейного производств.

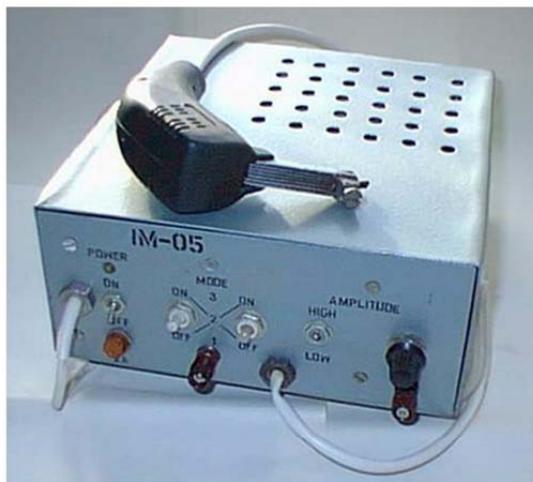


Рис. 4.20. Малогабаритная установка для ручного ЭИЛ типа ИМ-05

Особенности: оригинальная схема генератора электроискровых разрядов, установка имеет 3 режима работы, максимальная емкость разрядных конденсаторов – 60 мкф.

Технические характеристики установки:

- напряжение питающей сети, В (50 Гц) – 220 ± 22 ;
- потребляемая мощность, кВА – 0,3;
- производительность, $\text{см}^2/\text{мин}$ – 3,0;
- частота следования импульсов, Гц – 100;
- толщина слоя покрытия, мм – до 0,1;
- шероховатость покрытия, R_a мкм – 3,0;
- масса, кг – 6,4;
- габаритные размеры, мм – $245 \times 110 \times 220$.

Примеры обработки поверхностей изделий с помощью ЭИЛ [11]

1. Валы-бендиксы стартеров

Технология восстановления валов-бендиксов стартера двигателя не требует значительных капитальных затрат. Толщина восстановленного слоя с упрочняющим покрытием составляет от 0,025 до 0,5 мм на сторону (рис. 4.21, а).

2. Шатунные валы

Технология обеспечивает восстановление шпоночного соединения, конуса, шеек под подшипники шатунных валов для бензопил при затратах, не превышающих 15 % стоимости вала (рис. 4.21, б).

3. Валы турбонагнетателей транспортных средств

Толщина восстановленного слоя с упрочняющим покрытием составляет до 0,2 мм на сторону (рис. 4.21, в).



Рис. 4.21. Детали, восстановленные и упрочненные с помощью ЭИЛ

4. Обоймы-шестерни с внутренним зацеплением

Технологический процесс восстановления шлицев обоймы-шестерни обеспечивает восстановление изношенных поверхностей при отсутствии деформации эвольвенты зубчатого зацепления. Толщина восстановленного слоя с упрочняющим покрытием составляет 0,5 мм на сторону (рис. 4.22, а).

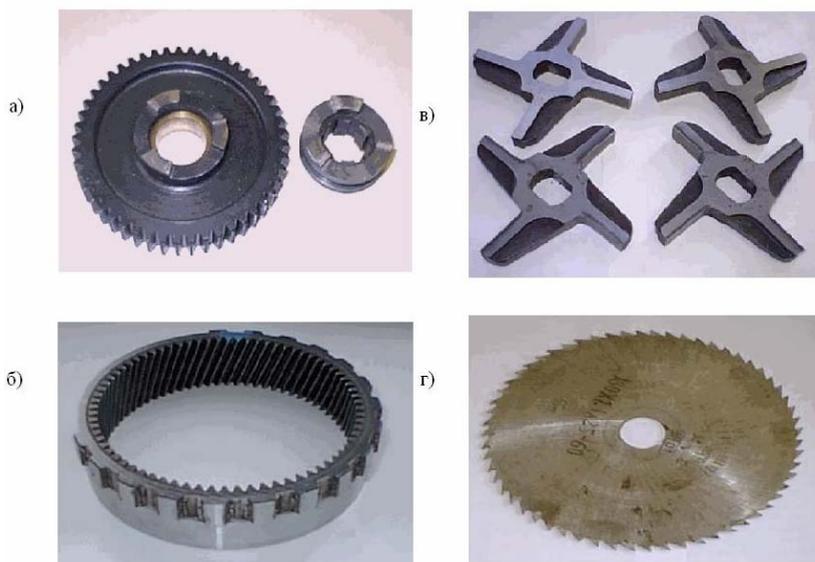


Рис. 4.22. Упрочненные поверхности деталей с помощью электроискрового легирования

5. Шлицевое соединение

Технология обеспечивает восстановление боковых поверхностей шлицев сопрягаемых деталей мотокультиватора при затратах, не превышающих 15 % стоимости вала. Толщина восстанавливаемого слоя до 0,6 мм (рис. 4.22, б).

6. Ножи мясорубки

Технология упрочнения рабочих поверхностей ножей механизированной мясорубки обеспечивает повышение долговечности в 2...3 раза при затратах, не превышающих 15 % стоимости новых ножей (рис. 4.22, в).

7. Дисковая пила для пилорамы

Стойкость инструмента после упрочнения превышает стойкость неупрочненных инструментов в 4...5 раз, что позволяет повысить производительность процесса на 25 % (рис. 4.22, *г*).

Вопросы для самоконтроля

1. Что является источником тепла при газопламенном способе напыления?
2. В чем заключаются преимущества и недостатки технологии газопламенного напыления?
3. Какие материалы и в каком виде можно применять для газопламенного напыления?
4. За счет чего обеспечивается сверхзвуковое напыление частиц металла на поверхность?
5. В чем заключается сущность способа детонационного напыления?
6. Каковы преимущества процесса плазменного напыления по сравнению с другими способами?
7. Что является источником тепла в процессе плазменного напыления?
8. В чем заключается принцип работы электродугового металлатора?
9. Каковы преимущества и недостатки электродуговой металлзации?
10. Какие методы вакуумного ионно-плазменного напыления применяются в промышленности?
11. На чем основаны методы ионно-плазменной обработки поверхностей?
12. Какие этапы включают вакуумные ионно-плазменные методы упрочнения поверхностей деталей машин?
13. В чем заключаются преимущества метода вакуумного ионно-плазменного напыления с дуговым испарением материалов?
14. Какие установки вакуумного ионно-плазменного нанесения покрытий имеются в современной промышленности?
15. В чем заключаются физические основы процесса электроискрового легирования?
16. Как осуществляется процесс электроискрового легирования и наращивания поверхностей?

Глава 5. ТЕРМИЧЕСКАЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ

5.1. Основные виды термической обработки

Термическая обработка металлов и сплавов – это технологический способ воздействия на структурное и фазовое состояние материала с помощью различных режимов нагрева и охлаждения. Понятие режимов нагрева и охлаждения включает скорость этих процессов, температуру, среду, продолжительность изотермических выдержек. Режимы термической обработки подбирают с учетом фазовых и структурных превращений в материале с целью получения необходимого комплекса свойств.

Термическая обработка может быть предварительной или окончательной. Предварительную термообработку применяют для подготовки структуры и свойств материала к последующим технологическим операциям (для обработки давлением, улучшения обрабатываемости резанием). При окончательной термообработке формируются свойства готового изделия.

Термическую обработку применяют на стадии производства различных материалов и изделий, а также для снятия напряжения в них. Основные виды термообработки: закалка объемная или поверхностная, отжиг (1-го и 2-го рода) и отпуск.

Объемная закалка – основной вид упрочняющей термической обработки конструкционных и инструментальных сталей. Поскольку в процессе закалки стали её структура становится неравновесной и возникают большие остаточные напряжения, то после закалки обычно следует отпуск стали, позволяющий улучшить её свойства. Главным отличием закалки от других операций термической обработки является высокая скорость охлаждения, достигаемая применением специальных закалочных сред.

Выбор закалочной среды – один из главных факторов правильной закалки. Он осложняется тем, что для получения идеальной кривой охлаждения, которая имеет участки различной крутизны, закалочная среда должна обеспечивать неодинаковые скорости охлаждения при различных температурах. Наиболее высокая скорость

охлаждения должна быть в интервале температур 650...400 °С. В интервале температур мартенситного превращения скорость охлаждения должна быть невысокой, что предотвращает возникновение термических напряжений, способствующих образованию трещин, и в то же время не слишком низкой, чтобы не произошли отпуск мартенсита и стабилизация остаточного аустенита.

В качестве закалочных сред обычно используют кипящие жидкости, но для некоторых легированных сталей достаточная скорость охлаждения обеспечивается применением спокойного или сжатого воздуха. В связи с особенностями теплообмена при контакте нагретого металла с жидкостью интенсивность теплоотвода, а значит, и скорость охлаждения зависят от температуры металла. Это связано с тем, что при очень высоких температурах на поверхности образуется сплошная паровая рубашка, которая препятствует отводу тепла. По мере снижения температуры эта рубашка прорывается, и теплоотвод идёт очень интенсивно (стадия пузырькового кипения). Ниже температуры кипения теплота отводится за счёт конвекции жидкости, и интенсивность этого процесса снова резко снижается. Интервалы наиболее интенсивного теплоотвода различных жидкостей различны, поэтому выбор конкретной закалочной среды определяется видом изделия. В частности, воду с температурой 18...25 °С используют в основном при закалке деталей простой формы и небольших размеров, выполненных из углеродистой стали. Детали наиболее сложной формы из углеродистых и легированных сталей закаляют в маслах. Для закалки легированных сталей наряду с маслами часто используют водные растворы NaCl и NaOH с наиболее высокой охлаждающей способностью. Кроме того, для этих целей все более широко применяют водные растворы поверхностно-активных веществ и синтетических полимеров. Объёмная закалка повышает прочность сталей: углеродистых – в 1,5...2 раза, легированных – в 2...3 раза, повышает твёрдость до 40...55 HRC. Её используют для упрочнения отливок, поковок, штамповок, проката, сварных элементов.

Поверхностная закалка. Её особенность состоит в том, что упрочняется только неглубокий (толщиной от 0,2 до 15 мм) поверхностный слой материала деталей, а сердцевина остаётся вязкой и пластичной. Такое сочетание обеспечивает повышение износо-

стойкости (в 2 раза) и стойкость к динамическим нагрузкам. Если детали испытывают усталостное изнашивание, ограничиваются толщиной закаленного слоя до 3 мм, при высоких контактных нагрузках – до 10...15 мм.

Поверхностную закалку с индукционным нагревом (нагревом ТВЧ) используют при массовой обработке стальных изделий. Она основана на выделении теплоты при прохождении переменного тока высокой частоты в поверхностном слое металлического изделия. Этот ток индуцируется окружающим изделие контуром, создающим переменное электромагнитное поле. Поверхностный нагрев при индукционном нагреве обеспечивается действием скин-эффекта.

Глубина закалки обычно определяется условиями работы детали и составляет от 1,5 до 15 мм. Источником ТВЧ служат специальные генераторы различной мощности. Поскольку закалка с индукционным нагревом экономически эффективна только при обработке больших партий изделий, обычно эту операцию выполняют на автоматизированных установках. В зависимости от размеров изделий применяют режимы обработки, основанные на различных сочетаниях нагрева и охлаждения. Закалку с индукционным нагревом используют в основном для сталей, содержащих 0,4...0,5 % углерода (Ст40, Ст45, Ст40Х, Ст45Х, Ст40ХН). Закалка с индукционным нагревом позволяет получить мелкозернистую структуру стали с твёрдостью на 3...5 HRC выше, чем при обычной закалке. Возникающие в поверхностном слое остаточные напряжения сжатия резко повышают сопротивление усталостному разрушению, которое обычно инициируется образованием поверхностных трещин под действием растягивающих напряжений. При закалке с индукционным нагревом отсутствуют окисление и обезуглероживание поверхности стальных деталей (по сравнению с печной термической обработкой), снижаются термические деформации, что позволяет упрочнять ряд деталей без последующей шлифовки.

Газопламенную поверхностную закалку применяют для крупных единичных изделий или их малых партий (коленчатые валы особо мощных двигателей, прокатные валки и т. д.). Её осуществляют при нагреве поверхностного слоя пламенем сгорающего газа, имеющим температуру 2400...3000 °С. При этом виде закалки в круп-

ном изделии создаются меньшие напряжения, чем при обычной объёмной закалке.

Закалка в электролите основана на том, что при пропускании тока через электролит (5...10 %-ный раствор кальцинированной соды) на катоде (деталь) образуется газовая рубашка водорода. Ток при этом сильно возрастает, и деталь нагревается, после чего, отключив ток, можно сразу закалить её в том же электролите. Способ применяется для закалки небольших деталей массового производства.

При *лазерной закалке* осуществляется высокоскоростной разогрев поверхностного слоя металла под действием лазерного луча. Этот новый вид поверхностного упрочнения имеет ряд достоинств по сравнению с традиционными методами, особенно в случаях, когда нужно повысить износостойкость поверхностного слоя изделия.

Лазерной закалкой можно упрочнять в различных режимах и тонкие (до 0,2 мм), и сравнительно толстые (до 3 мм) слои как на небольших участках изделий, так и на поверхностях большой площади. При этом наряду с упрочнением можно изменять шероховатость изделий, обрабатывать лучом лазера труднодоступные полости, режущие кромки инструмента и т. д.

В процессе лазерной обработки не требуется применение закалочных сред, поскольку их роль выполняет сам металл, отводя тепло, что обеспечивает высокую скорость охлаждения (до $10^6...10^8$ °C/с) после кратковременного нагрева. Длительность нагрева у различных лазеров не превышает $10^{-9}...10^{-6}$ с, что позволяет широко варьировать глубину прогрева и степень фазовых превращений в стали. В ряде случаев при лазерной обработке добиваются полного проплавления поверхностного слоя, а скоростная кристаллизация и фазовые превращения приводят к образованию мелкозернистой мартенситной структуры с микротвёрдостью, значительно превышающей достигаемую другими методами поверхностной закалки.

Отжиг — это нагрев стали до температуры, определяемой целью отжига, выдержка при этой температуре и последующее медленное охлаждение. Цель отжига — устранение химической неоднородности сталей, понижение твердости для облегчения механической обработки и др.

Отжиг первого рода

- Возврат (отдых) стали — нагрев до 200...400°, применяется для уменьшения или снятия наклепа. По результатам отжига наблюдается уменьшение искажений кристаллических решеток у кристаллитов и частичное восстановление физико-химических свойств стали.

- Рекристаллизационный отжиг стали (рекристаллизация) — нагрев до температур 500...550 °С. Отжиг для снятия внутренних напряжений — нагрев до температур 600...700 °С. Эти виды отжига снимают внутренние напряжения металла отливок от неравномерного охлаждения их частей, также в заготовках, обработанных давлением (прокаткой, волочением, штамповкой) с использованием температур ниже критических. Вследствие рекристаллизационного отжига из деформированных зерен вырастают новые кристаллы, ближе к равновесным, поэтому твердость стали снижается, а пластичность, ударная вязкость увеличиваются. Чтобы полностью снять внутренние напряжения стали, нужна температура не менее 600 °С. Охлаждение после выдержки при заданной температуре должно быть достаточно медленным.

Отжиг второго рода

- Полный отжиг заключается в нагреве стали на 30...50 °С выше верхней критической точки для полного превращения структуры стали в аустенит и последующем медленном охлаждении до 500...600 °С для образования феррита и перлита. Скорость охлаждения для углеродистых сталей около 50...100 °С/ч.

- Неполный отжиг заключается в нагреве до температур между нижней и верхней критическими точками (в интервале температур A_{c1} A_{c3} по диаграмме состояния «железо — углерод») и последующем медленном охлаждении.

Отпуск закаленных углеродистых сталей

Отпуском называют термическую операцию, заключающуюся в нагреве закалённой стали до температур, не превышающих точку A_{c1} (т. е. не выше линии PSK диаграммы состояния) [26], выдержке и последующем охлаждении чаще всего на воздухе (рис. 5.1). Отпуск является окончательной операцией термической обработки, в результате которой сталь получает требуемые механические свойства. Кроме того, отпуск частично или полностью устраняет внутренние напряжения, возникшие при закалке.

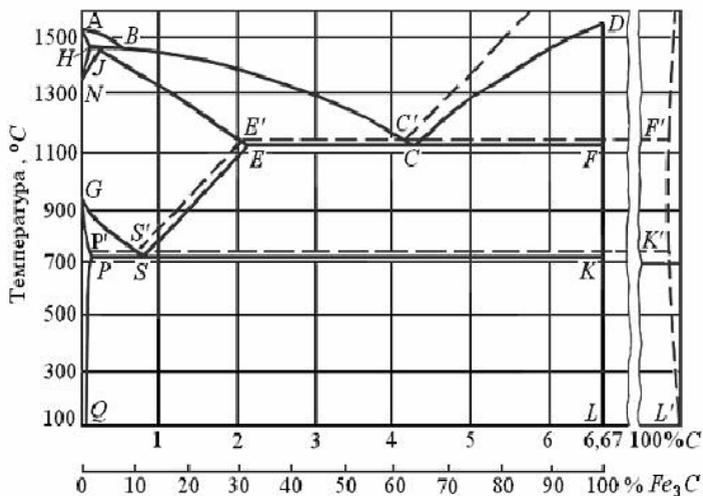


Рис. 5.1. Температура точек линии PSK на диаграмме «железо – цементит»

Образующийся при закалке стали мартенсит представляет собой неустойчивую структуру, характеризующуюся высокой твердостью, хрупкостью и высоким уровнем внутренних напряжений. По этой причине закалённую сталь следует обязательно подвергать отпуску.

Окончательные свойства стали в большей степени зависят от температуры отпуска. Различают три вида отпуска стали в зависимости от температуры нагрева.

1. *Низкий (низкотемпературный отпуск)* проводят при температурах не выше 250...300 °С. При таких температурах происходит частичное обезуглероживание мартенсита и выделение из него некоторого количества избыточного углерода в виде частиц карбида железа. Образующаяся структура, состоящая из частичного обезуглероженного мартенсита и карбидов, называется отпущенным мартенситом. Выход некоторого количества углерода из решетки мартенсита способствует уменьшению ее искажения и снижению внутренних напряжений. При таком отпуске несколько повышается прочность и вязкость без заметного снижения твердости. В целом изменение свойств при низком отпуске незначительно. Так, закаленная сталь с содержанием углерода 0,5...1,3 % после низкого отпуска сохраняет твердость в пределах 58...63 HRC, следовательно,

обладает высокой износостойкостью. Однако такая сталь не выдерживает значительных динамических нагрузок.

Низкому отпуску подвергают режущий и мерительный инструмент из углеродистых и низколегированных сталей, работающий без значительного разогрева рабочей части, а также детали, прошедшие поверхностную закалку или цементацию. Цель такого отпуска – некоторое снижение внутренних напряжений.

2. *Средний (среднетемпературный) отпуск* (рис. 5.2) выполняют при температурах 350...500 °С и применяют преимущественно для рессор, пружин, некоторых видов штампов. При таких температурах происходит дальнейшее обезуглероживание мартенсита, приводящее к его превращению в обычный α -раствор, т. е. в феррит. В результате образуется феррито-цементитная смесь, называемая троститом отпуска. Наблюдается снижение твердости до величины 40...50 HRC, а также снижение внутренних напряжений. Такой отпуск обеспечивает высокий предел упругости и предел выносливости, что позволяет применять его для различных упругих элементов.

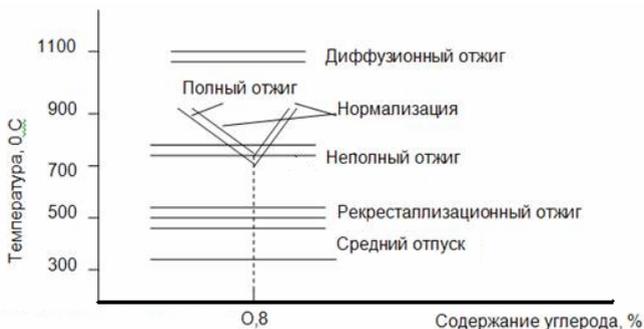


Рис. 5.2. Температура нагрева стали при различных видах термообработки

3. *Высокий (высокотемпературный) отпуск* проводят при 500...600 °С. Структурные изменения при таких температурах заключаются в укрупнении (коагуляции) частиц цементита. В результате этого образуется феррито-цементитная смесь, называемая сорбитом отпуска. Так же, как и тростит отпуска, эта структура характеризуется зернистым строением в отличие от пластинчатых структур

тритита и сорбита закалки. Твердость стали после высокого отпуска снижается до 25...35 HRC, однако уровень прочности при этом еще достаточно высок. В то же время обеспечивается повышенная пластичность и особенно ударная вязкость, практически полностью снимаются внутренние напряжения, возникшие при закалке. Таким образом, высокий отпуск на сорбит обеспечивает наилучший комплекс механических свойств, позволяющий применять его для деталей, работающих в условиях динамических нагрузок. Такой же отпуск рекомендуется для деталей машин из легированных сталей, работающих при повышенных температурах.

Термическую обработку, состоящую из закалки на мартенсит и последующего высокого отпуска на сорбит, называют термическим улучшением. Вообще термическому улучшению подвергают детали из среднеуглеродистых (0,3...0,5 % углерода) конструкционных сталей, к которым предъявляют высокие требования по пределу текучести, пределу выносливости и ударной вязкости. Однако износостойкость улучшенной стали вследствие ее пониженной твердости невысока. Скорость охлаждения после отпуска оказывает большое влияние на величину остаточных напряжений. Чем медленнее охлаждение, тем меньше остаточные напряжения. Так, охлаждение на воздухе дает напряжения в 7 раз меньше, а охлаждение в масле в 2,5 раза меньше по сравнению с охлаждением в воде. По этой причине изделия сложной формы во избежание их деформации после отпуска следует охлаждать медленно (на воздухе), а детали из некоторых легированных сталей, склонных к отпускной хрупкости, рекомендуется охлаждать в масле. Легирующие элементы, входящие в состав легированных сталей, особенно такие как Mo, W, Cr, Ti, V, сильно тормозят диффузионные процессы, происходящие при отпуске закаленной стали. Поэтому после отпуска при одинаковой температуре легированная сталь сохраняет более высокую твердость и прочность. Это делает легированные стали более теплостойкими, способными работать при повышенных температурах.

5.2. Характеристика основных видов химико-термической обработки

С целью повышения стойкости деталей машин применяются различные виды химико-термической обработки (ХТО). ХТО называется термическая обработка, заключающаяся в сочетании термического и химического воздействия с целью изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя стали. При ХТО происходит поверхностное насыщение стали соответствующим элементом (С, N, Al, Cr, Si и др.) путём его диффузии в атомарном состоянии из внешней среды (твёрдой, газовой, паровой, жидкой) при высокой температуре.

ХТО включает три последовательные стадии:

- 1) образование активных атомов в насыщающей среде вблизи поверхности или непосредственно на поверхности металла;
- 2) адсорбцию образовавшихся активных атомов поверхностью насыщения;
- 3) диффузию-перемещение адсорбированных атомов в решётке обрабатываемого металла.

Для повышения долговечности наиболее ответственных деталей машин широко используются процессы цементации (науглероживания), нитроцементации и азотирования. Несколько в меньшей степени применяется поверхностное насыщение бором, кремнием и алюминием.

Основные методы насыщения, применяемые при ХТО

1. Порошковый метод. Этот процесс нашёл применение в мелкосерийном и серийном производстве.

2. Прямоточный циркуляционный метод диффузионного насыщения из газовых сред.

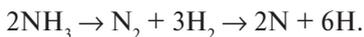
3. Диффузионное насыщение из расплавов металлов или солей, содержащих диффундирующий элемент (с электролизом или без электролиза). Жидкий метод позволяет сократить длительность технологического процесса, однако не всегда обеспечивает высокое качество поверхности и стабильность толщины диффузионного слоя.

4. Насыщение из паст и суспензий (шликерный способ). Не нашёл особого применения, но им можно воспользоваться для местного упрочнения поверхности и при обработке крупногабаритных деталей.

5. Диффузионное насыщение с использованием вакуума. Насыщение осуществляется из сублимированной фазы испарением диффундирующего элемента при высоких температурах в вакууме.

Развитие процесса диффузии приводит к образованию диффузионного слоя, под которым понимают слой материала детали у поверхности насыщения, отличающийся от исходного по химическому составу. Концентрация диффундирующего элемента уменьшается от поверхности в глубь металла. Материал детали под диффузионным слоем, не затронутый воздействием насыщающей активной среды, называют сердцевиной. Диффузионный слой и его качество характеризуют следующие параметры: фазовый состав и структура, толщина общая или эффективная, распределение по толщине слоя концентрации диффундирующего элемента, поверхностная твёрдость и распределение её по толщине слоя, поверхностная хрупкость, однородность, сплошность и равномерность распределения по конфигурации изделия диффузионного слоя, закаливаемость слоя.

Азотированием является ХТО, состоящая из диффузионного насыщения поверхностного слоя стали азотом и углеродом при нагревании в соответствующей среде. Азотирование чаще проводится при 500...600 °С (низкотемпературное азотирование) или при температурах 600...1100° (высокотемпературное азотирование) в зависимости от вида изделий и необходимой толщины азотированного слоя. Азотированию можно подвергать любые стали, а также чугуны. Средой, из которой диффундирует азот в сталь, является, как правило, аммиак, который диссоциирует по схеме:



Азотирование повышает твёрдость поверхностного слоя детали, его износостойкость, предел выносливости и сопротивление коррозии. Твёрдость азотированного слоя стали выше, чем цементированного и сохраняется при нагреве до высоких температур. Азотированный слой хорошо шлифуется и полируется.

Для азотирования используют печи периодического и непрерывного действия разных конструкций. К ним относятся шахтные, муфельные и безмуфельные печи, а также камерные печи. К печам, работающим по непрерывному циклу, относятся толкательные и конвейерные печи.

Цементацией называется химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стали углеродом при нагреве до 900...950 °С в углеродосодержащей среде (карбюризаторе). Окончательные свойства цементированные изделия приобретают после закалки и низкого отпуска. Назначение цементации — придать поверхностному слою высокую твёрдость и износостойкость, повысить предел выносливости на изгиб при сохранении вязкой сердцевины. Цементация широко применяется для упрочнения зубчатых колёс, валов коробки передач автомобилей и т. д. Для цементации детали поступают после механической обработки с припуском на грубое и окончательное шлифование. Во многих случаях цементации подвергается только часть детали, тогда участки, не подлежащие упрочнению, защищают тонким слоем меди, которую наносят электролитическим способом или изолируют специальными обмазками. Применяются следующие основные виды цементации:

- в твёрдом карбюризаторе;
- в газовом карбюризаторе (газовая цементация);
- в расплавленных солях (жидкая цементация).

Газовая цементация широко применяется для изделий массового производства. Для её осуществления используют обычно разбавленный природный газ, контролируемые атмосферы, получаемые в специальных генераторах, а также пары жидких углеводородов. Основной реакцией, обеспечивающей выделение свободного углерода, является диссоциация метана и оксида углерода по схеме:



В зависимости от состава газовой смеси в печи она может иметь различную науглероживающую способность (способность обеспечивать заданное содержание углерода в поверхностном слое). Достоинством газовой цементации является возможность регулирования этого фактора в заданных пределах. Скорость газовой цементации при температуре 930...950 °С составляет 0,12...0,15 мм/ч при толщине цементированного слоя до 1,7 мм.

В серийном производстве газовую цементацию обычно проводят в шахтных печах. Необходимая атмосфера создаётся при подаче в камеру печи жидкостей, богатых углеродом. В крупносерийном

и массовом производства цементацию проводят в безмуфельных печах непрерывного действия. В этих установках весь цикл ХТО полностью автоматизирован.

Нитроцементация – процесс диффузионного насыщения стали углеродом и азотом из газовой фазы (обычно газовой среды, применяемой при цементации, с незначительным добавлением аммиака). Температура нитроцементации примерно на 100 °С ниже, чем обычной цементации (840...860 °С), продолжительность процесса значительно меньше (4...10 ч), так как диффузия углерода существенно ускоряется в присутствии азота. Толщина нитроцементированного слоя составляет, как правило, 0,2...0,8 мм. После нитроцементации осуществляют закалку и низкий отпуск (160...180 °С). Конечная структура нитроцементированного слоя состоит из мелкокристаллического мартенсита, остаточного аустенита и небольшого количества дисперсных включений карбонитридов. Твёрдость слоя достигает 58...64 HRC при содержании азота до 0,4 % и углерода до 1,65 %. Нитроцементацию используют для тех же целей, что и обычную цементацию, при обработке стальных деталей сложной конфигурации, которые подвержены при обычной цементации короблению.

Диффузионная металлизация включает группу методов, при осуществлении которых поверхностный слой детали насыщается одним или несколькими металлами. Такое насыщение проводится из расплава основного диффундирующего металла или его солей, из газовой фазы, а также путём металлизации в вакууме. Наибольшее распространение получили методы алитирования и хромирования, а также комплексные методы насыщения титаном, ванадием, медью, вольфрамом, цирконием и другими металлами в сочетании с алюминием, хромом или неметаллами.

Алитирование (диффузионное насыщение алюминием) применяют для повышения жаростойкости и коррозионной стойкости деталей топливно-энергетического оборудования из углеродистых сталей. Процесс осуществляется в основном в порошковых смесях (порошок металлического алюминия с его оксидом и хлористым аммонием), расплаве алюминия или при отжиге стального изделия с алюминиевым покрытием. Температура процесса – от 720 °С (в расплаве) до 1050 °С (в порошковой смеси), длительность – от

15 мин до 12 ч в зависимости от требуемой толщины алитированного слоя. Структура слоя – твёрдый раствор алюминия в α -железе.

Диффузионное хромирование обеспечивает повышение коррозионной стойкости, окалиностойкости изделий, а при содержании углерода в стали 0,3...0,4 % – их твердости и износостойкости. Хромирование используют для изделий из сталей любых марок. Процесс осуществляется в основном из порошковой фазы (смесь феррохрома, оксида алюминия и хлористого алюминия) при температуре 950...1100 °С и продолжительности выдержки 6...12 ч. Структура диффузионного слоя – тонкий слой карбидов хрома (0,025...0,03 мм) и переходной слой, обогащённый углеродом. Твёрдость поверхностного слоя изделий достигает 1200...1300 HV при толщине до 0,3 мм. Хромирование назначают при обработке деталей пароводяной арматуры, работающих в условиях интенсивного изнашивания в агрессивных средах, а также инструмента.

Некоторые металлы и неметаллы вводят в поверхностный слой стальных изделий комплексно. К таким методам их диффузионного насыщения относят хромотитанирование (применяется для упрочнения твёрдосплавного инструмента), хромосилицирование (для деталей подвижных сопряжений машин), хромоалитирование (для пресс-форм), борохромирование и боросульфидирование (для штампов), карбованадийтитанирование (для упрочнения инструмента на глубину до 3 мм), цирконотитанирование и цирконосилицирование (для инструмента и деталей химического оборудования). Указанные методы обработки позволяют достигать более эффективного повышения свойств поверхностного слоя деталей в сравнении с насыщением только одним элементом. Однако технология комплексного диффузионного насыщения вследствие сложности применяется пока в машиностроении ограниченно.

Высокоэнергетические методы химического модифицирования поверхностных слоев стальных изделий

Наиболее перспективными методами модифицирования поверхностных слоев машиностроительных деталей являются ионно-диффузионное модифицирование в тлеющем разряде, ионная имплантация (ионное легирование), а также комбинации ионно-плазменных методов с лазерной или электронно-лучевой обработкой.

Ионное азотирование реализуется в тлеющем разряде постоянного напряжения в среде азота или аммиака. Ионы азота, ударяясь об обрабатываемую стальную деталь, являющуюся катодом, осаждаются на ней, а затем диффундируют вглубь, так как поверхность катода разогревается при бомбардировке ионами с энергией в несколько сот электронвольт до 500...600 °С. При соударении ионов с поверхностью детали происходит ее очистка от адсорбированных и оксидных пленок, препятствующих проведению обычного азотирования некоторых сталей, например коррозионно-стойких. Длительность ионного азотирования сокращается по сравнению с обычным азотированием, температура процесса снижается, а механические свойства поверхностного слоя повышаются.

Кроме азотирования ионно-диффузионными методами, могут быть осуществлены цементация, силицирование, борирование и комплексное насыщение (карбонитрирование и т. д.) поверхностных слоев стальных изделий модифицирующими элементами.

Ионная имплантация основана на том, что при повышении энергии бомбардирующих ионов последние проникают внутрь кристаллической решетки металла, легируя поверхностный слой и упрочняя его за счёт искажения решётки. Энергия ионов при имплантации составляет 10...200 кэВ, а плотность ионных пучков — 10^{15} ... 10^{18} частиц на 1 см^2 . С помощью ионной имплантации можно осуществить азотирование, борирование, оксидирование поверхностного слоя изделий и легирование его различными металлами. При ионной имплантации износ- и коррозионная стойкость поверхностных слоёв стальных деталей повышаются без изменения размеров последних.

При реализации данного метода можно получить в поверхностном слое такие фазы, которые невозможны в равновесном состоянии, например из-за ограниченной взаимной растворимости компонентов. Основными недостатками метода являются относительно высокая стоимость оборудования, невозможность обработки изделий сложной формы, а также малая толщина имплантированного слоя.

К перспективным методам поверхностного модифицирования конструкционных материалов относят лазерное поверхностное и электронно-лучевое легирование.

Лазерное поверхностное легирование характеризуется, как и лазерная закалка, интенсивным кратковременным тепловым воздействием на поверхностный слой изделия, которое зависит от плотности энергии лазерного излучения, подводимой к поверхности, и длительности облучения. При лазерном легировании тепловое воздействие сочетается с подведением к поверхности изделия легирующих элементов. Для этого на обрабатываемую лазером поверхность предварительно наносят тонкое покрытие из легирующего элемента (например, методом плазменного напыления или электролитическим) или осуществляют ионную имплантацию легирующего элемента в поверхностный слой перед лазерной обработкой. Возможна и одновременная подача легирующего элемента в зону обработки в момент лазерного облучения. Лазерная обработка вызывает проплавление поверхностного слоя и смешивание легирующего элемента с материалом основного слоя. Последующая скоростная кристаллизация в металле завершается образованием метастабильных фаз, состав которых может резко отличаться от равновесного.

Лазерное легирование углеродистых сталей позволяет получать поверхностные слои изделий с требуемыми структурой и комплексом свойств. Хорошие результаты достигнуты при обработке сканирующим лазерным лучом стальных изделий, покрытых порошками хрома и никеля; при этом существенно повышаются износостойкость и коррозионная стойкость изделий.

Электронно-лучевое поверхностное легирование сталей осуществляется в вакууме при облучении изделия потоком электронов. Оно даёт результаты, сходные с результатами лазерного легирования. Возможно как предварительное, так и одновременное подведение легирующих элементов в зону обработки.

Применение электронно-лучевого и лазерного легирования, а также ионно-плазменных методов упрочнения сталей ограничено из-за высокой стоимости и сложности технологического оборудования. Однако потенциальные возможности высокоэнергетических методов модифицирования поверхностных слоёв металлических изделий очень высоки, что обуславливает их достаточно широкое внедрение в машиностроении.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется термической обработкой металлов и сплавов?
2. Какие виды упрочняющей термической обработки конструкционных и инструментальных сталей используются в промышленности?
3. Какие вещества обычно используют в качестве закалочных сред?
4. В чем состоит особенность поверхностной закалки?
5. Какую цель преследует отжиг металла?
6. Какого рода отжиг металла применяется для конструкционной стали?
7. Какая операция называется отпуском закаленной стали?
8. Чем отличается отпуск металла от отжига металла?
9. Какого вида отпуск применяется для обработки закаленной стали?
10. Какой процесс называется химико-термической обработкой?
11. Какие три последовательные стадии включает химико-термическая обработка?
12. Что такое «цементация», «азотирование» и «нитроцементация»?
13. Какие виды диффузионной металлизации применяют для изменения свойств поверхностного слоя металла?
14. Какие высокоэнергетические методы химического модифицирования поверхностных слоев стальных изделий применяются на практике?

Глава 6. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

6.1. Гальванические покрытия поверхности деталей

На авторемонтных предприятиях широко применяются гальванические процессы. Они используются для компенсации износа рабочих поверхностей, а также при нанесении на детали противокоррозионных и защитно-декоративных покрытий. Из гальванических процессов распространены хромирование, железнение (осталивание), никелирование, цинкование, меднение.

Гальванические покрытия получают из электролитов, в качестве которых применяют водные растворы металлов, которыми необходимо покрыть детали (рис. 6.1). Катодом при гальваническом осаждении металлов из электролитов является восстанавливаемая деталь, анодом – металлическая пластина. Применяются два вида анодов: растворимые и нерастворимые. Растворимые аноды изготавливаются из металла, который осаждается на деталь, нерастворимые аноды – из свинца.

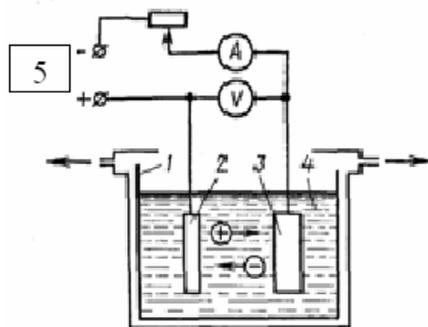


Рис. 6.1. Схема нанесения гальванического покрытия:
1 – ванна из диэлектрика; 2 – анод растворимый; 3 – катод (изделие);
4 – электролит; 5 – источник тока

Одним из основных требований, предъявляемых к качеству гальванических покрытий, является равномерность распределения

осадка металла, т. е. одинаковая толщина слоя покрытия по всей поверхности детали. Практически толщина покрытия на краях и углах гораздо больше, чем на средней части поверхности детали (катода). Эта неравномерность зависит от многих факторов, в том числе от состава электролита, плотности тока, межэлектродного расстояния, взаимного расположения электродов и др. Способность электролита давать равномерные по толщине покрытия на катодах сложной формы называется рассеивающей способностью ванны.

При прохождении постоянного тока через электролит на катоде разряжаются положительно заряженные ионы, выделяются металл и водород. На аноде при этом происходит разряд отрицательно заряженных ионов и выделяется кислород. Металл анода растворяется и переходит в раствор в виде ионов взамен выделившихся на катоде. Толщина гальванических покрытий зависит от рассеивающей способности электролита, а рассеивающая способность – от степени равномерности распределения силовых линий, идущих от анода к катоду. С количественной стороны явления электролиза подчиняются законам Фарадея.

1. Вес вещества, выделяющегося на электроде, пропорционален количеству электричества, прошедшему через электролит, или пропорционален току и времени его пропускания. Коэффициент называется электрохимическим эквивалентом.

2. Электрохимические эквиваленты пропорциональны грамм-эквивалентам выделяющихся при электролизе веществ.

Практически в большинстве случаев вес металлического осадка, полученный на катоде, оказывается меньше, чем вычисленный согласно законам Фарадея. Это объясняется тем, что при электролизе на катоде, кроме металла, выделяется водород или происходят другие восстановительные процессы (без выделения каких-либо веществ), на которые затрачивается часть тока.

Хромирование. Процесс нанесения включает три группы операций: 1) подготовка детали к нанесению (механическая обработка, очистка от окислов и предварительное обезжиривание, монтаж на подвесное приспособление, изоляция поверхностей, не подлежащих наращиванию, повторное обезжиривание, анодная обработка или активация);

- 2) нанесение покрытия. В качестве электролита при хромировании применяется водный раствор хромового ангидрида (H_2SO_4 ; Cr_2O_3 , концентрация 1:100);
- 3) обработка после покрытия (нейтрализация деталей от остатков электролита, промывка деталей в холодной и горячей воде, демонтаж с подвесного приспособления, удаление изоляции, сушка деталей, термообработка при необходимости, механическая обработка).

Хромирование применяется для компенсации износа деталей, а также в качестве антикоррозионного и декоративного покрытия. Электролитический хром имеет большую износостойкость и высокую кислотостойкость, теплостойкость, твёрдость, прочность сцепления с любыми металлами. Кроме того, хромовое покрытие снижает усталостную прочность детали на 20...30 %.

Недостатки: низкая производительность процесса (0,03 мм/ч), невозможность восстановления деталей с большим износом, так как хромовое покрытие большой толщины (более 0,5 мм) имеет пониженные механические свойства, высокая стоимость процесса.

Свойства хромовых покрытий зависят от режима хромирования, плотности тока и температуры электролита. Изменяя соотношение плотности тока и температуру, можно получить три вида хромовых покрытий, различающихся по своим свойствам: матовые, блестящие и молочные. Хромированием восстанавливают изношенные шейки валов под кольца подшипников качения, шейки поворотных кулаков, стержни клапанов и другие детали, а также изношенный мерительный инструмент (скобы, шаблоны, калибры и др.) и детали приспособлений. Защитно-декоративному хромированию подвергают буферы, ободки фар, рамки, различные декоративные накладки (рис. 6.2).

Железнение (осталивание) – процесс получения твёрдых износостойких железных покрытий из горячих хлористых электролитов. При ремонте автомобилей железнение применяют для восстановления изношенных поверхностей деталей. По сравнению с хромированием у железнения КПД в 6 раз больше, т. е. процесс железнения имеет преимущественно высокий выход металла по току (в 5...6 раз выше, чем при хромировании), большую скорость нанесения пок-

рытия (в 15 раз выше, чем при хромировании), высокую износостойкость (не ниже, чем у стали 45).



Рис. 6.2. Защитно-декоративные покрытия деталей, нанесенные гальваническим способом

В качестве электролита применяют водный раствор хлористого железа, содержащий небольшое количество соляной кислоты и некоторые другие компоненты для увеличения прочности сцепления (например, хлористый марганец) и повышения износостойкости (хлористый никель). Железные производят растворимыми анодами, которые изготавливают из малоуглеродистой стали (сталь 08; 10). Изменяя концентрацию компонентов и температуру электролита, а также плотность тока, можно получить покрытия с разными свойствами. Например, при электролите с малой концентрацией и низкой температурой и при большой плотности тока получается тонкое, но достаточно твердое покрытие.

Проведение железнения в ваннах затрудняет его использование для крупногабаритных деталей, например корпусных, поэтому применяют процесс вневанного проточного железнения. В этом случае

электролит насосом прокачивают через электролизную ячейку, образованную восстанавливаемой поверхностью и уплотнителями.

На авторемонтных предприятиях получили широкое применение многослойные катодные защитно-декоративные покрытия. Например, четырёхслойные покрытия, которые получают последовательным нанесением различных металлов (никель, медь, хром и снова никель). Технологический процесс нанесения защитно-декоративных покрытий не отличается от процесса нанесения износостойких покрытий, но в процесс подготовки детали включается операция полирования, которая производится войлочными кругами с применением пасты.

Меднение как самостоятельный способ восстановления деталей не применяется. Медь — сравнительно мягкий металл с высокими пластическими свойствами, и в атмосферных условиях она легко окисляется. В ремонтном производстве этот процесс используют для получения подслоя при защитно-декоративном хромировании, а также для покрытия отдельных мест деталей, не подлежащих цементации. Толщина слоя составляет около 0,04 мм. Применение медного подслоя снижает расход никеля и хрома и уменьшает пористость многослойного покрытия. Использование его уменьшает также трудоемкость подготовительных работ, так как медь легко полируется.

Медные покрытия наносят в кислых и цианистых электролитах. Цианистые электролиты на ремонтных предприятиях почти не применяются, так как входящие в их состав цианистый натрий или цианистый калий являются сильнейшими и очень опасными ядами, работа с которыми требует особой осторожности и специальных условий.

Для меднения применяют стальные сварные ванны, футерованные внутри кислотостойкими материалами. Детали, подлежащие покрытию, завешивают на катод. Анодом служат пластины из катодной электролитической меди.

Никелирование. Никель — металл серебристо-белого цвета. Никелевые покрытия обладают коррозионной стойкостью в растворах ряда органических кислот и минеральных солей. Они устойчивы в растворах щелочей любой концентрации. Никелевые покрытия имеют мелкокристаллическую структуру и прекрасно полируются.

Никелевые покрытия пористые и поэтому не защищают стальные детали от коррозии в атмосферных условиях, агрессивных средах, так как в гальванической паре никель – железо никель является катодом. Никелевые покрытия применяют как подслои при защитно-декоративном хромировании.

Следует отметить, что каждое в отдельности гальваническое покрытие меди, никеля и хрома почти всегда обладает некоторой пористостью. В связи с этим при защитно-декоративном хромировании применяют осаждение нескольких слоев различных металлов. Беспористость многослойных покрытий обусловлена тем, что поры смежных слоев гальванических покрытий не совпадают.

Никелирование производят в стальных сварных ваннах, имеющих внутри такую же кислотостойкую футеровку, как и ванны для сернокислого меднения. Анодом служат никелевые пластины. Существует много различных электролитов для никелирования. Наибольшее распространение получили сернокислые электролиты. Для интенсификации процесса никелирования применяют никелевые ванны с подогревом, интенсивным перемешиванием электролита и непрерывной фильтрацией раствора для очистки от механических примесей. Это позволяет повысить плотность тока при никелировании и увеличить производительность процесса в 8 раз. Для сокращения времени осаждения никеля применяют также реверсирование тока (периодическое изменение полярности электродов) на ванне. Реверсирование позволяет увеличить плотность тока. При реверсировании тока никелевое покрытие получается более гладким и ровным и менее пористым, чем без реверсирования. Реверсирование осуществляют с помощью специальных устройств. Выход по току при никелировании составляет 70...95 %.

Качество нанесения покрытия зависит от прочности сцепления покрытия с основой. Существует много разных способов оценки прочности сцеплений покрытия.

1. На хромированной поверхности детали от руки наносят стальным лезвием ряд пересекающихся между собой царапин с таким расчетом, чтобы глубина их достигала основного металла. Количество царапин и расстояние между ними не ограничивается. Если покрытие в местах пересечения царапин не отслаивается и не задирается, сцепление с основным металлом считается хорошим.

2. Абразивным кругом сошлифовывают часть покрытия с поверхности детали. После этого слой покрытия не должен иметь рваную кромку или отслаиваться.

3. Если деталь выполнена из листового материала, то хромированный образец ее изгибают под углом 90...180° несколько раз до излома. Сцепление считается хорошим, если прочная связь покрытия с основным металлом сохранилась на 95 % длины излома.

4. Часто для оценки прочности сцепления используют удар бойка, свободно падающего с определенной высоты. При ударе покрытие не должно отслаиваться.

6.2. Электрохимическое микродуговое оксидирование

Микродуговое оксидирование (МДО) – один из наиболее перспективных видов поверхностной обработки изделий из металлов и сплавов, получивших в последнее время широкое распространение в различных отраслях промышленности для формирования многофункциональных износостойких, коррозионно-стойких, диэлектрических и теплостойких керамических покрытий, а также декоративных покрытий.

Микродуговое оксидирование берет своё начало от традиционного анодирования, однако имеет ряд существенных отличий, а именно: процесс ведется при напряжениях на 1...2 порядка выше (до 1000 В); используются в основном не постоянный, а переменный и импульсный токи; применяются, как правило, не кислотные, а слабощелочные электролиты.

Главной отличительной особенностью МДО является использование энергии электрических микрозарядов, хаотично мигрирующих по поверхности обрабатываемых в электролите изделий и оказывающих термическое и плазмохимическое воздействие на само покрытие и электролит.

Характерные особенности процесса МДО:

- высокие температуры в разрядных каналах и, как следствие, образование в покрытии высокотемпературных фаз, например, корунда для алюминиевых сплавов в электролитах, содержащих растворимые алюминаты;

- термическая деструкция воды с образованием атомарного и ионизированного кислорода;
- локальное увеличение концентрации электролита и специфические плазмохимические реакции в зоне разряда;
- локальная последовательная переработка в разряде оксидов, сформированных электрохимическим путем.

Основные преимущества МДО:

- экологичность электролитов;
- отсутствие специальной предварительной подготовки поверхности перед нанесением покрытий;
- простота технологии и компактность оборудования.

Состав, структура и свойства формируемых МДО-покрытий определяются природой обрабатываемого материала и технологическими параметрами процесса: электролитом, режимом и продолжительностью обработки.

Технология микродугового оксидирования применяется для обработки таких металлов, как Al, Mg, Ti, Ta, Nb, Zr, Be и их сплавов, чьи оксидные пленки, формируемые электрохимическим путем, обладают униполярной проводимостью в системе металл – оксид – электролит.

МДО-покрытия применяются в машиностроении, приборостроении, аэрокосмической отрасли, автомобилестроении, медицине, пищевой промышленности, строительстве, в электронике и электротехнике, нефтехимической промышленности.

Технология микродугового оксидирования для формирования защитных покрытий

Отличительной особенностью микродугового оксидирования является участие в процессе формирования покрытия поверхностных микрозарядов, оказывающих весьма существенное и специфическое (термическое, плазмохимическое и др.) воздействие на формирующееся покрытие и электролит, в результате чего состав и структура получаемых оксидных слоев существенно отличаются, а свойства значительно выше в сравнении с обычными анодными пленками. Другими положительными отличительными чертами процесса МДО являются его экологичность, относительная универ-

сальность, а также отсутствие необходимости тщательной предварительной подготовки обрабатываемой поверхности в начале технологической цепочки.

Покрyтия, получаемые на алюминии и его сплавах в силикатно-щелочных электролитах, имеют, как правило, трехслойную структуру и неравномерное распределение компонентов. Они состоят из: 1 – тонкого переходного слоя; 2 – основного рабочего слоя с максимальной твердостью и минимальной пористостью, основной фазой которого является корунд; 3 – наружного технологического слоя, обогащенного алюмосиликатами (рис. 6.3).

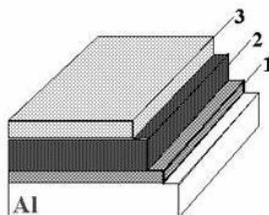


Рис. 6.3. Структура МДО-покрытия на алюминии

Свойства МДО-покрытий определяются их составом и структурой, которые, в свою очередь, зависят от материала основы, состава электролита и режима обработки. МДО-покрытия, получаемые на алюминиевых сплавах, характеризуются следующими параметрами:

- толщина – до 400 мкм;
- микротвердость – до 250 МПа;
- пробойное напряжение – до 6000 В;
- теплостойкость – выдерживает тепловой удар до 2500 °С;
- коррозионная стойкость – 1-й балл по десятибалльной шкале;
- износостойкость – на уровне твердых сплавов;
- пористость – от 2 до 50 % (регулируемая).

Многофункциональность МДО-покрытий определяет их применение в различных отраслях промышленности в самых разных узлах оборудования (запорная арматура, детали насосов и компрессоров, пресс-оснастка, детали двигателей внутреннего сгорания и многое другое) для повышения износостойкости, коррозионно-защитных свойств, диэлектрических, теплозащитных и декоративных характеристик. В авиационной и автомобильной промышленности нанесение покрытий на детали цилиндра-поршневой группы, в частности на поршни двигателей внутреннего сгорания (рис. 6.4), позволяет защитить их от высокотемпературной газовой эрозии и снизить тем-

пературу металла основы примерно в 1,5 раза. Это относится также к лопаткам турбин и соплам реактивных двигателей. В приборостроении, электротехнической и электронной промышленности МДО-покрытия нашли применение в качестве антидиффузионных слоев нагревательных систем, используемых в производстве чипов; диэлектрических слоев теплоотводов интегральных микросхем.



Рис. 6.4. Поршни ДВС с МДО-покрытием

*Оборудование для микродугового оксидирования
алюминиевых деталей*



Рис. 6.5. Установка для МДО алюминиевых изделий:
1 – шкаф электролитической ванны; 2 – специальный источник питания;
3 – комплект ванн для обезжиривания и промывки;
4 – система замкнутого водооборота

Оборудование для микродугового оксидирования алюминиевых деталей (МДО) предназначено для получения керамических покрытий на деталях из любых алюминиевых сплавов, прессованных из порошка алюминия, а также на алюминиевых покрытиях, нанесенных на стальную подложку (рис. 6.5).

Технология предусматривает использование микродуговых разрядов для поверхностной переработки алюминия в оксиды высокотемпературных модификаций без изменения геометрических размеров деталей любой конфигурации (покрытие «растет» внутрь изделия). Данная установка широко применяется в машиностроении, химической, нефтедобывающей, текстильной, табачной и других отраслях промышленности.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие типы гальванических процессов наиболее широко применяются на авторемонтных предприятиях?
2. В чем заключается сущность получения гальванического покрытия из электролита?
3. Какие технологические операции выполняются при нанесении гальванического покрытия?
4. С какой целью осуществляют хромирование поверхностей деталей?
5. С какой целью осуществляют никелирование поверхностей деталей?
6. Как проводят контроль качества нанесенного гальванического покрытия?
7. В чем заключается отличие традиционного анодирования от процесса микродугового оксидирования?
8. Каковы преимущества процесса МДО?

Глава 7. ТИПОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

7.1. Ремонт кузовных деталей, рам и кабин сваркой

Кузова современных легковых автомобилей представляют собой сложную пространственную систему, рассчитанную на статические нагрузки, динамическую прочность и жесткость. Являясь несущим, кузов воспринимает нагрузки через тонкостенные элементы силового каркаса, а также внутренние и наружные панели. В нормальных условиях эксплуатации такие кузова надежно служат по 10...12 лет и более. Однако при дорожно-транспортных происшествиях и при езде на повышенных скоростях по выбитым дорогам в кузове возникает остаточная деформация или разрывы элементов. Такие дефекты кузовов подлежат восстановлению, в том числе методами сварки.

В зависимости от степени деформации кузова устанавливается следующая классификация перекосов.

1. Перекос проема – боковой двери, ветрового окна или заднего окна – это повреждение кузова с нарушением геометрических параметров проема сверх допустимого предела.

2. Несложный перекоз кузова – повреждение кузова с нарушением геометрических параметров проема капота или крышки багажника (двери задка) сверх допустимого предела без нарушения геометрии основания кузова, каркаса салона, дверных и оконных проемов, за исключением зазоров дверей с передними и задними крыльями.

3. Перекоз кузова средней сложности – одновременное нарушение геометрических параметров проемов капота и крышки багажника (двери задка) или повреждение кузова с нарушением геометрических параметров передних или задних лонжеронов сверх допустимого предела без нарушения геометрии каркаса салона (при отсутствии в конструкции автомобиля поперечины переднего моста – только задних лонжеронов).

4. Сложный перекоз кузова – одновременное нарушение геометрических параметров передних и задних лонжеронов, повреждение кузова с нарушением геометрических параметров передних или

задних лонжеронов и каркаса салона или только передних лонжеронов для автомобилей, в конструкции которых отсутствует поперечина переднего моста (сверх допустимого предела).

5. Перекос кузова особой сложности — повреждение кузова с нарушением геометрических параметров передних и задних лонжеронов и каркаса салона сверх допустимого предела.

Кроме того, к дефектам кузовов, кабин и рам автомобилей и тракторов относятся такие повреждения:

- усталостные трещины, в том числе в сварных швах;
- ослабление резьбовых и заклепочных соединений;
- коррозионное разрушение;
- разрывы металла;
- прогибы, вмятины.

Анализируя параметры классификации дефектов кузова, можно сделать вывод: восстановить геометрию кузова и его проемов, устранить перекосы возможно только с помощью специального оборудования, при этом используя в ремонтных операциях методы гидравлической и ручной правки, а также сварочные работы с последующим контролем всех геометрических параметров кузова.

В зависимости от степени повреждения или коррозионного разрушения кузовной детали предусматриваются следующие виды ремонта при снятых узлах и деталях, препятствующих проведению рихтовочных, сварочных и окрасочных работ:

- ремонт 0 — устранение повреждений на лицевых поверхностях кузова без повреждения окраски;
- ремонт 1 — устранение повреждений в легкодоступных местах (поверхности детали);
- ремонт 2 — устранение повреждений со сваркой, или ремонт 1 на поверхности детали, деформированной до 50 %;
- ремонт 3 — устранение повреждений со вскрытием и сваркой, частичной реставрацией детали до 30 %;
- ремонт 4 — устранение повреждений с частичной реставрацией детали на поверхности свыше 30 %;
- частичная замена — замена поврежденной части детали кузова ремонтной вставкой (из номенклатуры запасных частей);
- замена — замена поврежденной детали кузова деталью из запасных частей;

- крупноблочный ремонт — замена поврежденных частей кузова блоками деталей от выбракованных кузовов с разметкой, отрезкой, подгонкой, вытяжкой, рихтовкой, сваркой последних.

Из всей гаммы ремонтных работ при восстановлении кузова автомобиля около 30 % занимают работы, связанные со сваркой, — заварка трещин, вварка заплат, приварка элементов и т. д.

При ремонте кузовов и рам автомобилей применяются в основном четыре способа сварки:

- 1) механизированная сварка в среде углекислого газа;
- 2) газокислородная;
- 3) контактная точечная;
- 4) сварка «электрозаклепками».

Наиболее подходящим способом сварки для проведения кузовного ремонта является полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в среде углекислого газа.

Механизированная сварка при ремонте кузова

Преимущество ее состоит в том, что сварщик, работая, может лучше наблюдать за ходом процесса и горением дуги. Достоинствами этой сварки также являются хорошее использование тепла сварочной дуги, вследствие чего обеспечивается высокая производительность; возможность вести ее во всех пространственных положениях; ремонтировать малые толщины; осуществлять на весу и без подкладки.

При ремонте кузова применяют проволоку марок Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС и другие диаметром 0,8 и 1 мм. Более высокими сварочными свойствами обладает проволока Св-08Г2С, позволяющая получать плотные швы без пористости, поскольку в ее составе присутствует достаточно большое количество раскислителей — марганца и кремния.

Для сварки используется сжиженный углекислый газ (пищевая углекислота), поставляемый в баллонах черного цвета с желтой надписью под невысоким (5...6 МПа) давлением. В стандартный баллон вместимостью 40 л заливается 25 кг углекислоты, из которой образуется 12,725 м³ газа. Этого количества газа хватает на 12...15 часов непрерывной работы.

В качестве оборудования при сварке кузовов, кабин и оперения применяют полуавтоматы MIG 305C/S; ПДГ-270; ПДГ-3020;

ПДГ-525 А-547У, А-825 и другие (рис. 7.1), рассчитанные на подачу электродной проволоки диаметром 0,8...1,2 мм. Эти полуавтоматы комплектуются малыми и большими горелками, предназначенными для сварки токами соответственно 150 и 300 А.



Рис. 7.1. Сварочные полуавтоматы, применяемые для ремонта кузовов и кабин автотранспорта и тракторов сваркой в среде защитных газов:
1 – MIG 305C/S; 2 – ПДГ-270; 3 – ПДГ-3020; 4 – ПДГ-525

Из всех полуавтоматов самый малогабаритный и легкий подающий механизм имеет полуавтомат А-547У, который позволяет подвешивать его на плечо сварщика, но лучше все-таки его закреплять вместе с катушкой проволоки на тележке, удобной для перемещения. Пульт управления полуавтоматом монтируется на передней стенке источника питания, в качестве которого обычно используют выпрямитель ВС-300 (рис. 7.2).

Прежде чем приступить к сварке в среде углекислого газа, необходимо позаботиться о подготовке проволоки, деталей, а на образцах проверить правильность выбранного режима. Применяемая для сварки электродная проволока должна быть очищена от ржавчины, так как



Рис. 7.2. Полуавтомат сварочный А-547У в комплекте с выпрямителем ВС-300Б

ее наличие нарушает процесс. С завода-изготовителя проволока поступает на предприятие-потребитель обычно чистой. Поэтому, чтобы избежать лишних операций по ее очистке, следует сразу же эту проволоку положить на хранение в сухое проветриваемое помещение. А тонкий слой смазки, имеющейся на проволоке, можно снимать перед сваркой при помощи нескольких резиновых колец, через которые пропускают проволоку, прежде чем направить ее в подающий механизм.

Чтобы избежать нарушения процесса сварки, выходящий конец электродной проволоки должен иметь плотный контакт с токоподводящим наконечником, диаметр отверстия которого может быть лишь на 0,2...0,3 мм больше диаметра проволоки.

Если подлежащие ремонту кузов, кабина или оперение поступают на сварку вскоре после снятия с них краски и мойки, то практически дополнительная подготовка не требуется, кроме как рихтовка соответствующих поверхностей и хорошая подгонка мест сварки. Если же они имеют ржавчину или другие загрязнения, то их следует зачистить стальной щеткой. Основными параметрами режима сварки являются сила сварочного тока, напряжение дуги, скорость подачи и вылета электродной проволоки. Силу сварочного тока устанавливают в зависимости от диаметра применяемой проволоки и толщины свариваемого металла.

Механизированную сварку кузовных деталей толщиной 1...1,5 мм ведут на следующих режимах: сила тока – 100...120 А, напряжение – 18...20 В, расход газа – 6...9 л/мин, вылет электрода – 9...13 мм.

Уменьшение или повышение напряжения приводит к чрезмерному укорочению или удлинению дуги и нарушает процесс сварки. Величина напряжения имеет особенно важное значение при сварке тонкого металла. Скорость подачи проволоки подбирают практически так, чтобы дуга горела устойчиво при данном токе и напряжении.

Расход углекислого газа должен обеспечивать надежную защиту сварочной ванны от окружающего воздуха. В зависимости от этого условия определяется и наиболее целесообразное положение мундштука относительно поверхности сварочной ванны. Расстояние между мундштуком и поверхностью детали при напряжении 18...20 В сохранять в пределах 8...13 мм, а угол наклона электрода к вертикали – 15...20°.

Перемещение электрода должно быть равномерным на протяжении всей сварки и без поперечных колебаний. Лучше вести ее «углом вперед», это уменьшает глубину проплавления основного металла и увеличивает ширину валика. При сварке стыковых соединений из тонкого металла лучше, если между деталями зазора вообще не будет, во всяком случае, он должен быть минимальным, не более 0,5 мм. При невозможности обеспечить это условие необходимо во избежание прожогов подкладывать под свариваемые детали шину (подкладку) из меди.

С течением времени даже при хорошо отлаженном режиме сварка может разладиться: начинается разбрызгивание металла, менее устойчиво горит дуга, заедает проволока. Эти неполадки происходят из-за чрезмерной выработки отверстия мундштука, засорения спирали шланга металлическими частицами. Чтобы предупредить это, необходимо периодически, один раз в месяц, извлекать спираль из шланга и промывать ее в керосине.

Пример выполнения сварочных работ на кузове автомобиля приведен на рис. 7.3.



Рис. 7.3. Заваренный участок переднего лонжерона кузова автомобиля механизированной сваркой в среде углекислого газа

При газовой сварке кислородно-ацетиленовым пламенем панелей кузовов и крыльев автомобилей применяются инжекторные горелки типа ГС-53 с наконечниками № 1 и 2. Диаметр присадочной проволоки (d) при толщине свариваемого металла (S) менее 10 мм принимают по эмпирической формуле

$$d = 0,5 \times S + 1 \text{ мм.}$$

Угол наклона горелки к свариваемой поверхности также зависит от толщины металла. При увеличении толщины металла нужна большая концентрация тепла и, соответственно, больший угол наклона горелки относительно ремонтируемой поверхности.

Технология заварки трещин зависит от их длины. Участок, где обнаружена трещина, при необходимости предварительно выправляют ударным и опорным инструментом, зачищают до металлического блеска и с помощью мело-керосиновой пробы устанавливают границы протяженности трещины. Окончания трещины следует зашлифовать сверлом диаметром 3...5 мм.

При коротких трещинах, выходящих на кромку детали, сварку ведут в направлении к кромке и усиливают приваркой к кромке шва (с обратной стороны детали) полоски стали толщиной 3...4 мм и шириной 10...12 мм.

Если трещина расположена между двумя заклепочными отверстиями или от заклепочного отверстия выходит на кромку, заклепки следует удалить, заварить трещину, после чего разделить отверстия и снова заклепать.

Дуговая сварка электрозаклепками

При сварке электрозаклепками в большинстве случаев применяется дуговой процесс без перемещения дуги и без подачи электродной проволоки в зону дуги. Сварка электрозаклепками осуществляется с помощью переносных или стационарных электрозаклепочников. Как правило, электрозаклепками соединяют свариваемые детали внахлестку. Сущность процесса состоит в следующем.

Электродная проволока или стержень из электродной проволоки диаметром 3...6 мм укрепляется в специальном держателе-электрозаклепочнике с контактным наконечником и закорачивается на изделии в месте постановки заклепки. Затем вся зона вокруг элект-

трода засыпается сварочным флюсом или защищается подаваемым в зону контакта углекислым газом. Напряжение от источника питания постоянного или переменного тока подводится к свариваемой детали и к электроду через токоподводящий наконечник заклепочника. Возбуждается дуга, которая оплавляет конец электрода и проплавляет поверхность изделия. Дуга горит, оплавляя электрод, и таким образом удлиняется до тех пор, пока не наступит ее естественный обрыв. Полученный расплавленный электродный металл вместе с металлом изделия образуют при кристаллизации заклепку. Соединение электрозаклепками получается достаточно прочное, выглядит внешне аккуратнее, чем крепление саморезами или болтами.

Рама автомобиля

Рама предназначена для крепления кузова и всех механизмов автомобиля. Рама воспринимает вертикальные нагрузки от веса автомобиля, толкающие и скручивающие усилия, возникающие при движении, а также находится под воздействием динамических нагрузок (толчков и ударов) при переезде дорожных неровностей. Раму имеют все грузовые автомобили, легковые автомобили высшего класса и некоторые автобусы. На современных автомобилях применяются рамы двух типов — лонжеронные и хребтовые (рис. 7.4). Первые имеют наибольшее распространение.

Рама автомобиля штампованная, клепаная, состоит из двух лонжеронов швеллерного сечения, переменных по длине, соединенных поперечинами. В передней части рама снабжена передним буфером с двумя буксирными вилками. На задней поперечине рамы грузовых автомобилей установлено тягово-сцепное устройство с резиновыми упругими элементами, обеспечивающими двухстороннюю амортизацию. Автомобили различных моделей и комплектаций имеют рамы, различающиеся длиной в зависимости от базы; количеством и конструкцией поперечин; усилительными накладками и их конструкцией; кронштейнами и их положением.

Рама может иметь следующие дефекты: погнутость продольных балок и поперечин, повреждение кронштейнов, ослабление посадки заклепок в отверстиях, износ отверстий заклепок, трещины, проходящие через заклепочные отверстия и в сплошном металле.

Плотность заклепочных соединений проверяется обстукиванием головок заклепок молотком. Если заклепки утратили прессовые посадки, они свободно перемещаются в отверстиях.

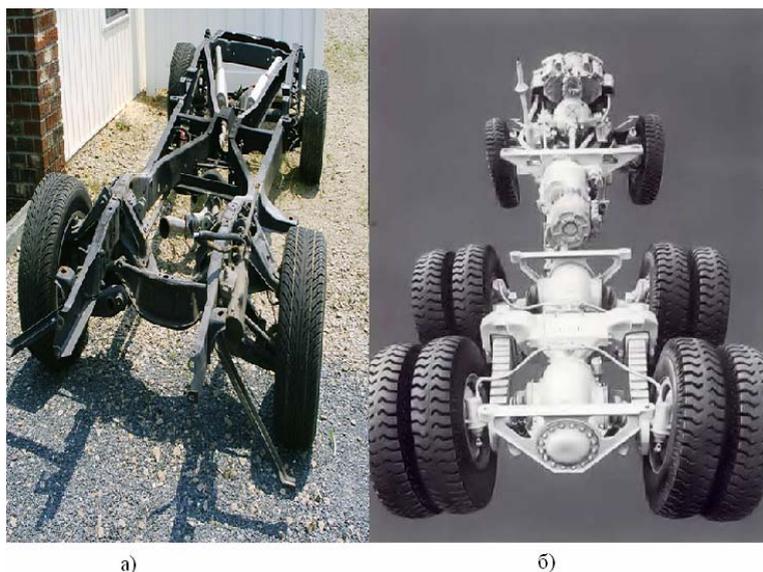


Рис. 7.4. Типы рам автомобилей: *а* – лонжеронная; *б* – хребтовая

Погнутость продольных балок определяется по кривизне верхней полки. Она должна быть не более 2 мм на длине 1000 мм и 5 мм на всей длине балки. Погнутость балок и поперечин устраняется правкой без нагрева на прессе с помощью специального приспособления.

Трещины в продольных балках и поперечинах по концам засверливаются сверлом диаметром 5 мм, разделяются и завариваются. Заварка трещин может производиться ручной дуговой сваркой электродами МР-3 или УОНИ 13/55 диаметром до 4 мм на постоянном токе силой до 200 А. Сварной шов и поверхность на расстоянии 3...4 мм по обе стороны от него для увеличения предела выносливости соединения упрочняются наклепом (рис. 7.5). Заварка трещин может осуществляться и с помощью газокислородной сварки с подачей присадочной проволоки.

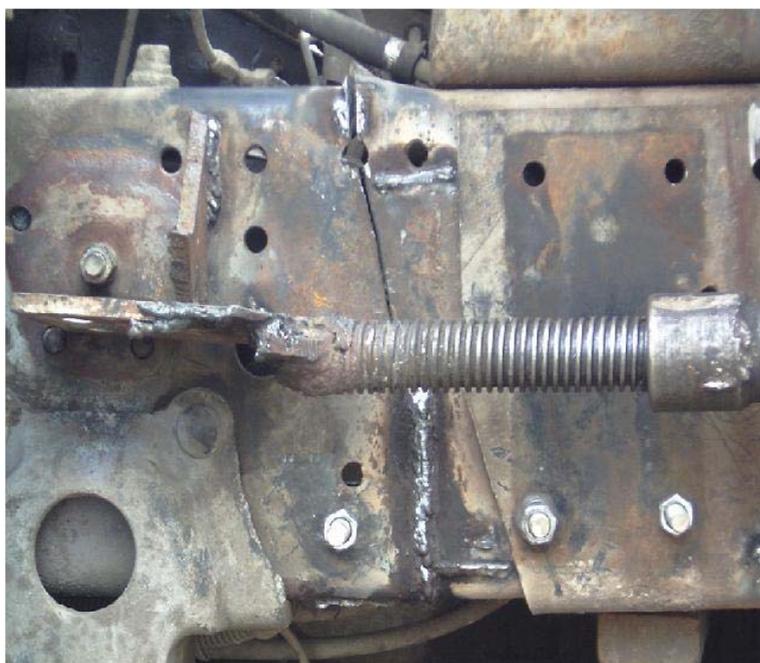


Рис. 7.5. Внешний вид трещины рамы и заваренного ее участка

Заклепки, потерявшие прессовую посадку, срубаются или высверливаются и вместо них устанавливаются новые. Новые заклепки расклепываются с предварительным подогревом или без него. Машинная клепка производится без подогрева гидравлическими клепальными установками МАЗ 62/350. Производительность такой клепки достаточно высокая.

7.2. Технология восстановления деталей агрегатов автомобиля и трактора

Обеспечение ремонтных предприятий запасными частями осуществляется за счет изготовления новых запасных частей и путем восстановления деталей, бывших в эксплуатации. Большую часть номенклатуры восстанавливаемых деталей составляют гладкие и шлицевые валы, оси и крестовины. В большинстве случаев именно эти детали лимитируют ресурс узлов агрегатов машин. При восста-

новлении этих деталей необходимо обеспечить следующие требования: точные размеры и шероховатость, твердость поверхности, сплошность покрытия, прочность сцепления нанесенных слоёв с основным металлом, а также симметричность и соосность сопрягаемых поверхностей, отсутствие радиального и торцевого биений.

Из всех известных способов восстановления деталей наплавка способна удовлетворить все вышеперечисленные требования. Этот способ восстановления по сравнению с другими дает возможность получать на поверхности детали слой необходимой толщины и нужного химического состава, высокой твердости и износостойкости. Номенклатура основных деталей агрегатов автомобилей, подлежащих восстановлению сваркой и наплавкой, приведена в табл. 6.

Таблица 6

Восстанавливаемые детали автомобиля

Наименование	Восстанавливаемая поверхность
Поворотная цапфа	Шейки под внутренний и наружный подшипники
Распределительный вал	Опорные шейки
Коленчатый вал	Шатунные и коренные шейки вала
Впускные и выпускные клапаны	Торец клапанов и фаска тарелки
Блок цилиндров	Опорные поверхности коренных подшипников
Головка блока цилиндров	Плоскость разъема, отверстия под клапаны
Гильза цилиндров	Посадочные пояски
Трансмиссионные валы	Опорные шейки
Картер коробки передач	Отверстия под подшипники ведущего, ведомого и промежуточного валов
Картер редуктора заднего моста	Отверстия под подшипники ведущего конического зубчатого колеса. Отверстия под гнезда подшипников ведущего цилиндрического зубчатого колеса. Отверстия под подшипники дифференциала
Гнездо подшипника ведущего цилиндрического зубчатого колеса редуктора заднего моста. Крестовины карданного вала	Наружные и внутренние посадочные поверхности. Наружные поверхности шипов
Насос системы охлаждения ДВС	Валик водяного насоса

В общем виде технология восстановления включает такие основные пункты: мойка, дефектация, подготовка технологических баз, наплавка изношенных поверхностей или заварка трещин, сколов и прочих, механическая, термическая и финишная обработка, контроль качества.

Восстановление валика водяного насоса

Одной из часто восстанавливаемых деталей машин является валик водяного насоса. Валик передает вращение от вала вентилятора к крыльчатке, которая перегоняет охлаждающую жидкость в системе охлаждения ДВС. Крыльчатка крепится к левому концу валика и закрепляется на нем посредством сегментной шпонки и гайки (рис. 7.6).

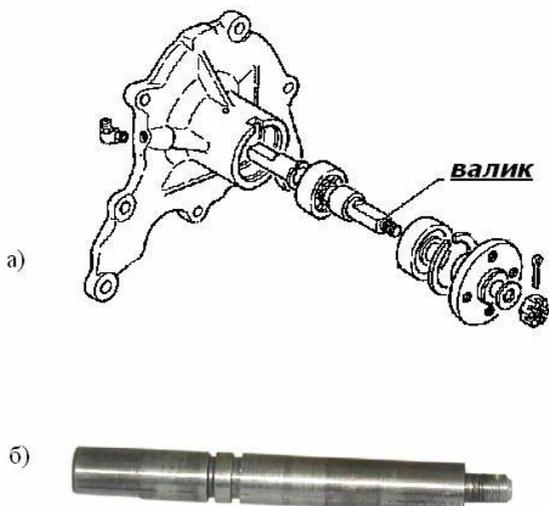


Рис. 7.6. Валик водяного насоса:
а – схема валика в сборке; б – внешний вид

Повышенные требования при эксплуатации и ремонте должны предъявляться к поверхностям под подшипник и сальниковое уплотнение, так как неудовлетворительное (изношенное) состояние данной цилиндрической поверхности может вызвать протекание охлаждающей жидкости и попадание ее в масло, что может вызвать выход двигателя из строя.

Напряжения, которые испытывает валик, носят скручивающий характер.

Валик изготовлен из качественной стали типа Ст45, с твердостью заготовки НВ 241...285, часть данной детали закаливается (ТВЧ) и при этом закаленный слой имеет твердость HRC 52...62.

Анализ дефектов детали и способы ее восстановления приведены в табл. 7.

Таблица 7

Способы восстановления валика

Название дефекта	Метод или прибор контроля	Способ устранения дефектов
1. Износ поверхности под подшипник и сальниковый уплотнитель	Штангенциркуль	Хромирование в саморегулирующемся электролите
2. Износ шпоночной канавки	Визуально	Электроимпульсная наплавка
3. Износ резьбы М14×1,5 кл. 2	Визуально, резьбовой шагомер	Железнение с нанесением сплава

Подготовка детали к нанесению покрытия

Подготовка детали включает следующие операции: механическую обработку поверхностей, подлежащих наращиванию; очистку деталей от окислов и предварительное обезжиривание; монтаж деталей на подвесное приспособление; изоляцию поверхностей, не подлежащих покрытию; обезжиривание деталей с последующей промывкой в воде; анодную обработку.

Предварительная механическая обработка детали имеет цель придать восстанавливаемым поверхностям правильную геометрическую форму. Производится эта обработка в соответствии с рекомендациями по механической обработке соответствующего материала. Очистку деталей от окислов с целью «оживления» поверхности проводят шлифовальной шкуркой или мягкими кругами с полировальной пастой. Предварительное обезжиривание деталей производят путем промывки в растворителях. После обезжиривания детали промывают в горячей, а затем в холодной воде. Сплошная, без разрывов, пленка воды на обезжиренной поверхности свидетельствует о хорошем качестве удаления жиров. Декапирование (анодную

обработку) производят для удаления тончайших оксидных пленок с поверхности детали и обеспечения наиболее прочного сцепления гальванического покрытия с подложкой. Эта операция непосредственно предшествует нанесению покрытия.

Обработка детали после нанесения покрытия

Обработка включает следующие операции: нейтрализацию деталей от остатков электролита; промывку деталей в холодной и горячей воде; демонтаж деталей с подвесного приспособления и удаление изоляции; механическую обработку детали до требуемого размера; термическую обработку.

Так, если детали подвергались хромированию, то их сначала промывают в ванне с дистиллированной водой (для улавливания электролита), а затем – в проточной воде, после чего погружают на 0,5...1 мин в 3 %-ный раствор кальцинированной соды (для нейтрализации остатков электролита) и окончательно промывают в теплой воде. Затем детали снимают с подвесных приспособлений, удаляют с них изоляцию и сушат в сушильном шкафу при температуре 120...130 °С. В некоторых случаях для снятия внутренних напряжений в хромовых покрытиях детали проходят термообработку с нагревом до 180...200 °С в масляной ванне и выдержкой при этой температуре в течение 1...2 ч. Последовательность операций восстановления приведена в табл. 8.

Таблица 8

Схема технологического процесса

Операция	Оборудование и инструменты
1. Моечная. Мойка и очистка валика от масла и грязи	Моечная машина. ew 30 olympus optical
2. Дефектовочная. Выявление изношенных поверхностей и резьбы	Штангенциркуль, шагомер резьбовой
3. Наплавочная. Наплавка поверхности шпоночной канавки	Установка для автоматической наплавки. Weld Lathe 613
4. Предохранительная. Защита поверхностей от действия электролита	Установка для защиты винипластовыми материалами
5. Нарастивающая. Нарастивание диаметра вала	Гальваническая ванна
6. Предохранительная. Защита поверхностей от действия электролита	Установка для защиты винипластовыми материалами

Операция	Оборудование и инструменты
7. Нарастивающая. Восстановление резьбы	Гальваническая ванна
8. Слесарная. Правка шпоночной канавки	Слесарный станок и инструмент.
9. Шлифовальная. Шлифовка валика	Круглошлифовальный станок. ВНА75СNC d 75 mm L 150 mm
10. Резьбонарезная. Прогонка резьбы плашкой	Токарный станок. Pinacho – модель taurus 310

Технология восстановления и упрочнения рабочей поверхности крестовины автомобиля КамАЗ

Крестовины карданного вала изготавливаются из стали 18ХГТ и имеют твердость HRC 58...64. Крестовины в процессе работы подвергаются механическому изнашиванию и усталостному разрушению. Усталостное разрушение проявляется в виде трещин и поломок от длительного воздействия переменных нагрузок. Вначале возникают микроскопические трещины, которые затем развиваются вглубь детали, охватывая значительную часть сечения. Вследствие механического изнашивания появляется износ наружных поверхностей шипов.

При восстановлении деталей на ремонтных предприятиях применяются различные способы с помощью наплавки. Для восстановления крестовины рассмотрим вибродуговую наплавку, так как этот способ оказывает наименьшее термическое влияние, вследствие чего деталь практически не деформируется.

Сущность процесса автоматической вибродуговой наплавки была рассмотрена в главе 3 учебного пособия, поэтому здесь приведем только технологический процесс восстановления поверхности изделия.

Деталь закрепляется в центрах токарного станка. Отрицательный полюс источника питания постоянного тока (например, ВС-300) присоединён к детали, положительный полюс соединен с электродом. При включении источника питания между деталью и электродом возбуждается дуга, под действием которой плавится основной металл и металл электрода. Во время наплавки деталь вращается с заданной скоростью, а электродная проволока по мере расплавления непрерывно подается к детали. При этом электрод совершает

также и поступательное движение вдоль оси детали, подобно резцу токарного станка. Металл наплавляется по винтовой линии. В процессе наплавки электрод вибрирует с частотой 50...100 колебаний в секунду. Это достигается с помощью вибратора. По трубке в зону дуги подаётся охлаждающая жидкость. В результате быстрого охлаждения наплавленный слой закаляется, его твёрдость и износостойкость возрастают. Охлаждающая жидкость защищает расплавленный металл от вредного воздействия кислорода и азота воздуха.

Оборудование для наплавки

Вибродуговую наплавку производят на специальных установках, основными элементами которых являются токарный станок с наплавочной головкой вместо резцедержателя и источник питания дуги. Для наплавки может использоваться токарно-винторезный станок модели 1И611П или 1К62. Наплавочная головка – важнейший механизм установки для вибродуговой наплавки. Головка обеспечивает одновременную подачу электродной проволоки к детали и вибрацию конца проволоки. От конструктивного совершенства и качества исполнения головки зависит качество восстановленной детали. Обычно используется наплавочная головка ОКС-6569М.

Подготовка поверхности к наплавке

Состояние наплавляемой поверхности существенно влияет на количество восстановленных деталей. Если поверхность наплавляемой детали загрязнена или покрыта ржавчиной, то в наплавленном металле будут шлаковые включения и несплавления. Наплавка на поверхность, покрытую маслом, приведёт к появлению газовых пор. Все эти дефекты могут стать очагами разрушения детали, причиной её преждевременного выхода из строя. Вот почему наплавляемые места должны предварительно промываться и очищаться с помощью металлических щеток, наждачной бумаги и ветоши.

Установка детали

После того как деталь подготовлена к наплавке, её устанавливают в центрах токарного станка (рис. 7.7). Для этого используют круглый стержень сплошного сечения диаметром 40 мм. Стержень специально затачивается под отверстие в шипах крестовины. Конусное окончание позволяет закреплять деталь по центру. Стержень зажи-

мается в кулачковом патроне токарного станка. Деталь подпирают центром задней бабки, который также имеет конусное окончание. Такое закрепление является достаточно надежным в данном случае, так как усилия, создаваемые наплавочной головкой, невелики.

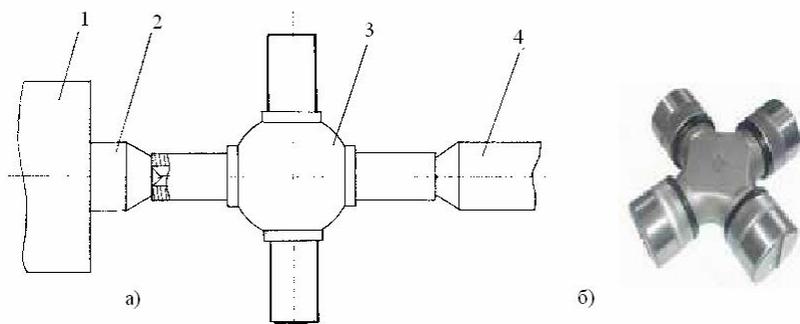


Рис. 7.7. Восстанавливаемая крестовина карданного вала:
а – схема закрепления для наплавки; *б* – внешний вид крестовины после восстановления; 1 – зажимной патрон; 2 – центр; 3 – крестовина; 4 – задняя бабка станка

Режимы наплавки

Режим вибродуговой наплавки характеризуется силой тока, напряжением на дуге, скоростью подачи и диаметром электродной проволоки, шагом наплавки, расходом охлаждающей жидкости, частотой вибрации электрода. Все эти параметры, как правило, взаимосвязаны, и качество наплавленного слоя определяется именно правильно выбранным соотношением между указанными параметрами.

Вибродуговую наплавку обычно производят при напряжении на дуге от 12 до 40 В. Уменьшение напряжения на дуге приводит к увеличению времени короткого замыкания. Вследствие этого уменьшается общее количество выделяющегося тепла. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению степени расплавления основного металла и в конечном счете к полному или частичному несплавлению.

Чрезмерное увеличение напряжения на дуге также приводит к нежелательным результатам: возрастает удар и разбрызгивание металла, деталь перегревается, сильнее коробится. При дальнейшем росте напряжения нарушается равенство в скоростях подачи прово-

локи и её расплавление. Наплавку постоянным током всегда ведут на обратной полярности: положительный, полюс источника тока присоединяется к электроду, отрицательный к детали.

Скорость подачи проволоки, которая обеспечивает качественный наплавленный слой, находится в пределах 0,9...1,65 м/мин. С увеличением скорости подачи проволоки увеличивается сила тока. Величина сварочного тока определяется внешней вольт-амперной характеристикой источника питания, скоростью подачи и диаметром проволоки. Для вибродуговой наплавки характерны средние значения силы тока 100...200 А.

Размах вибрации электрода выбирается в зависимости от диаметра электродной проволоки и обычно равен ему. Шаг наплавки зависит от диаметра электродной проволоки, напряжения на дуге и скорости ее подачи: обычно он соответствует диаметру проволоки.

От расхода охлаждающей жидкости, подаваемой на деталь, зависят величина ее коробления, твердость наплавленного металла, химический состав, а также вероятность появления пор и трещин. Обычно расход жидкости составляет 0,5...3 л/мин.

Высокое качество наплавки крестовины получают при использовании следующих режимов:

- | | |
|--|------------------|
| – шаг наплавки | – 2,8 мм/об.; |
| – скорость подачи электрода | – 1,25 м/мин; |
| – частота вибрации | – 100 Гц; |
| – амплитуда колебаний | – 1,95...2,6 мм; |
| – толщина наплавленного слоя, при которой обеспечивается надёжное сплавление | – 2,5 мм. |

Наплавка

После необходимой подготовки детали и выбора режима наплавки включают установку. Сначала включается двигатель станка и насос, подающий жидкость. Затем устанавливают нужное число оборотов детали, включают источник питания дуги и, руководствуясь показаниями вольтметра, регулируют напряжение. Далее конец электродной проволоки подводится к детали, суппорт станка включается, приводятся в действие вибратор и двигатель, подающий проволоку. Так начинается процесс наплавки. По окончании виб-

родуговой наплавки подача проволоки выключается. Выключение всех остальных механизмов производится в последовательности, обратной последовательности включения.

Контроль качества

При вибродуговой наплавке контроль осуществляется на всех стадиях процесса. Перед наплавкой внешним осмотром выявляются поверхностные дефекты деталей. В процессе наплавки контролируются расход и место подвода охлаждающей жидкости, напряжение на дуге, наличие проскальзывания электродной проволоки в роликах и т. п. Внешний осмотр и обмер наплавленной детали осуществляются дважды: непосредственно после наплавки и после механической обработки. В первом случае проверяются толщина наплавленного слоя, его чистота, наличие открытых пор, пропусков наплавки, крупных трещин чрезмерного коробления, правильность наплавки галтелей, величина припуска на механическую обработку.

Часть обнаруженных дефектов поддается исправлению. Прерывистость слоя легко исправить местной ручной дуговой наплавкой. Недостаточная толщина слоя исправляется путем повторной наплавки. При низком качестве наплавленного слоя его удаляют и производят наплавку заново. Наличие даже легко устранимых дефектов — явление нежелательное.

После механической обработки наплавленной детали проверяются чистота поверхности и соответствие размеров обработанной детали чертежу. Одновременно выявляются скрытые дефекты: газовые поры, крупные трещины и т. д. Иногда после механической обработки или в её процессе обнаруживается местное несплавление. Его признаки: отслаивание части металла или характерное шелушение наплавленного слоя. Все эти дефекты выявляются при внешнем осмотре.

Наплавка ведущих звездочек бульдозера

Детали ходовой части транспортных гусеничных машин эксплуатируются в условиях интенсивного трения металла о металл при наличии прослойки абразива и испытывают значительные контактные ударные нагрузки, вследствие чего преждевременно изнашиваются. В связи с этим вопрос о выборе способа и технологии упрочнения рабочих поверхностей с целью повышения надеж-

ности и долговечности машины весьма актуален. Не менее важно решение проблемы восстановления изношенных деталей для повторного их использования.

Ведущие звездочки бульдозеров на базе тракторов Т-100, ТЦ-130, «Интер», «Камацу» и других работают в тяжелых условиях. Сложный характер изнашивания контактных пар зубья – втулки и наличие вязкого водоземлюльсионного слоя с большим количеством частиц кварца различной фракции усиливают истирание рабочих поверхностей, что приводит к изнашиванию закаленного поверхностного слоя примерно в два-три раза быстрее, чем это предусмотрено нормативами. Износ зубьев звездочки достигает 50...60 мм, а впадин составляет 20...25 мм. Такая неравномерность изнашивания криволинейной поверхности значительно усложняет технологию восстановления.

Ведущие звездочки бульдозеров в основном изготавливают из высокоуглеродистых литых сталей, легированных марганцем и молибденом, с закаливанием рабочей поверхности до твердости примерно 420 HV на глубину до 5 мм.

С учетом требований, предъявляемых к материалу звездочек, работающих в контакте с гусеничной цепью, была опробована технология нанесения рабочего слоя оптимальной твердости и высокой износостойкости путем применения легирующих флюсов. Для наплавки под слоем флюса целесообразно использовать наплавочный материал, не содержащий дорогих легирующих элементов (W, Ni, V), но обеспечивающий достаточную износостойкость. Хромомарганцевоборидные сплавы (Fe–C–Cr–Mn–V) являются в этом смысле наиболее приемлемыми.

Установлено, что износостойкость рабочего слоя наиболее высокая при наплавке под механической смесью флюсов (АН-348А) + (АНК-18) с добавками легирующих элементов. Наплавку производили сварочной головкой А-1416, дополнительно оборудованной механизмом колебания электрода. Диапазон колебаний от 0 до 140 мм, частота колебаний – регулируемая. Для восстановления звездочек использовали проволоки Св-08Г2С и Нп-30ХГСА диаметром 2 мм. Режим обработки: постоянный ток обратной полярности, номинальный ток 260...300 А, напряжение на дуге 32...35 В, скорость подачи проволоки 119 м/ч, скорость наплавки 20 м/ч, шаг наплавки 6...8 мм [27].

Зубья наплавлялись методом «горкой» (рис. 7.8). Наплавку производили в кокиль, одновременно являющийся шаблоном для контроля заданного шага и формы зуба. Поскольку износ у кромки зуба больше – была выбрана кинематическая схема механизма колебания электрода с замедлением в зоне выработки.

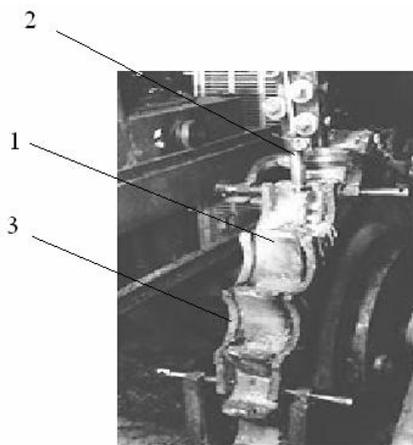


Рис. 7.8. Наплавка ведущей звездочки бульдозера:
1 – изделие; 2 – наплавочная головка; 3 – кокиль

В зависимости от модели бульдозера выбирают технологию восстановления зубьев: по ширине, шагу, износу и др. После наплавки поверхность зубьев не требует термической и механической обработки. Структура наплавленного металла феррито-перлитная, переходящая в игольчатый троостит. Твердость наплавленного слоя поверхности контакта составляет 400...420 HV. В зоне сплавления отсутствуют трещины и непровары.

Технология восстановления опорного катка гусеничного трактора

Мойка

Детали, поступающие на восстановление, подвергаются очистке, для того чтобы их можно было осмотреть и выявить дефекты. При очистке деталей удаляются продукты коррозии, остатки смазочных материалов и жировых пятен, абразивные и металличе-

кие частицы и др. Очистка деталей от загрязнений является специфической операцией процесса восстановления. От качества и полноты её проведения зависит долговечность восстановленных изделий. Так, недостаточно качественно удаленные загрязнения с поверхностей восстанавливаемых деталей приводят при наплавке к образованию в наплавленном материале пор и раковин и как следствие – снижению ресурса их работы.

Для выполнения этой операции необходимо уложить деталь в ванну с 8...10 %-ным раствором кальцинированной соды; удалить продукты загрязнения с помощью металлической щетки; извлечь деталь из ванны и высушить техническим феном до полного удаления влаги с поверхности.

Дефектация

Дефектацию деталей производят с целью определения их технического состояния и выявления следующих дефектов: целостности материала, величины износа и деформации. Измерительный инструмент и деталь должны иметь температуру одного порядка. Универсальные средства измерения выбирают в зависимости от допусков на восстанавливаемые размеры и конструктивные особенности детали.

Осмотреть каток на наличие сколов, смятия, трещин, изломов и других видимых повреждений; определить величину износа рабочих поверхностей при помощи штангенциркуля. Катки с величиной износа рабочих поверхностей по диаметру более 16 мм восстановлению не подлежат.

Установка детали

Установить каток в зажимной патрон наплавочной установки (например, УД-209) с помощью электротали типа ЭТ-300М и троса (рис. 7.9).

Предварительный подогрев

Предварительный подогрев детали осуществляется, если поверхностная твердость детали превышает $HRC_s = 30$. Как правило, изделие, изготовленное из стали марки Ст45, имеет твердость поверхности более 30 единиц, даже если оно не подвергалось закалке. Предварительный подогрев делается для того, чтобы предотвратить образование трещин. Подогрев можно осуществлять газовой горел-

кой ПГУ-40, нагревая деталь до температуры 150...200 °С. Деталь необходимо прогревать равномерно, для этого обеспечить ее вращение в зажимном патроне.

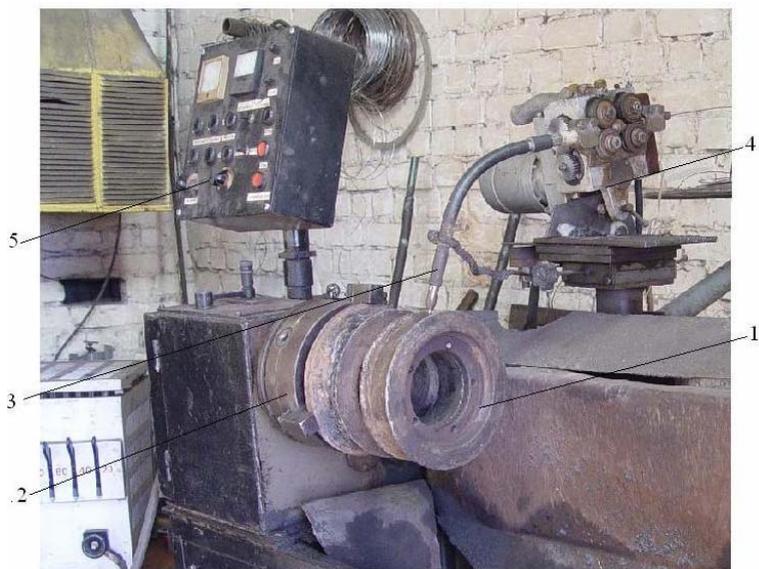


Рис. 7.9. Наплавка опорного катка гусеничного трактора порошковой проволокой на установке УД-209: 1 – каток; 2 – зажимной патрон; 3 – горелка; 4 – подающий механизм; 5 – пульт управления

Наплавка

Наплавка производится на постоянном токе обратной полярности. В качестве наплавочного материала используется порошковая проволока марки ПП-АН122 диаметром 2,8 мм. Это дает преимущества перед другими материалами:

- 1) можно увеличить силу тока и тем самым повысить производительность процесса наплавки в 2 раза;
- 2) отпадает операция отделения шлаковой корки от детали после наплавки;
- 3) обеспечивается необходимая твердость наплавки $HRC = 40...50$.

Наплавочная головка обеспечивает поперечные колебания электрода с амплитудой до 40 мм в обе стороны. Поэтому можно наплавлять изношенную поверхность по всей ширине за один проход.

Последовательность и режимы наплавки рабочей поверхности:

- наплавить первую рабочую поверхность катка диаметром $\varnothing 170$ мм на длине $L = 40$ мм;
- наплавить вторую рабочую поверхность диаметром $\varnothing 170$ мм на длине $L = 40$ мм.

Режимы наплавки: ток — $I_{\text{н}} = 300$ А; напряжение на дуге — $U = 26$ В; скорость наплавки — $V_{\text{напл}} = 8$ м/ч; амплитуда колебаний — $A_{\text{к}} = 20$ мм; частота колебаний — $f_{\text{к}} = 35$ кол./мин; скорость подачи проволоки — $V_{\text{пр}} = 375$ м/ч; вылет электрода — $H_{\text{э}} = 15$ мм; угол наклона электрода от вертикальной оси — $\alpha = 40^\circ$; смещение электрода от зенита в сторону, противоположную вращению детали, — $L = 8$ мм.

После наплавки рабочих поверхностей необходимо наплавить реборды.

Последовательность и режимы наплавки реборд:

- наплавить одну реборду по диаметру от 170 до 200 мм, угол реборды 30° ;
- наплавить вторую реборду по диаметру от 170 до 200 мм;
- валики (4 штуки) накладывать друг на друга без поперечных колебаний электрода. Высота каждого наплавленного валика — 4 мм; ширина — 5 мм.

Режимы наплавки: ток — $I_{\text{н}} = 300$ А; напряжение — $U = 26$ В; скорость наплавки — $V_{\text{напл}} = 30$ м/ч; скорость подачи проволоки — $V_{\text{пр}} = 375$ м/ч; вылет электрода — $H_{\text{э}} = 15$ мм; угол наклона электрода — $\alpha = 40^\circ$; смещение электрода от зенита в сторону, противоположную вращению детали, — $L = 8$ мм.

Механическая токарная обработка

С помощью электротали ЭТ-300М и троса снять каток с наплавочной установки и установить его на токарно-винторезный станок 1К625Д.

Токарная обработка наплавленной детали необходима для обеспечения требуемых геометрической формы, размеров и шероховатости поверхностей. Поскольку твердость поверхности изделия из Ст45 после наплавки достаточно высока, то для точения наружной цилиндрической поверхности и реборд используют резец из твердого сплава Т15К6. Обработку ведут в один проход: число оборотов

шпинделя станка – $n = 315$ об./мин; подача резца – $S = 0,3$ мм/об.; глубина резания – $t = 1,5$ мм.

Калибровка внутреннего диаметра катка

С помощью электротали ЭТ-300М и троса снять каток со станка и установить каток вертикально в специальную оснастку для калибровки внутреннего диаметра. Калибровку внутреннего диаметра проводят для восстановления первоначальных размеров, так как после наплавки происходит усадка и внутренний диаметр становится меньше. Для калибровки внутреннего отверстия катка используют сверлильный станок 2М112 (2М-112) и специальную фрезу диаметром 50 мм. Калибровку (расточку) ведут на режимах: скорость вращения шпинделя станка – $n = 190$ об./мин; подача фрезы – $S = 0,5$ мм/об. Контроль всех размеров восстановленного катка проводят с помощью штангенциркуля.

Технология восстановления шарнирной трубы трактора К-700

Мойка и дефектация. Уложить деталь в ванну с 8–10 %-ным раствором кальцинированной соды; удалить продукты загрязнения с помощью металлической щетки; извлечь деталь из ванны и высушить техническим феном.

Дефектацию деталей производят с целью определения их технического состояния и выявления следующих дефектов: целостности материала изделия, величины износа поверхностей и степени ее деформации. Необходимо осмотреть деталь на наличие сколов, смятия, трещин, изломов, царапин и других видимых повреждений; определить величину износа рабочих поверхностей при помощи штангенциркуля ШЦ- III со шкалой 0–500 мм (0,1 мм).

Установка и предварительный подогрев детали

Установить деталь в патрон наплавочной установки УНВ 3-31 с помощью электротали ЭТ-300М и троса, при установке контролировать надежность сцепки между шарнирной трубой и тросом и закрепить деталь задней бабкой (рис. 7.10).

Газовой горелкой ПГУ-40 нагреть деталь до температуры 150...200 °С. Восстанавливаемые поверхности детали прогреть равномерно, вращая деталь в патроне установки.

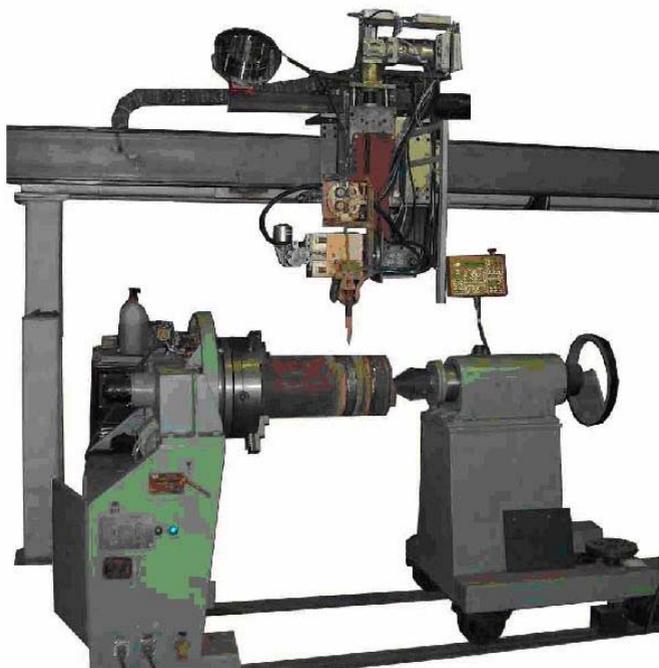


Рис. 7.10. Установка для наплавки УНВ 3-31

Наплавка

Наплавка производится на постоянном токе обратной полярности. Источником питания для электрической дуги может служить универсальный выпрямитель ВДУ-1202. В качестве наплавочного материала также может использоваться порошковая проволока марки ПП-АН122 диаметром 2,8 мм. Наплавка этой порошковой проволокой может выполняться без дополнительной защиты сварочной ванны флюсом или газом.

Наплавить первую рабочую поверхность диаметром $\varnothing 300$ мм на длине $L = 150$ мм; наплавить вторую рабочую поверхность диаметром $\varnothing 300$ мм на длине $L = 150$ мм; контролировать качество наплавки. Ток наплавки $I_{\text{н}} = 280...300$ А. Напряжение $U = 26...28$ В. Наплавка широкослойная с амплитудой колебаний электрода $A_{\text{к}} = 30$ мм. Частота колебаний $f_{\text{к}} = 32$ кол./мин. Скорость наплавки $V_{\text{напл}} = 6...8$ м/ч. Скорость подачи проволоки $V_{\text{пр}} = 370...380$ м/ч. Вы-

лет электрода $H_3 = 10...15$ мм. Угол наклона электрода $\alpha = 40...45^\circ$ от вертикальной оси. Смещение электрода от центра детали в сторону, противоположную ее вращению при наплавке, $L = 10...12$ мм.

Токарная обработка

С помощью электротали ЭТ-300М и троса снять каток с наплавочной установки и установить каток на токарно-винторезный станок 1К625Д.

Для обтачивания наружной цилиндрической поверхности используют резец из твёрдого сплава Т15К6. Обработку ведут в два прохода: первый черновой при числе оборотов шпинделя $n_1 = 215$ об./мин; подача и резца $S_1 = 0,6$ мм/об. и глубине резания $t_1 = 1,5$ мм. Второй проход – чистовой на следующих режимах: $n_2 = 600$ об./мин, подача $S_2 = 0,2$ мм/об., глубина резания $t_2 = 0,5$ мм. После точения необходимо проконтролировать все размеры шарнирной трубы на соответствие их чертежу детали.

Восстановление шлицевых валов и осей

Наибольшее распространение шлицевые соединения получили в элементах трансмиссии – полуоси приводов ведущих мостов, валы со скользящими муфтами переключения, компенсирующие устройства. Надежность этих соединений, заложенная при конструировании узлов, снижается вследствие изнашивания деталей, коррозии, усталости и старения материала (рис. 7.11). Восстановление изношенных деталей, узлов и механизмов способствует успешному решению проблемы снабжения автохозяйств и ремонтных предприятий запасными частями и ежегодно дает большую экономию различных материалов и средств.

При ремонте валов и осей вначале выполняют сварочные и слесарные работы, так как при их осуществлении возможны деформации детали и могут быть повреждены чисто обработанные поверхности.

Ремонтную сварку и наплавку шлицевых поверхностей выполняют, как правило, с помощью автоматической или полуавтоматической сварки стальной проволокой в среде защитных газов на специальных манипуляторах-вращателях. Если размер диаметра вала не превышает 30 мм (шлицевая ось), то для восстановления шлицевой поверхности применяют метод вибродуговой наплавки, который обеспечивает минимальный разогрев самой детали, а со-

ответственно, уменьшает изменение формы детали. Зачастую перед выполнением наплавочных работ изношенные шлицы снимают токарной обработкой, а затем производят наплавку слоя металла определенной толщины по винтовой линии или по образующей поверхности для последующего изготовления шлицов (рис. 7.12).

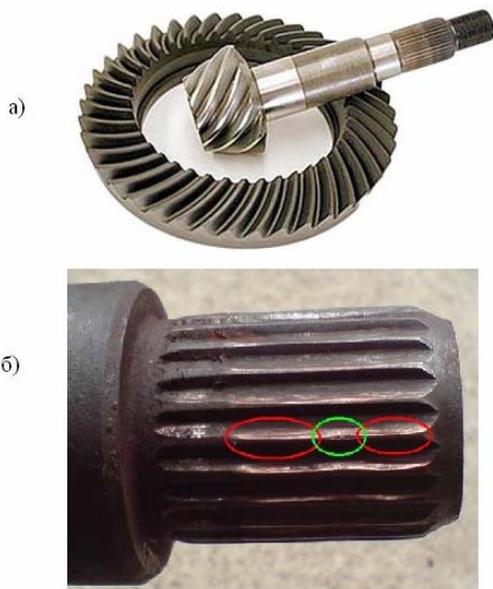


Рис. 7.11. Внешний вид шлицевого вала:
a – шлицевой вал-шестерня; *б* – износ шлицов на валу



Рис. 7.12. Наплавленная поверхность шлицевого вала

Технология наплавки крупногабаритных валов, изготовленных из высокоуглеродистой стали, предусматривает их предварительный подогрев газовой горелкой с целью предотвращения сколов наплавленного слоя вследствие высоких внутренних (закалочных) напряжений.

После сварочных и наплавочных работ валы и оси подвергают правке и предварительной механической обработке. Чистовая обработка рабочих поверхностей вала должна выполняться в последнюю очередь. Для обеспечения неизменяемости формы вала и снятия внутренних напряжений после правки производят термическую обработку, состоящую в выдержке вала при температуре 400...500 °С в течение 0,5...1 ч.

Значительные прогибы валов устраняют горячей правкой под прессом, для чего место изгиба вала нагревают до 600 °С в горне или пламенем газовой горелки. После правки необходимо повторно проверить вал на биение и, если изгиб полностью не устранен, повторить операцию правки.

Шлицы на валах могут образовываться путем холодного накатывания, осуществляемого на шлиценакатных станках, подобных зубонакатным, или нарезаться фрезерованием дисковыми или червячными фрезами. Последний способ, выполняемый обычно на шлицефрезерных станках (рис. 7.13), подобных зубофрезерным, более точный и производительный, чем первый, выполняемый на горизонтально-фрезерных станках с применением делительных головок.

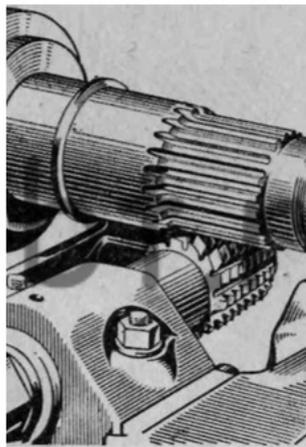


Рис. 7.13. Схема нарезки шлицов червячной фрезой

7.3. Технология восстановления деталей двигателя

Восстановление блока и головки блока цилиндров

Блок цилиндров (рис. 7.14) служит основой двигателя. К его верхней части крепится головка блока. Блок цилиндров – литая деталь, как правило, из чугуна, реже – из алюминиевого сплава. Блок цилиндров выполняет ещё одну важную функцию – по отверстиям, которые в нём изготовлены, масло под давлением подаётся к местам смазки. ДВС с жидкостным охлаждением имеют также отверстия, по которым охлаждающая жидкость попадает в головку блока.

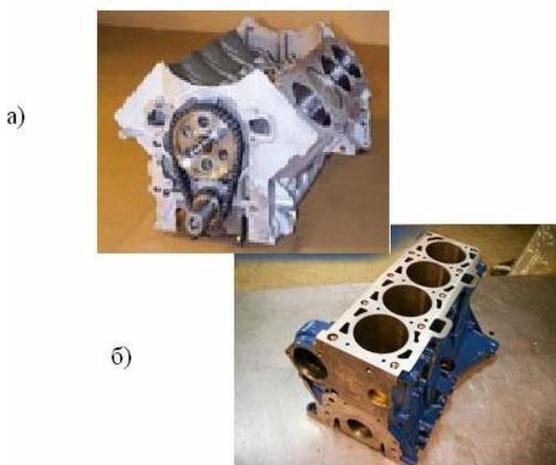


Рис. 7.14. Блок цилиндров ДВС: *а* – двухрядный V-образный; *б* – однорядный 4-цилиндровый

Технология восстановления

Для восстановления эксплуатационных свойств блока и головки блока цилиндров ДВС в общем случае применяют следующие технологические операции:

- предварительная мойка;
- расточка/ хонингование блока цилиндров;
- гильзование чугунного или алюминиевого блока цилиндров;
- расточка/ хонингование постели коленвала;
- шлифование плоскости блока цилиндров;
- электродуговая и холодная молекулярная заварка дефектов;

- микродуговое оксидирование;
- газотермическое напыление;
- опрессовывание блока и головки блока цилиндров;
- шлифование головок блока цилиндров;
- правка рабочей фаски седла клапана;
- притирание клапана;
- установка футорки под свечу.

Мойка деталей

Для этого используется автоматическая моечная машина контейнерного типа. Сверху и снизу барабана, в который укладываются детали, расположены две пары труб с установленными в них жиклерами, через которые под давлением подается разогретый до 90° специальный моющий состав, под действием которого приблизительно в течение 15 минут растворяются масляные отложения, смываются грязь и продукты износа с поверхностей деталей, после чего детали омывают проточной горячей водой в отдельной ванне. Далее впускные и выпускные каналы, камеры сгорания и привалочные плоскости головки блока цилиндров очищаются с помощью металлических щеток (рис. 7.15).



а)



б)

Рис. 7.15. Подготовка деталей к восстановлению:

а – загрузка в моечную машину; *б* – очистка клапанов в головке блока цилиндров металлическими щетками

Дефектация

Во время дефектации тщательно изучается состояние деталей головки: визуальный осмотр тела головки блока цилиндров, измерение стебля клапана, биеение тарелки клапана, промер внутренних

диаметров направляющих втулок клапанов, осмотр свечных отверстий, состояние резьбы шпилек, проверка плоскостности привалочных поверхностей и др. Для этого необходимо иметь целый ряд контрольно-измерительных приборов. Во время этой операции заполняется дефектационная ведомость, на основании которой формируется заключение о необходимом объеме работ.

Способы восстановления блоков цилиндров ДВС

- *Расточка и хонингование цилиндров*

Для расточки рядных блоков используются специальные станки российского или импортного производства, дающие наиболее точные размеры цилиндров, например **VB 182 М** фирмы **AZ**. Шпиндель этого станка может перемещаться только по вертикали, поэтому базирование блока цилиндров относительно шпинделя осуществляется путем перемещения стола с закрепленным на нем блоком. При таком способе центрирования цилиндра погрешность базирования минимальная, однако производительность не самая высокая. Тем не менее на нынешний момент это наиболее распространенная схема (рис. 7.16, а).

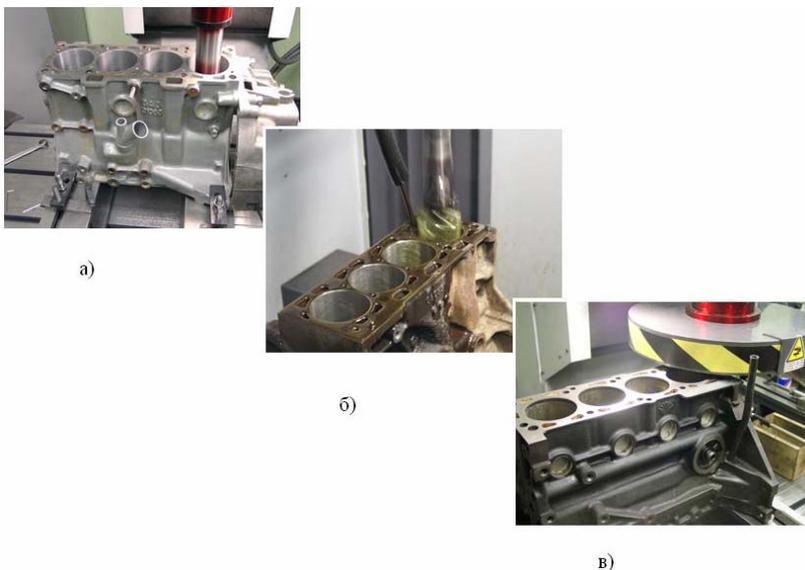


Рис. 7.16. Восстановление блока цилиндров: а – расточка цилиндров; б – хонингование; в – фрезерование плоскости

V-образные блоки растачиваются от постели коленчатого вала. Для этого также лучше использовать станок американского производства FN фирмы Kwik-Way. Простота установки блока и автоматическое базирование шпинделя существенно увеличивают производительность данного оборудования при незначительном снижении точности базирования.

Хонингование – финишная операция, при которой обеспечивается необходимый размер цилиндра, достигаются минимальные отклонения от круглости и цилиндричности, формируются специальный микрорельеф и определенная структура металла на поверхности цилиндра. Используется хонинговальный станок AZ CH 150 (рис. 7.16, б).

Фрезеровка необходима для обеспечения плоскостности привалочных поверхностей, а также для устранения забоин и царапин на них (рис. 7.16, в). При сильном перегреве мотора механики, как правило, проверяют привалочную плоскость головки блока цилиндров, забывая про блок. Несмотря на то что головка деформируется значительно сильнее блока, пренебрегать проверкой плоскости блока не следует. Прогиб около 0,05...0,07 мм может являться причиной утечек охлаждающей жидкости или попадания ее в цилиндры.

• *Восстановление чугунного блока цилиндров сваркой*

Для восстановления цилиндров пользуются методом сварки. С этой целью проводят следующие работы. Удаляют дефектное место газовой резкой или механическими способами. Разделяют место под сварку. Сварка сопровождается предварительным и сопутствующим обогревом цилиндра, для чего приходится сооружать специальные печи с электрообогревом. Для ускорения сварки применяют электроды большого диаметра. Наложение слоев проводят с послонной проковкой шва пневматическим молотком-зубилом. Особенности ремонтной сварки чугунных изделий и материалы для ее осуществления приведены в пункте 3.7 учебного пособия.

При заварке трещин в чугунных блоках (рис. 7.17) выполняют следующие операции:

- снятие с кромок трещин фасок с углом разделки 70...80°;
- грубая обработка фасок (желательно с образованием насечки);
- очистка места сварки от грязи, масла и ржавчины; подогрев под-

готовленных к сварке мест пламенем газовой горелки до температуры 900...950 °С;

- нанесение на подогретую поверхность слоя флюса (как правило, это бура кристаллическая);
- нагрев в пламени горелки конца латунной проволоки;
- натирание разогретой до плавления латунной проволокой горячих кромок трещины (латунь должна покрывать фаски тонким слоем);
- заварка трещины газовой горелкой с подачей латунной проволоки;
- медленный отвод пламени горелки от детали;
- закрытие сварного шва листовым асбестом или тефлоном.

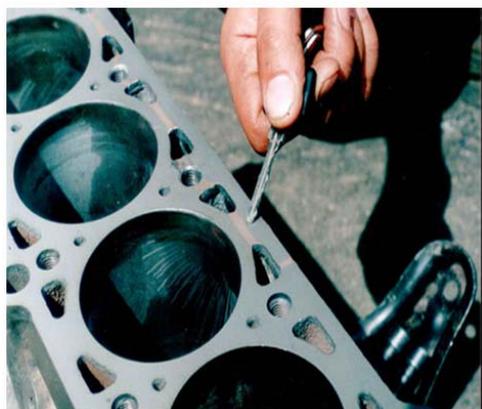


Рис. 7.17. Разделка трещины в блоке цилиндров ДВС

Восстановление отверстий коренных опор чугунных блоков цилиндров двигателей комбинированным способом

Разработан ресурсосберегающий технологический процесс восстановления поверхности отверстий коренных опор чугунного блока цилиндров комбинированием электроискровой наплавки и нанесения металлополимерного покрытия, позволяющий обеспечить необходимую размерную, геометрическую и пространственную точность восстановления поверхностей и повторно использовать часть деталей, ранее подвергшихся выбраковке.

- *Восстановление блоков цилиндров двигателей с помощью напыления*

Напыление — один из наиболее интересных и эффективных способов нанесения защитных и упрочняющих покрытий на поверхность деталей. Это процесс, при котором наносимый материал в виде порошка или проволоки вводится в струю плазмы и нагревается в процессе движения с потоком газа до температур, превышающих температуру его плавления, и разгоняется в процессе нагрева до скоростей порядка нескольких сотен метров в секунду.

- *Микродуговое оксидирование внутренней поверхности цилиндров из алюминиевого сплава*

В настоящее время метод микродугового оксидирования является наиболее перспективным по сравнению с существующими технологиями нанесения покрытий на алюминиевые и магниевые сплавы и позволяет получать покрытия с высокими механическими, диэлектрическими и теплостойкими свойствами. Покрытия на алюминиевых и магниевых сплавах по износостойкости превышают все существующие материалы, используемые в современной технике.

- *Восстановление «холодной» молекулярной сваркой*

Восстановление поверхностей под упорные полукольца в блоке цилиндров традиционными способами связано с большими трудозатратами и иногда не обеспечивает необходимое качество восстановленной детали. Применение холодной молекулярной сварки для ремонта этой неисправности позволяет восстановить исходные геометрические размеры изношенной поверхности, свести к минимуму механическую обработку блока и все это в течение двух часов. Следует заметить, что можно восстанавливать как наружную, так и внутреннюю поврежденные поверхности.

Восстановление головок блока цилиндров двигателей

Полный цикл восстановительных работ гарантирует длительную и безупречную работу головок блоков цилиндров. Проводят следующие восстановительные операции:

- глубокая мойка и чистка головок от отложений нагара;
- заварка трещин;
- шлифовка поверхности прилегания;
- замена направляющих втулок клапанов;

- замена клапанов;
- замена седел;
- притирка клапанов;
- замена стаканов форсунок;
- проверка на герметичность прилегания клапанов и гидроиспытания на герметичность.

Заварка трещин на головке блока, изготовленной из алюминиевого сплава, вызывает особые затруднения вследствие технологических затруднений, возникающих при сварке алюминия, и высоких требований к точности размеров и формы самого изделия.

Присущие всем алюминиевым сплавам затруднения при электродуговой наплавке, связанные с наличием тугоплавкого окисла на поверхности основного и присадочного материалов, преодолеваются тщательной подготовкой перед сваркой проволоки (обычно методом травления в 10 %-ном растворе щелочи с последующей промывкой водой и просушкой) и механической зачисткой поверхности основного материала металлической щеткой или шабером. В процессе наплавки окисная пленка удаляется воздействием механизма «катодного распыления», возникающего при наличии обратной полярности сварочного тока. Однако в тех случаях, когда изделие работает в условиях масляной ванны или в условиях интенсивной смазки, требуется более тщательная подготовка основного материала: либо обжиг восстанавливаемой поверхности открытым пламенем, либо глубокая (до 0,5 мм) механическая обработка режущим инструментом.

Большие технологические затруднения при наплавке вызывают такие свойства алюминиевых сплавов, как высокий коэффициент теплопроводности и линейного расширения. Высокая теплопроводность материала изделия требует для получения гарантированного сплавления основного и присадочного материалов применение мощных источников тепла и форсированных режимов наплавки. При этом происходит интенсивный разогрев изделия, увеличивается глубина проплавления основного материала, что с учетом высокого коэффициента линейного расширения приводит к короблению самого изделия и, соответственно, к нарушению его эксплуатационных характеристик. Особенно высокие требования по части

отсутствия коробления предъявляются именно к таким изделиям, как головки блоков цилиндров, где требуется обеспечить соосность посадочных отверстий с отклонением не более 0,05 мм. Существующие технологии восстановления таких изделий предусматривают использование предварительного подогрева с целью минимизации воздействия термического цикла сварки на основной металл, наложение каждого последующего валика с промежуточным охлаждением металла, что значительно уменьшает производительность процесса и увеличивает затраты.

Имеется опыт заварки трещин на головке блока ДВС автомобиля «ВАЗ», изготовленной из сплава АЛ25, с помощью трехфазной аргонодуговой сварки с применением присадочной проволоки, подключенной к средней фазе источника питания. Такой способ ремонта позволил устранить течь водяной рубашки без использования предварительного подогрева изделия и без нарушения его геометрических параметров.

Восстановление опорной стойки распределительного вала дизельного двигателя [7]

Опорная стойка распределительного вала двигателя предназначена для поддержания вала в горизонтальном положении и должна обеспечивать свободное вращение вала вокруг своей оси. Конструктивно опорная стойка выполнена из двух половин, одна из которых – нижняя – жестко закреплена болтовым соединением на головке блока двигателя, а вторая – верхняя – предназначена для фиксации распределительного вала в посадочном месте. Вместе они создают самосмазывающийся подшипник скольжения, который на внутренней поверхности имеет каналы для подачи смазки.

Опорная стойка распределительного вала (рис. 7.18) изготовлена из литейного алюминиевого сплава АЛ-9, который обладает хорошими литейными свойствами, герметичностью, сравнительно высокой прочностью и пластичностью. Возможность применения этого сплава в подшипниках скольжения обусловлена тем, что после проведения термообработки (закалка + старение) поверхность детали достигает твердости до 80 НВ.

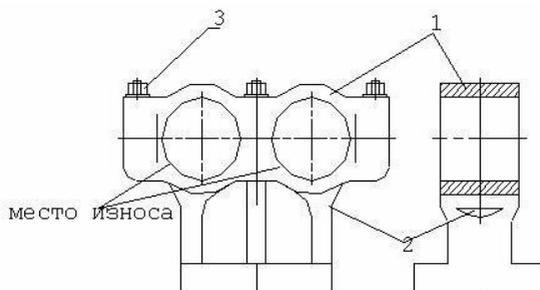


Рис. 7.18. Конструкция опорной стойки распределительного вала:
1 – крышка подшипника; 2 – опорная стойка; 3 – гайки крепления

Во время работы двигателя при вращении распределительного вала подшипник скольжения воспринимает различные виды нагрузок и, несмотря на обильную смазку, изнашивается за счет истирания или увеличивает свои посадочные размеры за счет пластического деформирования при «биении» вала. Естественно, изношенные подшипники скольжения подлежат замене и последующему восстановлению эксплуатационных свойств.

Восстановление алюминиевых подшипников скольжения выполняется с помощью аргодуговой сварки, но при этом возникает ряд затруднений, связанных как с особенностями сварки самого алюминия, так и с особенностями конструкции и требованиями, предъявляемыми к восстановленной детали.

Обеспечение необходимой твердости наплавленного слоя достигается применением присадочного материала, отличающегося по своему составу от основного материала. Технологический процесс наплавки опорной стойки распределительного вала судового дизельного двигателя предусматривает применение присадочной проволоки марки Св-1557. Если сплав АЛ-9 содержит кремния – 6 %, магния – 0,2 %, железа – 0,6 %, то проволока Св-1557 имеет следующий состав: магний – 5 %, марганец – 0,4 %, хром – 0,15 %, бериллий – 0,003 %. Чаще всего для получения более высоких показателей твердости наплавленного слоя осуществляют термообработку изделия – закалку и искусственное старение.

Технология наплавки опорной стойки распределительного вала

Для того чтобы повысить производительность процесса, уменьшить термическое влияние сварочной дуги на основной металл и уменьшить коробление изделия, была разработана технология наплавки посадочных мест подшипника скольжения опорной стойки распредвала судового двигателя с помощью трехфазной аргонодуговой сварки с перераспределением теплового потока от дуги между основным металлом и присадочной проволокой, подключенной к средней фазе трехфазного источника питания. Для наплавки используется специальный сварочный стенд, включающий источник питания трехфазной дуги УДГТ-315У2, сварочную горелку ГАСТ-5 с тремя степенями свободы, реостат балластный РБ-6, сварочный стол с перемещающейся от электропривода кареткой, ножной пульт управления, механизм подачи присадочной проволоки, контрольно-измерительные приборы, баллон с аргоном, снабженный газовым редуктором и расходомером. Технологический процесс наплавки включает следующие операции [8].

1. Подготовить присадочную проволоку для наплавки: диаметр проволоки 2 мм, марка проволоки Св-1557:

- травить в 10 %-ном растворе NaOH в течение 10 минут;
- промыть проточной водой и просушить струей воздуха.

2. Подготовить посадочную поверхность опорной стойки к наплавке:

- удалить верхний слой металла на глубину 0,5 мм по всей поверхности наплавки фрезой на горизонтально-фрезерном станке;
- собрать отдельные половины подшипников (верхние и нижние) в ряд по 12 штук в каждом в специальном зажимном приспособлении, прокладывая между каждой половиной медную пластину соответствующей конфигурации и толщиной 2 мм;
- зачеканить маслосамосмазывающие каналы кусками медной проволоки диаметром, соответствующим диаметру канала;
- протереть фрезерованные поверхности собранных блоков подшипников ветошью, смоченной этиловым спиртом;
- установить собранные блоки на сварочный стол и закрепить так, чтобы наплавку можно было вести по образующей поверхности.

3. Включить источник питания трехфазной дуги УДГТ-315У2 с предварительной продувкой аргоном сварочной горелки ГАСТ-5.

4. Подключить через балластный реостат к средней фазе источника питания посредством скользящего контакта (мундштука) присадочную проволоку.

5. Установить параметры режима наплавки: ток в электродах – 110 А, ток через балластное сопротивление – 140 А, расход аргона – 8 л/мин, скорость наплавки – 15 м/ч, скорость подачи проволоки – 45 м/ч, установочная длина дуги – 4 мм.

6. Подвести место начала наплавки под сварочную горелку и зажечь с помощью осциллятора межэлектродную дугу.

7. Замкнуть присадочную проволоку на изделии непосредственно под электродами сварочной горелки.

8. Включить с помощью ножного пульта управления основную дугу и развести сварочную ванну, соизмеримую с диаметром присадочной проволоки (4...5 мм).

9. Задать перемещение сварочной каретке и одновременно подачу присадочной проволоки и наплавить валик по всей длине собранного блока подшипников.

10. Повернуть зажимное приспособление вокруг своей оси таким образом, чтобы последующий валик перекрывал предыдущий не менее чем на четверть его ширины.

11. Повторить операции с 6 по 10 до тех пор, пока не будет наплавлена вся поверхность подшипника скольжения опорной стойки.

Используя эффект разделения теплового потока трехфазной дуги между присадочной проволокой и основным металлом, можно наплавлять как в автоматическом, так и в ручном варианте детали из алюминиевых сплавов сложной формы и с малой толщиной стенки.

Плазменная наплавка впускных и выпускных клапанов

Внешне конструкция клапана довольно проста (рис. 7.19). Основные части: стебель, перемещающийся в направляющей втулке, и головка, которая «садится» на седло, герметизируя камеру сгорания. Формой головка напоминает перевернутую вверх дном тарелку, поэтому головку называют еще «тарелкой клапана». Она имеет рабочую фаску с углом 30 или 45° относительно плоскости тарелки

и цилиндрический поясok. Он необходим для увеличения жесткости тарелки и защиты ее кромок от обгорания и коробления. Кроме того, поясok позволяет сохранить основные геометрические размеры тарелки клапана в случае перешлифовки его рабочей фаски.

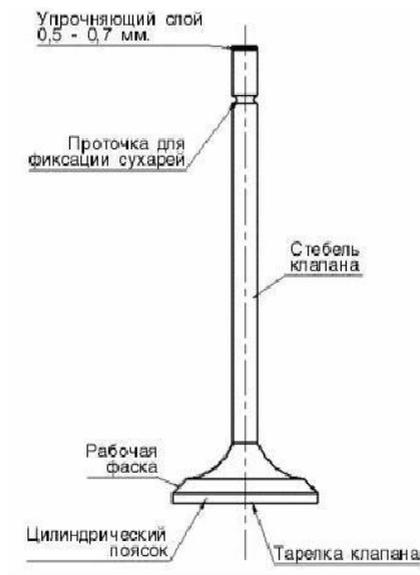


Рис. 7.19. Конструкция клапана ДВС

Основанием для отбраковки клапана служат следующие дефекты:

- явные повреждения клапана: изгиб стебля, прогары, трещины, забоины;
- изменение диаметра стебля по его длине более 0,02 мм;
- ступенчатый или боковой износ стебля клапана;
- поврежденные проточки под сухари;
- уменьшение высоты цилиндрического пояса ниже допустимой производителем;
- расклев торцевой части стебля и глубина выработки торцевой части более 0,2...0,3 мм.

Перспективной технологией восстановления является плазменная порошковая наплавка. Плазменная порошковая наплавка отли-

чается высоким качеством наплавленного металла, малыми остаточными напряжениями и как следствие – отсутствием деформаций восстанавливаемых деталей. В качестве присадочных материалов применяются различные порошки: быстрорежущие, хромоникелевые и высокоуглеродистые легированные сплавы, бронзы и др.

Существовавшие ранее технологии наплавки клапанов в России были ориентированы на нанесение сплавов на основе никеля (например, порошок ПГ-СР 2) с использованием плазменно-дугового процесса. Эта технология на сегодняшний день не отвечает требованиям надежности и долговечности клапанов в связи с недостаточно высокой коррозионно- и износостойкостью покрытия при высоких температурах. Ведущие зарубежные фирмы DELORO STELLITE (Великобритания), INTERWELD (Австрия), SNMI (Франция), выпускающие оборудование для наплавки клапанов и внедряющие этот процесс во всем мире, ориентируются на новую технологию, получившую название РТА-процесс (plasma transferred arc), в русском варианте – процесс плазменной наплавки-напыления (ПНН) или плазменно-порошковой наплавки (ППН). В качестве присадочного материала для наплавки клапанов используется исключительно материал на основе кобальта (стеллит). Производители этих материалов выпускают до 20 модификаций различных стеллитов. Такая технология сейчас используется повсеместно на всех российских заводах – производителях автомобилей и на ремонтных предприятиях.

Сущность процесса ППН (рис. 7.20) состоит в нанесении порошковых покрытий толщиной 0,5...4,0 мм с гибким регулированием ввода тепла в порошок и изделие плазмотроном с двумя дугами – основной и пилотной. При этом пилотная (косвенная) дуга используется для рас-



Рис. 7.20. Процесс плазменно-порошковой наплавки фаски клапана

плавления присадочного материала, а основная дуга (переносимая на изделие) – для поддержания температуры частиц порошка на детали. При ППН увеличение времени нахождения частиц порошка при высокой температуре способствует максимальному сцеплению и уплотнению частиц с минимальным перегревом поверхности детали. Оптимизация основных характеристик процесса (токов основной и пилотной дуги, расстояния до изделия, скорости подачи порошка и скорости перемещения изделия относительно плазмотрона) ведет к минимальной чувствительности к скорости подачи порошка и в определенных пределах к скорости перемещения изделия.

Технологический процесс наплавки клапанов состоит из следующих операций:

- предварительная очистка и дефектация;
- подготовка поверхности;
- непосредственно процесс наплавки;
- термическая обработка;
- предварительная механическая обработка;
- дефектоскопия наплавленной поверхности;
- окончательная механическая обработка;
- технический контроль;
- маркировка.

Для ремонта клапанов без наплавки методом проточки фаски американской фирмой NEWAY создан ручной специальный комплект инструмента GIZMATIC. Набор свободно умещается в слесарном чемоданчике. Преимущество GIZMATIC заключается в том, что фрезы уже настроены так, чтобы формируемый угол рабочей фаски клапана составлял $45^{\circ}30''$ или $30^{\circ}30''$. Это приспособление позволяет обработать фаски клапанов любых встречающихся размеров. GIZMATIC снабжен устройством самоцентрирования режущих ножей относительно клапана и микролифтом, обеспечивающим точную вертикальную подачу режущей головки к клапану (рис. 7.21).

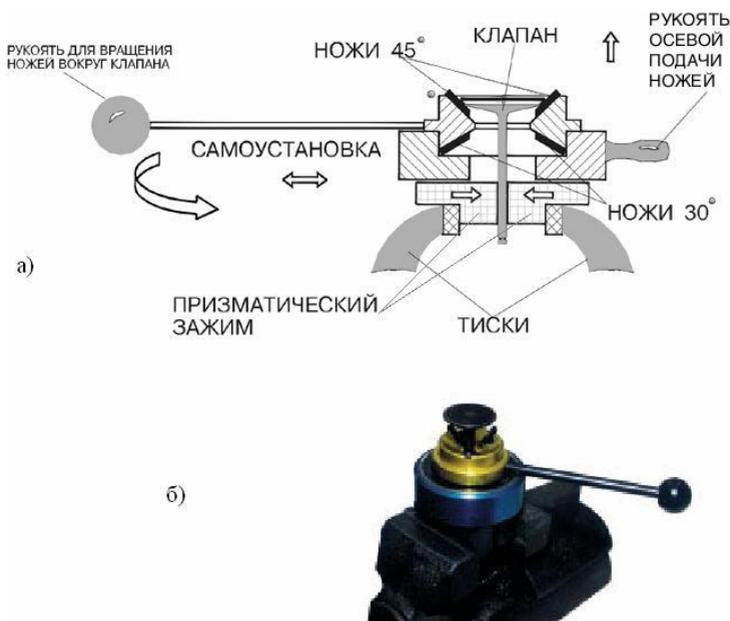


Рис. 7.21. Ручной инструмент GIZMATIC для ремонта фаски клапанов:
а – схема инструмента; *б* – внешний вид в тисках

Наплавка стальных коленчатых валов

Наиболее простым из существующих в настоящее время способов наплавки стальных коленчатых валов с изношенными шейками является автоматическая наплавка под слоем легирующего флюса. При этом способе термическая обработка валов не нужна, потому что наплавленный металл в процессе его охлаждения самозакаливается до требуемой твердости. После наплавки коленчатые валы не укорачиваются. Усталостная прочность коленчатых валов, наплавленных под легирующим флюсом, несколько понижается, но это на их ходимость особого влияния не оказывает.

Автоматическую наплавку коленчатых валов под слоем флюса производят на специальных установках, основными элементами которых являются токарный станок, наплавочная головка и источник питания сварочной дуги. Чтобы снизить обороты шпинделя станка, между его приводом и ведомым шкивом устанавливают редуктор, рассчитанный на вращение шпинделя с частотой 2...5 об./мин. Для

подачи электродной проволоки в зону горения дуги используются наплавочные головки. Возможно применение головок ОКС-1031Б, ОКС-1252А и др. Новая наплавочная головка ОКС-5523 работает в полуавтоматическом режиме. Особенностью ее является бесступенчатое регулирование скоростей подачи электродной проволоки и наличие универсальных центросместителей.

В качестве источников тока при автоматической наплавке под слоем флюса используют преобразователи ПСГ-500, ПСУ-500-2, выпрямители ВС-600, ВДУ-1202 и др.

Стальные коленчатые валы наплавляют чаще всего пружинной проволокой 2-го класса диаметром 1,6...2 мм. Флюс используют для защиты расплавленного металла от воздействия воздуха, стабилизации горения дуги и легирования наплавленного металла. Наибольшее применение при наплавке шеек стальных валов находит комбинированный флюс такого состава: флюс марки АН-348А – 93 %, графит порошковый – 2,5 %, феррохром порошковый – 2 %, жидкое стекло натриевое – 2,5 %.

Перед наплавкой восстанавливаемые поверхности шеек валов зачищают абразивной шкуркой до металлического блеска. Проволоку для наплавки очищают от ржавчины и органических масел. Для снятия с электродной проволоки остатков смазки перед входом проволоки в наплавочную головку устанавливают резиновые шайбы.

Отверстия масляных каналов коленчатого вала перед наплавкой закупоривают графитовой пастой, которую приготавливают в виде смеси графита с «жидким стеклом». Эту операцию выполняют заранее, чтобы паста успела затвердеть (приблизительно за 3...5 ч до наплавки).

Деталь в установочном приспособлении (центросместителе) нужно жестко закрепить, биение наплавляемых шеек не должно превышать 1,5 мм.

Наплавку шеек ведут на следующих режимах: напряжение на дуге – 22...26 В, сила сварочного тока – 170...200 А, частота вращения детали – 3...4 об./мин, шаг наплавки – 3...4 мм/об. Скорость подачи проволоки зависит от ее диаметра. При диаметре проволоки 1,6 мм скорость ее подачи составляет 100...120 м/ч, при диаметре 1,8 мм – 90...110 м/ч, при диаметре 2 мм – 80...100 м/ч.

В процессе наплавки флюс должен закрывать сварочную ванну и дугу, горящую между деталью и проволокой, достаточно толстым слоем. Малейшее обнажение электрической дуги приводит к нарушению стабильности протекания процесса, разбрызгиванию электродного металла, плохому формированию шва, образованию в наплавленном металле пор и раковин. Для того чтобы флюс лучше удерживался на поверхности шейки, электродную проволоку подают к детали с некоторым (8...10 мм) смещением по отношению к зениту в сторону, противоположную вращению детали. Чтобы поверхность наплавки была более ровной, образующийся валик должен перекрывать ранее наплавленный не менее чем на треть его ширины.

Современные технологии восстановления чугунных коленчатых валов

Для восстановления чугунных коленчатых валов разработан целый ряд различных технологических процессов, которые предусматривают как механическую, так и термомеханическую обработку, в том числе наплавку и напыление. Применение той или иной технологии зависит от степени износа валов, а также от наличия на предприятии соответствующего оборудования и материалов.

Шлифовка под ремонтные размеры. Один из часто применяемых способов восстановления работоспособности коленчатых валов — шлифовка под ремонтные размеры. Преимущества этого способа в его простоте и минимальности технологических операций. Из оборудования требуется наличие круглошлифовального станка и типовой оснастки к нему. У этого способа имеется и ряд недостатков: потеря взаимозаменяемости деталей, потребность в дополнительных деталях (вкладыши) с ремонтными размерами, наличие складских площадей под них.

Вибродуговая наплавка в жидкости. При этом способе качество наплавленного металла зависит от многих факторов и резко ухудшается при изменении режимов наплавки и химического состава электродной проволоки. Поэтому даже при хорошо отлаженном процессе восстановления на шейках чугунных коленчатых валов часто встречаются поры и трещины. Количество пор увеличивается по глубине слоя, поэтому восстановленные чугунные коленчатые валы шлифуют лишь до третьего ремонтного размера, а затем выбраковывают. Усталостная прочность чугунных коленчатых валов, восстановленных

вибродуговой наплавкой в жидкости, снижается на 35...40 %. Однако благодаря двукратному запасу прочности в эксплуатации наблюдается незначительное количество их поломок. Но применение этого способа наплавки для восстановления чугунных коленчатых валов двигателей грузовых автомобилей из-за значительного снижения усталостной прочности становится неприемлемым.

Вибродуговая наплавка в водокислородной среде. При этом способе восстановления наплавленный металл имеет структуру троостита, переходящую в сорбитообразный перлит с твердостью слоя HRC 42...48. Такой металл по износостойкости уступает высокопрочному чугуно, тем не менее коленчатые валы, восстановленные этим способом, обеспечивают срок службы двигателей, соответствующий пробегу автомобиля 50...60 тыс. км. В целом эксплуатационные свойства таких валов изучены недостаточно, но из-за низкой в сравнении с высокопрочным чугуном износостойкости наплавленного металла этот способ наплавки не может быть рекомендован к повсеместному использованию.

Двухслойная наплавка проволокой Св-08 под легирующим слоем флюса. Способ наплавки разработан в НИИАТе в СССР. Лучшие результаты из многочисленных вариантов двухслойной наплавки получаются при использовании малоуглеродистой проволоки Св-08 диаметром 1,6 мм и легирующего флюса АН-348А (2,5 части графита, 2 части феррохрома № 6 и 0,25 части жидкого стекла). Металл первого слоя имеет аустенитное строение и твердость HRC 35...38, второй слой – мартенситное строение и твердость HRC 56...62 и содержит небольшое количество пор. Недостатком этого способа наплавки является образование большого количества трещин в наплавленном слое, вызывающих повышенный износ сопряженных вкладышей. Усталостная прочность чугунных коленчатых валов двигателей ЗМЗ 53-А, восстановленных двухслойной наплавкой под легирующим флюсом, снижается на 26...28 %, т. е. меньше, чем при вибродуговой наплавке в жидкости. Наличие на поверхности шеек большого количества трещин не позволяет рекомендовать этот способ для широкого применения.

Наплавка в среде углекислого газа. Данный способ наплавки также разработан в НИИАТе. Шейки чугунных коленчатых валов наплавлен-

лись проволокой разных марок, в том числе Нп-2Х13, ОВС, Св-12ГС, Нп-30ХГСА, Св-08 и др. Во всех случаях структура наплавленного металла была неудовлетворительной, в слое имелись поры и трещины. Наименьшее количество дефектов на поверхности шеек получается при наплавке проволокой Нп-2Х13, наплавленный металл при этом имеет структуру аустенита с карбидной сеткой и неравномерную по длине твердость, колеблющуюся от HRC 51...60. Износ шеек чугунных коленчатых валов, наплавленных в углекислом газе проволокой Нп-2Х13, был больше ненаплавленных шеек. Усталостная прочность при этом способе снижается на 45...50 %. Из-за указанных недостатков такую наплавку применять нецелесообразно.

Плазменная металлизация. Среди новых технологических процессов большой интерес для восстановления деталей автомобилей представляют способы нанесения металлопокрытий с использованием плазменной струи в качестве источника тепловой энергии. Наиболее перспективным способом восстановления деталей нанесением износостойких металлопокрытий является плазменное напыление с последующим оплавлением покрытия. При этом в металле оплавленного покрытия доля основного металла минимальна. Покрытие обладает высокой износостойкостью, без пор и трещин. Процесс является высокопроизводительным. Недостаток этого способа – высокие начальные капиталовложения в оборудование. При отсутствии оборотных средств у предприятий этот недостаток не позволяет рекомендовать способ к повсеместному использованию.

Наплавка под легирующим флюсом по оболочке. Этот способ восстановления чугунных коленчатых валов позволяет получить наплавленный металл без пор и трещин при более высокой по сравнению с другими способами усталостной прочности восстановленных чугунных коленчатых валов. Достоинством способа является отсутствие пор и трещин, высокие прочностные характеристики и простое, доступное по цене оборудование.

Сущность способа заключается в следующем. Деталь обвертывают металлической оболочкой из листовой стали, плотно прижимают оболочку к поверхности детали с помощью специального приспособления и сваркой в среде углекислого газа прихватывают ее в стыке. После удаления приспособления производят автомати-

ческую наплавку детали под флюсом по металлической оболочке непосредственно.

Известно, что для устранения трещин в наплавленном металле необходимо уменьшить в нем содержание углерода, кремния, марганца, серы и фосфора. Поскольку высокопрочный чугун содержит значительное количество этих элементов, при экспериментах применяли оболочку из стали 08 и проволоку Св-08, содержащие их в небольшом количестве.

При наплавке под флюсами АН-348А, ОСЦ-45, АН-15, АН-20 лучшее формирование слоя и меньшее количество дефектов получилось при использовании флюса АН-348А. С увеличением толщины оболочки глубина проплавления высокопрочного чугуна снижается, соответственно, уменьшается поступление в наплавленный металл углерода, кремния, марганца и других элементов. Поэтому для получения наплавленного металла мартенситной структуры с твердостью HRC 56...62 во флюс добавляли графит и феррохром, обеспечивая содержание в наплавленном металле углерода 0,6...0,8 % и требуемое количество хрома [3].

При толщине оболочки 0,8 мм трещины и поры в наплавленном металле отсутствовали, в то время как при обычных способах наплавки высокопрочного чугуна при содержании углерода 0,6...0,8 % трещин и пор избежать не удастся.

С увеличением толщины оболочки уменьшается глубина проплавления чугуна и, соответственно, количество образующейся окиси углерода, вызывающей образование пор. При толщине оболочки 0,8 мм и более небольшое количество окиси углерода успевает выделиться из расплавленного металла и пор в нем не наблюдается. Устранению трещин при наплавке по оболочке способствуют два фактора: уменьшение поступления в наплавленный слой кремния, марганца, магния и снижение величины и скорости нарастания растягивающих напряжений в наплавленном валике в период его кристаллизации. Образование горячих трещин происходит в период нахождения расплава в твердожидком состоянии при определенной величине и скорости нарастания внутренних напряжений.

Высокоскоростное газотермическое напыление. В основе метода лежит нагрев порошковых частиц и их нанесение со скоростью

от 300 до 1000 м/с на поверхность детали (рис. 7.22). Частицы порошка посредством газовой струи переносятся на деталь, обладая высокой кинетической энергией, которая при ударе о подложку превращается в тепловую. В качестве напыляемых материалов используются различные металлические и металлокерамические порошки. При этом происходит увеличение износостойкости более чем в 1,5 раза, увеличение коррозионной стойкости в 2 и более раз, восстановление износа посадочных и трущихся поверхностей от 10 мкм до 5 мм по диаметру с плотностью покрытия 99 % (рис. 7.23).



Рис. 7.22. Процесс газотермического напыления шеек коленчатого вала

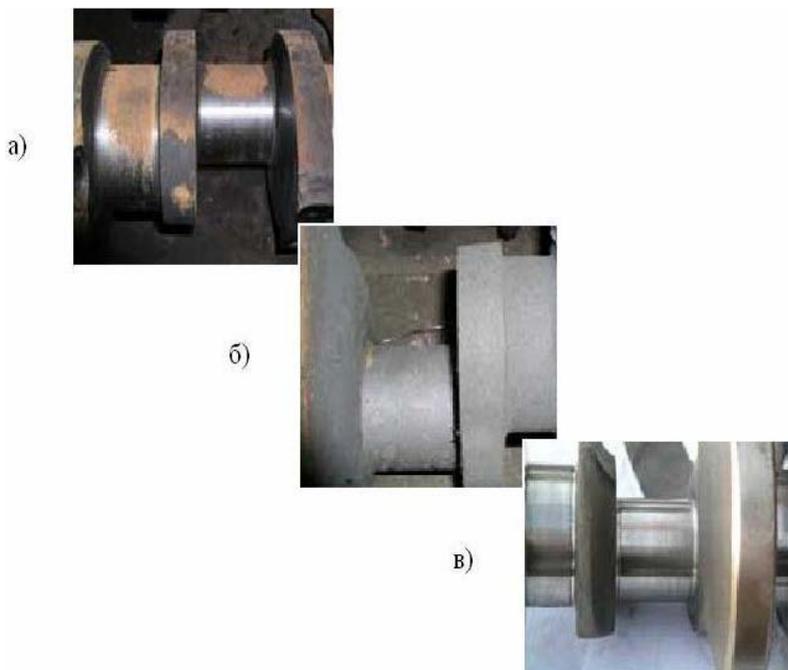


Рис. 7.23. Фрагмент коленчатого вала автомобиля:
a – изношенная поверхность шеек; *б* – напыленная поверхность;
в – поверхность шейки вала после финишной обработки

Ремонт поддона картера двигателя

Поддон картера двигателя (масляный картер) представляет собой тонкостенный резервуар для моторного масла, расположенный под двигателем (рис. 7.24). В самой нижней его части у дна находится заборник масляного насоса. При наезде на препятствие в месте удара образуется вмятина или даже пробоина. Смятый поддон может перекрыть или повредить маслозаборник и поступление масла в двигатель прекратится. То же самое произойдет и в случае его утечки через пробоину.



Рис. 7.24. Поддон картера двигателя: *а* – внешний вид поддона; *б* – поддон установлен на картере двигателя

В основном поддоны изготавливают штамповкой из сталей, однако встречаются поддоны, которые изготавливают путем литья из алюминиевых сплавов.

Технология ремонта поддона включает следующие операции:

- очистка картера от остатков масла, нагара и коррозии;
- рихтовка поддона, восстановление его геометрии;
- заварка трещин, наплавка пробоев или постановка заплат;
- нанесение на поддон лакокрасочного или другого антикоррозийного покрытия.

Заварка поддонов из алюминиевых сплавов осуществляется в основном с помощью аргонодуговой сварки плавящимся или неплавящимся (вольфрамовым) электродом с подачей присадочного прутка, по составу идентичного основному металлу.

7.4. Восстановление деталей автомобилей с использованием синтетических материалов

Ремонт деталей и узлов синтетическими материалами находит все более широкое применение в ремонтном производстве. В качестве синтетических материалов используются составы на основе эпоксидной смолы, различные пластмассы и клеи. Нанесение синтетических материалов на поверхность изношенных или поврежденных деталей в основном осуществляется двумя способами: покрытие из раствора кистью и покрытие литьем под давлением. Нанесение покрытий из раствора кистью используют для восстановления изношенных или поврежденных поверхностей крупногабаритных, а также сложных по конфигурации деталей. Склеивать можно различные материалы, соединять которые другими способами затруднительно или даже невозможно. При этом не меняется структура материалов и их физические свойства, так как отсутствует тепловое воздействие. Клеи должны выдерживать вибрации и значительные температуры, быть водо- и маслостойкими и затвердевать достаточно быстро. Клеи нужны для заделывания трещин и проломов, соединения деталей, защиты и выравнивания поверхностей, восстановления изношенных мест, изготовления и закрепления деталей и уплотнения соединений.

Ремонт деталей с применением капрона

В ремонтной практике наибольшее распространение получил капрон марок А и В. Это твердый материал белого цвета с желтым оттенком, имеющий высокую прочность, износостойкость, масло- и бензостойкость, а также хорошие антифрикционные свойства. Поставляется он в виде гранул размером 7...8 мм. Основными недостатками капрона являются низкая теплопроводность, теплостойкость и усталостная прочность. Максимально допустимая рабочая температура капроновых покрытий составляет от минус тридцати до плюс восьмидесяти градусов Цельсия. Покрытием из капрона ремонтируют поверхности втулок валов, вкладышей и других деталей. Ремонт изношенных поверхностей деталей с применением капрона в большинстве случаев производят литьем под давлением на специальных литьевых машинах. Капрон (в виде порошка размером

0,2...0,3 мм) можно наносить на поверхность детали напылением. Сущность этого способа состоит в том, что на подготовленную и подогретую поверхность детали наносится порошкообразный капрон. Ударяясь о разогретую деталь, частицы порошкообразного капрона плавятся, образуя пластмассовое покрытие.

Ремонт деталей с применением капрона литьем под давлением

На специально подготовленную изношенную поверхность детали наносят под давлением слой капрона. Деталь устанавливают в пресс-форму и в образовавшийся зазор между деталью и стенкой пресс-формы нагнетают под давлением расплавленный капрон (рис. 7.25). Затем пресс-форму раскрывают, снимают деталь, удаляют с нее литники и облой. При необходимости капроновое покрытие механически обрабатывают до получения требуемых размеров. Для улучшения качества готовую деталь термически обрабатывают в ванне с маслом при температуре 185...190 °С и выдерживают при этой температуре в течение 10...15 мин. При нанесении капрона его нагревают до 240...250 °С и подают под давлением 4...5 МПа (40...50 кгс/см²). Пресс-форму совместно с деталью предварительно подогревают до температуры 80...100 °С. Толщина покрытия рекомендуется от 0,5 до 5 мм. Литье под давлением проводится на термопластавтоматах ДБ-3329, литьевых машинах ПЛ-71 и др. Этот способ технологически прост, не требует сложного оборудования и оснастки.

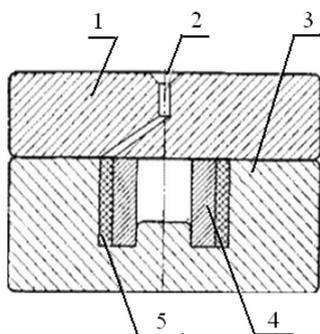


Рис. 7.25. Схема нанесения капрона на изношенную поверхность детали литьем под давлением: 1 — верхняя часть пресс-формы; 2 — литниковый канал; 3 — нижняя часть пресс-формы; 4 — ремонтируемая деталь; 5 — слой капрона

Виды напыления полимерных композиций в виде порошков

Газоплазменное напыление широко применяют для устранения вмятин и неровностей на кузовах и оперении машин. Подготовленный участок поверхности нагревают пламенем газовой горелки до температуры 200 °С. Затем специальной установкой УПН порошок воздушно-ацетиленовой струей подается на ремонтируемую поверхность. В процессе ремонта наносимый материал периодически уплотняют и формируют стальными ручными роликами.

При вихревом напылении в камеру установки загружают порошок с размером частиц 0,1...0,15 мм. Нагретую до температуры 300 °С деталь опускают в камеру, а под слой порошка вакуум-насосом подают азот. Порошок переходит в псевдосжиженное состояние, его частицы, оседая на поверхности детали, расплавляются и покрывают ее ровным слоем.

Для вибрационного напыления разогретую деталь вводят в сосуд с порошком, при этом вся система подвергается вибрации с частотой колебания 50...100 Гц; толщина слоя покрытия до 1,5 мм.

При вибровихревом напылении слой псевдосжиженного газом полимерного порошка подвергают колебаниям с частотой 50...100 Гц. При этом повышается качество покрытия. Перспективным является вибровихревое напыление на предварительно нагретую деталь. Ее устанавливают в патроне токарного станка, в резцедержателе суппорта закрепляют приспособление так, чтобы распылитель оказался выше детали (при покрытии наружных поверхностей) или внутри детали (при покрытии внутренних поверхностей). Полимерный порошок насыпают на всю длину наплавляемой поверхности и оплавливают теплом, аккумулированным металлом детали.

Ремонт деталей с применением составов на основе эпоксидной смолы

Главный связующий компонент этих составов – эпоксидная смола марки ЭД-6 или ЭД-5. Чаще применяют смолу ЭД-6. Это прозрачная вязкая масса светло-коричневого цвета. Для приготовления состава на основе смолы ЭД-6 на 100 частей (по массе) смолы вводят 10...15 частей дибутилфталата (пластификатор), до 160 частей наполнителя и 7...8 частей полиэтиленполиамина (отвердитель). В качестве наполнителя используют стальной порошок (160 частей),

алюминиевый порошок (25 частей), цемент марки 500 (120 частей). Эпоксидную смолу разогревают в таре до температуры 60...80 °С, добавляют пластификатор, затем наполнитель. Отвердитель вводят непосредственно перед употреблением, так как после этого состав необходимо использовать в течение 20...30 мин. Составы на основе эпоксидных смол применяются для ремонта деталей, работающих при температурах от минус 70 до +120 °С. Эпоксидные смолы применяют для заделки трещин и пробоин в корпусных деталях, для восстановления неподвижных посадок и резьбовых соединений.

Технология заделки трещин

При заделке трещин определяют их границы и подготавливают поверхности (рис. 7.26). Границы трещины обычно засверливают сверлом диаметром 2...3 мм и снимают фаски под углом 60...70° на глубину 2...3 мм вдоль трещины на всей ее длине. Поверхность зачищают на расстоянии 40...50 мм по обе стороны трещины до металлического блеска и делают насечки. Затем обезжиривают ацетоном. Заплату вырезают из стеклоткани такого размера, чтобы она перекрывала трещину на 20...25 мм. Состав на основе эпоксидных смол готовят непосредственно перед его применением и наносят кистью или шпателем на поверхности толщиной около 0,1...0,2 мм. После этого накладывают заплату и прокатывают роликом. Составы затвердевают при температуре 18...20 °С в течение 24 часов. При повышении температуры время на отвердевание сокращается.

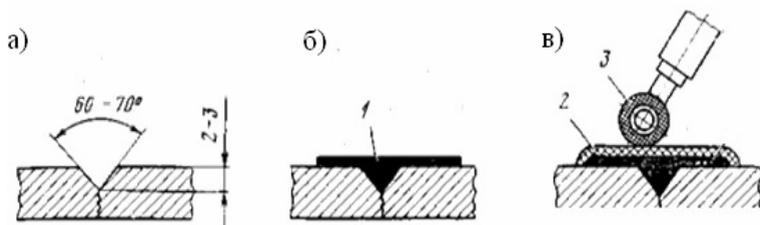


Рис. 7.26. Схема заделки трещины эпоксидной смолой:
а – разделка трещины; *б* – заполнение составом эпоксидной смолы;
в – прокатывание наклейки роликом; 1 – слой смолы с отвердителем;
 2 – наклейка; 3 – ролик

Ремонт деталей с применением клеев

В ремонтной практике наибольшее применение получили клеи ВС-10Т, ВС-350 и № 88Н. Клей ВС-10Т – прозрачная однородная жидкость темно-красного цвета. Им можно склеивать между собой и в любом сочетании различные металлы и неметаллические материалы (сталь, чугун, алюминий, медь, стеклотекстолит, асбоцементные материалы и др.). Клеевой шов устойчив против воды, нефтепродуктов, холода. Температура отвердевания клея 180 °С. Давление при сжатии склеиваемых деталей равно 0,2...0,5 МПа (2...5 кгс/см²). Время выдержки для склеивания примерно 2 часа. Клей ВС-350 – многокомпонентный жидкий раствор, применяется для склеивания деталей из стали, меди, дюралюминия и теплостойких пластмасс. Диапазон рабочих температур клея от минус 60 до +100 °С. Клей устойчив к действию топлива, масел, органических растворителей, вибрации. Температура отвердевания клея равна 200 °С, давление при сжатии склеиваемых деталей 0,1...0,3 МПа (1,0...3,0 кгс/см²), время выдержки для склеивания составляет два часа.

Клей № 88Н применяют для соединения холодным способом вулканизированных резин и тканей с металлами, деревом и другими материалами. Клеевое соединение не разрушается от воздействия воды, холода, слабых растворов кислот и может выдержать температуру не более 60...70 °С. Стойкость клея по отношению к маслам, жидким топливам и растворителям неудовлетворительная.

Синтетические клеи используют для восстановления неподвижных соединений, наклейки фрикционных накладок (вместо клепки), заделки трещин. Приклеивание фрикционных накладок по сравнению с клепкой в 3 раза снижает трудоемкость ремонта, дает возможность полнее использовать фрикционные накладки, экономит значительное количество цветного металла.

Пример технологического процесса склеивания

Технологический процесс склеивания состоит из подготовки деталей, соединения их, сжатия, выдержки при заданной температуре (склеивания) и последующей обработки (при необходимости).

Для приклеивания фрикционных накладок к стальным дискам муфты сцепления сначала удаляют старые накладки. Поверхность диска очищают от грязи и ржавчины стальной щеткой, наждачной

шкуркой или на шлифовальном круге. Затем обезжиривают поверхность диска ацетоном или бензином. Фрикционные накладки со стороны, обращенной к стальному диску, также обезжиривают ацетоном или бензином. На поверхность дисков и фрикционных накладок широкой кистью наносят первый тонкий слой клея ВС-10Т и дают ему подсохнуть на воздухе в течение 10...20 мин. На первый слой наносят второй. После этого фрикционные накладки устанавливают на диск и плотно прижимают к нему, обеспечивая давление сжатия 0,2...0,3 МПа. Накладки к диску прижимают в специальном приспособлении. Диски с прижатыми накладками помещают в сушильный шкаф, где их выдерживают при температуре 180 °С в течение 45...60 мин, а затем медленно охлаждают. Полностью остывшие диски освобождают от прижимов и удаляют с них наплывы клея, проверяют диски на коробление, торцовое биение и на суммарную толщину с накладками.

Преимущества способов ремонта деталей с использованием синтетических материалов: способы просты и надежны, имеют низкую себестоимость. При этом обеспечивается высокая износостойкость, антифрикционные свойства, достаточная прочность отремонтированных деталей и созданных клеевых соединений. В большинстве случаев не требуется сложного оборудования.

К недостаткам ремонта деталей с применением синтетических материалов следует отнести низкую теплопроводность и теплостойкость, низкую твердость и возможность изменения физико-механических свойств с изменением времени и температуры самих синтетических материалов, недостаточную усталостную прочность.

Организация рабочих мест для проведения ремонта

Участок ремонта деталей синтетическими материалами является изолированным производственным помещением. В его состав входят непосредственно помещение, где выполняется технологический процесс, и бытовые помещения (гардероб для одежды, душевая кабина, помещение для переодевания, гардероб для спецодежды, туалет, умывальник с холодной и горячей водой).

При использовании эпоксидных смол в небольших количествах разрешается работа с ними в общем помещении на постах, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией.

Если для отверждения синтетических материалов используются нагревательные устройства, то для них необходимо выделять отдельное помещение, так как некоторые вещества, используемые в процессе склеивания и нанесения паст, являются взрывоопасными (ацетон, бензин и т. п.).

Для обдува деталей к рабочим местам должна быть подведена магистраль сжатого воздуха. Детали, подлежащие ремонту, необходимо хранить на стеллажах. Для хранения инструмента около каждого рабочего места устанавливают инструментальные шкафы.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие виды ремонта кузова или кабины автомобиля предусматриваются в зависимости от степени их повреждения или коррозионного разрушения?
2. Какие способы сварки обычно применяются при ремонте кузовов и рам автомобилей?
3. Каковы преимущества полуавтоматической сварки кузовных деталей проволокой в среде углекислого газа?
4. Как заваривается трещина рамы автомобиля с помощью газовой сварки?
5. Какие типовые операции включает технология наплавки деталей трансмиссии автомобиля?
6. В каких случаях рекомендуется применять вибродуговую наплавку поверхностей деталей?
7. Какие технологические операции для восстановления эксплуатационных свойств блока и головки блока цилиндров ДВС обычно применяются?
8. Какие способы ремонтной сварки и наплавки применяют при восстановлении деталей из алюминиевых сплавов?
9. В чем заключаются трудности при наплавке изделий из алюминия и его сплавов?
10. Какими материалами наплавляют фаску и седло клапана ДВС?
11. Какие синтетические материалы применяют для восстановления деталей машин?
12. Для устранения какого рода дефектов изделий применяют эпоксидные смолы?

Библиографический список

1. Балдаев, Л.Х. Газотермическое напыление : учеб. пособие для вузов / Л.Х. Балдаев, В.Н. Борисов, В.А. Вахалин ; под общ. ред. Л.Х. Балдаева. – М. : Маркет ДС, 2007. – 344 с.
2. Белоцкий, А.В. Ультразвуковое упрочнение металлов / А.В. Белоцкий, В.Н. Винниченко, И.М. Муха. – Киев : Тэхника, 1989. – 167 с.
3. Восстановление деталей машин : справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.] ; под ред. В.П. Иванова. – М. : Машиностроение, 2003. – 672 с.
4. Применение ультразвука и взрыва при обработке и сборке / М.Ф. Вологин [и др.]. – М. : Машиностроение, 2002. – 264 с.
5. Довгяло, В.А. Методы повышения работоспособности машин и механизмов : курс лекций / В.А. Довгяло. – Гомель : Изд-во БГУТ, 2003. – 138 с.
6. Есенберлин, Р.Е. Восстановление автомобильных деталей сваркой, наплавкой и пайкой / Р.Е. Есенберлин. – М. : Транспорт, 1994. – 256 с.
7. Ельцов, В.В. Ремонтная сварка и наплавка деталей машин и механизмов : учеб. пособие / В.В. Ельцов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2012. – 176 с.
8. Ельцов, В.В. Ремонтная сварка и наплавка изделий из легких сплавов : учеб. пособие / В.В. Ельцов, В.Ф. Матягин. – Тольятти : ТГУ, 2007. – 213 с.
9. Ельцов, В.В. Оборудование для восстановления и упрочнения деталей машин и аппаратов : учеб. пособие / В.В. Ельцов // [CD] : альбом презентаций : наглядное учеб. пособие. – Тольятти : ТГУ, 2009. – 702 МБ.
10. Ельцов, В.В. Сварка плавлением металлических конструкционных материалов : учеб. пособие / В.В. Ельцов. – Тольятти : ТГУ, 2007. – 196 с.
11. Коротков, В.А. Электроискровое легирование (из опыта применения) / В.А. Коротков // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2006. – № 10. – С. 41–46.

12. Коротков, В.А. Электроискровое легирование / В.А. Коротков // Ремонт, восстановление, модернизация. – № 10. – 2005. – С. 36–41.
13. Ласковнева, А.П. Восстановление рабочей поверхности втулок скольжения пластическим деформированием / А.П. Ласковнева, А.Т. Волочко, Ж.Е. Макарова// Ремонт, восстановление, модернизация. – 2003. – № 4. – С. 32–36.
14. Марков, А.И. Ультразвуковая обработка материалов / А.И. Марков. – М. : Машиностроение, 1980. – 236 с.
15. Металлы и сплавы : справочник/ под ред. Ю.П. Солнцева ; НПО «Профессионал» ; НПО «Мир и семья». – СПб., 2003. – 456 с.
16. Ставицкий, Б.И. Из истории электроискровой обработки материалов. / Б.И. Ставицкий //Оборудование и инструмент. Серия «Металлообработка». – № 5. – 2007. – С. 46–52.
17. Хромченко, Ф.А. Сварочные технологии при ремонтных работах : справочник / Ф.А. Хромченко. – Ростов н/Д : Феникс, 2010. – 397 с.
18. Как поправить коленвал [Электронный ресурс]. – URL :<http://exhaust-systems.com.ua/stati/kak-popravit-kolenva>, свободный. – Загл. с экрана.
19. Сварочные электроды – классификация, виды, типы электродов. Сварка в защитных газах. Автоматическая сварка под флюсом [Электронный ресурс]. – URL :<http://www.svarkainfo.ru/rus/technology>, свободный. – Загл. с экрана.
20. Ультразвуковое упрочнение [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.mega-transport.ru/megatrans-156-2.html>, свободный. – Загл. с экрана.
21. Наши передовые технологии для вас [Электронный ресурс]. – URL :<http://www.castolin.com/ru-RU>, свободный. – Загл. с экрана.
22. Высокоскоростное распыление (HVOF) [Электронный ресурс]. – URL :<http://www.buehler-ag.ch/en/hvof.html>, свободный. – Загл. с экрана.
23. Как сварить алюминий. Ручная сварка [Электронный ресурс]. – URL :http://www/streetriding/nm.ru/8_1.html, свободный. – Загл. с экрана.

24. Камеры дробебетные [Электронный ресурс]. – URL :<http://www.amurlitmash.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
25. Плазменно-порошковая наплавка [Электронный ресурс]. – URL :<http://асса.dp.ua/naplavka1.htm>, свободный. – Загл. с экрана.
26. Отпуск закаленной стали [Электронный ресурс]. – URL :http://ruswelding.com/otpusk_zakalennoy_stali.html, свободный. – Загл. с экрана.
27. Восстановление звездочек [Электронный ресурс]. – URL :<http://engineering-surface.com.ua/ru/tehnologii>, свободный. – Загл. с экрана.

Глоссарий

Адгезия (от лат. *adhaesio* – прилипание) – слипание, сцепление поверхностей двух разнородных твёрдых или жидких тел, или жидкого тела с твердым телом.

Азотирование – технологический процесс диффузионного насыщения поверхности изделий атомами азота.

Вязкость – способность материала поглощать механическую энергию внешних сил за счет пластической деформации.

Деформация – изменение размеров и формы тела под действием внешних или внутренних сил.

Жаропрочность – способность материала выдерживать рабочие нагрузки при повышенных температурах.

Закалка – термическая обработка материала с целью получения твердых неравновесных структур за счет высоких скоростей охлаждения.

Зона термического влияния (ЗТВ) – участок металла, подверженный нагреву сварочным источником тепла в диапазоне температур от нормальной до температуры плавления металла.

Износостойкость – способность металла выдерживать абразивное изнашивание.

Испарение – переход жидкой фазы вещества в пар в результате подвода тепловой энергии к испаряемому веществу.

Карбид (металла) – химическое соединение металла с углеродом, например, карбид хрома, карбид титана, карбид кальция.

Молекулярная сварка «холодная» – представляет собой двухкомпонентный пластичный материал, при перемешивании обоих компонентов которого друг с другом начинается химический процесс, который приводит к затвердеванию материала. Изготавливаются эти материалы на основе эпоксидных смол с добавлением металлических и минеральных добавок.

Наклеп – упрочнение материала в процессе пластической деформации поверхности.

Нормализация – разновидность термической обработки, при которой охлаждение производится на спокойном воздухе, что способствует измельчению структуры.

Отжиг – термическая обработка с целью получения равновесных структур, обеспечивает устранение закалочных (неравновесных) структур.

Отпуск – термическая обработка с целью обеспечения распада неравновесных структур или снятия остаточных напряжений, вызванных технологической обработкой (например, сваркой или наплавкой).

Обмазка электрода – специально приготовленная шихта из природных минералов и ферросплавов с добавлением «жидкого стекла» для нанесения на поверхность стального стержня.

Проволока порошковая – трубчатая, сложного внутреннего сечения металлическая проволока, заполненная специальным неметаллическим порошком, обеспечивающим при его расплавлении в процессе сварки защиту сварочной ванны и стабильность горения дуги.

Проволока присадочная – электрически нейтральная металлическая проволока, подаваемая в сварочную ванну для формирования шва или наплавляемого валика.

Проволока электродная – металлическая проволока для формирования сварного шва или наплавленного валика, через которую протекает сварочный ток и с торца которой горит дуга, оплавляя ее.

Прочность технологическая – способность металла не разрушаться под воздействием технологической обработки, например отсутствие трещин при сварке или наплавке изделий.

Рекристаллизация – изменение структуры вследствие нагрева после сварки или холодной пластической деформации металла.

Скин-эффект – затухание электромагнитных волн по мере их проникновения в проводящую среду.

Сублимация – переход вещества при нагреве в газообразное состояние, минуя жидкую фазу.

Сормайт – литой сплав, изготавливается в виде прутков диаметром 3...8 мм и длиной до 450 мм. Применяется для наплавки быстрознашивающихся частей деталей машин и инструментов. Выпускается двух сортов: сормайт № 1 и сормайт № 2. Сормайт № 1 имеет следующий химический состав: никеля – 3...5 %, хрома – 25...31 %, марганца – 1,5 %, углерода – 2,5...3,3 %, кремния – 2,8...4,2 %, остальное – железо. Твердость HRC 48...52. Сормайт № 1 не требует

термообработки после наплавки и может обрабатываться только шлифовкой карборундовыми камнями.

Флюс (сварочный) – специально приготовленный неметаллический гранулированный порошок с размером отдельных зерен от 0,25 до 4 мм, предназначен для защиты расплавленного металла сварочной ванны от воздействия атмосферы, раскисления и легирования металла, а также для обеспечения устойчивого горения дуги.

Фреттинг-коррозия – коррозия, возникающая в паре трения при минимальном повторяющемся перемещении двух поверхностей относительно друг друга в условиях воздействия коррозионной среды. Обычно возникает в шпоночных, шлицевых соединениях, в местах посадок подшипников на валы.

Цементация – технологический процесс диффузионного насыщения поверхностей изделий углеродом.

Цикл термический – зависимость температуры точки металла от времени при воздействии на него сварочной дуги.

Шихта – смесь материалов в определённой пропорции, подлежащих переработке в металлургических, химических и других агрегатах. Шихта рассчитана на получение конечных продуктов с заданными физическими и химическими свойствами.

Электрод сварочный покрытый – металлический стержень диаметром обычно от 1 до 6 мм, покрытый специальной обмазкой для обеспечения стабильности горения дуги и обеспечения защиты сварочной ванны от воздействия окружающей среды.

Характеристики электродов общего назначения

Тип электрода	Марка электрода	Свариваемый материал	Род тока	Положение сварки
Э 42	ОМА-2	Углеродистые стали с $\sigma_b > 410$ МПа тонколистовые	Переменный, постоянный обратной полярности	Все положения
Э 42А	УОНИ 13/45	Углеродистые и низколегированные стали с $\sigma_b \leq 410$ МПа при повышенных требованиях к металлу шва по пластичности, ударной вязкости и стойкости против образования трещин	Постоянный обратной полярности	Все положения (электроды диаметром 5,0 мм – нижнее и вертикальное)
	СМ-11			
Э 46	ОЗС-12	Углеродистые стали с $\sigma_b \leq 450$ МПа	Переменный, постоянный прямой полярности	Все положения (электроды диаметром 5,0 мм – нижнее и вертикальное)
	МР-3		Переменный, постоянный обратной полярности	
	ОЗС-6		Переменный, постоянный любой полярности	
	ОЗС-4			
	АНО-4		Переменный, постоянный обратной полярности	Все положения (электроды диаметром 5,0 мм – нижнее и вертикальное)
	ОЗС-32		Переменный, постоянный прямой полярности	
	ОЗС-21		Переменный, постоянный обратной полярности	
Э 46А	УОНИ 13/55К	Углеродистые и низколегированные стали с $\sigma_b \leq 450$ МПа при повышенных требованиях к металлу шва по пластичности, ударной вязкости и стойкости против образования трещин	Постоянный обратной полярности	Все положения (электроды диаметром 5 мм – нижнее)
	ВН-48		Постоянный обратной полярности, переменный – для диаметров электродов 4 и 5 мм	

Тип элект-рода	Марка элект-рода	Свариваемый материал	Род тока	Положение сварки
Э 50А	УОНИ 13/55	Углеродистые и низколегированные стали с $\sigma_v \leq 490$ МПа при повышенных требованиях к металлу шва по пластичности, ударной вязкости и стойкости против образования трещин	Постоянный обратной полярности	Все положения (электроды диаметром 5 мм – нижнее и вертикальное)
	ОЗС-33		Переменный, постоянный любой полярности	
	ОЗС-25	То же, в том числе и при пониженных температурах	Постоянный обратной полярности	
	ОЗС-18	Низколегированные стали с $\sigma_v < 490$ МПа стойкие к атмосферной коррозии		
Э 55	УОНИ 13/55У	Углеродистые и низколегированные стали марок Ст5, 25Г2С, 35ГС и др. при сварке стержней арматуры и рельсов	Переменный, постоянный обратной полярности	Нижнее
Э 60	УОНИ 13/65	Углеродистые и низколегированные стали с $\sigma_v \leq 590$ МПа	Постоянный обратной полярности	Все положения (электроды диаметром 5 мм – нижнее и вертикальное)
	В6Ф-65У	То же, преимущественно для сварки трубопроводов		Все положения

Характеристики наплавочных электродов

Марка электрода и сердечника	Назначение электрода	Твердость наплавленного металла	Особенности наплавки
ОЗН-300М, сердечник – проволока Св-08, Св-08Г2С	Наплавка деталей из углеродистых и низколегированных сталей, работающих в условиях трения и ударных нагрузок	НВ 250–350	В нижнем положении на переменном и постоянном токе обратной полярности
ОЗН-400М, сердечник – проволока Св-08, Св-08Г2С		НВ 350–450	
ОЗН-7, сердечник – проволока Св-08	Наплавка быстро изнашивающихся деталей, работающих при значительных ударных нагрузках	HRC > 55	В нижнем положении на постоянном токе обратной полярности. Обеспечивает трещиностойкость при многослойной наплавке
ОЗШ-3, сердечник – проволока Св-08, Св-08А	Наплавка быстро изнашивающихся деталей	HRC 52–58	На постоянном токе обратной полярности, в нижнем и вертикальном положении в 1–4 слоя с подогревом до 300–400 °С
НР-70, сердечник – проволока Св-08, Св-08А	Наплавка деталей из углеродистых сталей, работающих в условиях трения качения и ударных нагрузок	НВ 300–390	Наплавка на постоянном токе обратной полярности широкими валиками
ОМГ-Н, сердечник – проволока Св-06Н3А	Наплавка деталей из высокомарганцевистой стали типа 110Г13, 110Г13Л	HRC 25–33	Наплавка в нижнем и наклонном положениях на переменном или постоянном токе с минимальным разогревом детали
ЦНИИН-4, сердечник – проволока Х14Г4Н3Т	Наплавка и заварка дефектов на деталях из стали 110Г13 и 110Г13Л	НВ 450–500	Наплавка на постоянном токе обратной полярности в нижнем положении

Марка электрода и сердечника	Назначение электрода	Твердость наплавленного металла	Особенности наплавки
ОЗИ-3, сердечник – проволока Св-08, Св-08А	Наплавка быстроизнашивающихся деталей	HRC 58–63	Наплавка в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности в 1–4 слоя с предварительным прогревом до 300–600 °С, медленным охлаждением с печью или в песке, отжигом или отпуском при 560 °С в течение 2 ч
ОЗН-6, сердечник – проволока Св-08, Св-08Г2С	Наплавка быстроизнашивающихся деталей, работающих в условиях интенсивного износа и значительных ударных нагрузок	HRC > 55	Наплавка в нижнем положении на переменном токе или постоянном обратной полярности. Наплавленный металл обладает повышенной трещиностойкостью при многослойной наплавке и в условиях ударных нагрузок

**Проволоки порошковые для наплавки, порошковые проволоки
самозащитные, порошковые проволоки для стали 110Г13Л**

Наименование продукции	Твердость, HRC, диаметр, мм	Область применения
ПП-12X10Н9Г15* (аналог ППАНВ-2У)	ТУУ 20200793-001-2000-2,3–3,0	Самозащитная для сварки комбинированных соединений перлитных сталей типа 30Г с аустенитными типа 110Г13Л, а также электродуговая наплавка и металлизация деталей из низкоуглеродистых и высокомарганцовистых сталей типа 110Г13Л
ПП-Нп-200Х15С1ГРТ (ПП-АН-125)	ГОСТ 26101–8450–562,6–3,2	Самозащитная для наплавки деталей, испытывающих абразивный износ с умеренными ударными нагрузками, в частности, лемехов плугов, ножей бульдозеров и грейдеров; зубьев, козырьков и стенок ковшей экскаваторов, лопаток смесителей
ПП-Нп-80Х20Р3Т (ППАН-170)	ГОСТ 26101–8458–672,6–3,2	Самозащитные для наплавки деталей, испытывающих интенсивный абразивный износ и газоабразивный, в частности, тарельчатых клапанов доменных печей, шламовых насосов, лемехов плугов, ножей бульдозеров и грейдеров, зубьев ковшей экскаваторов, лопаток смесителей
ПП-Нп-20Х13Г12МЗТ	ТУУ 27.1-30268695-001-2001230-3002,6–3,6	Самозащитная, а также для наплавки под нейтральными флюсами типа АН-20, АН-26. Предназначена для наплавки деталей, подвергающихся интенсивному гидроабразивному износу при кавитационных и коррозионных воздействиях
ПП-Нп-80Х8М2С1ФТ	ТУУ 27.1-30268695-001-200153-572,6–3,6	Самозащитная, а также для наплавки под нейтральными флюсами типа АН-20, АН26. Предназначена для наплавки деталей, работающих в условиях температурно-деформационного циклирования

Наименование продукции	Твердость, HRC, диаметр, мм	Область применения
ПП-08Х20Н9Г7Т	ТУУ 27.1-30268695-001-2001150-180 НВ 3,6–6,0	Для сварки и наплавки низколегированных, высокомарганцовистых сталей типа Г13Л, разнородных сталей; наплавка валков пилигримовых станов, плунжеров гидропрессов, лопаток гидротурбин и др. Сварку и наплавку рекомендуется осуществлять под флюсами АН-20, АН-26
ПП-Нп-25Х5ФМС (ППАН-130)	ГОСТ 26101–8440–463,6–6	Для наплавки ножей горячей резки металла, прессовочного и штамповочного инструмента, штампов горячей штамповки, валков горячей прокатки, пресс-пуансонов. Рекомендуются для наплавки под флюсами АН-20, АН-26, АН-60
ПП-Нп-30Х4В2М2ФС (ППАН-132)	ГОСТ 26101–8447–511,8–6	Наплавка направляющих линеек прокатных станов, штампов горячей штамповки и др.
ПП-Нп-60Х3В10ФТ	ТУУ 27.1-30268695-001-2001400-495 НВ 3,6–6,0	Для наплавки под флюсами АН-20, АН-26 ножей горячей резки металла, прессового и штамповочного инструмента, прокатных валков непрерывных, раскатных станов, головок пресс-пуансонов прошивного пресса
ПП-Нп-50Х6ФМС	ТУУ 27.1-302686995-001-2001360-400 НВ 3,6–6,0	Наплавка под флюсом АН-20 валков трубопрокатных, сортопрокатных станов, штампов горячей штамповки
ПП-Нп-14ГСТ ПП-Нп-19ГСТ (аналог ПП-ТН-250)	ГОСТ 26101–84250–300 НВ 2,6–3,0	Самозащитные для наплавки валов, опорных катков, шкивов, автосцепок на ж/д транспорте. Применяются также для наплавки в атмосфере CO ₂
ПП-Нп-ПСТ2	ТУУ 28.7-30268695-006-2004 210–260 НВ 3,0–6,0	Наплавка лопастей гидротурбин, крановых колёс, валов, осей, шкивов, плунжеров гидроприводов и других деталей, работающих в условиях кавитации и трения
ПП-Нп-ПСТ3	ТУУ 28.7-30268695-006-2004 22–28 HRC 2,0–6,0	Наплавка поверхностей тяжело нагруженных деталей передаточных узлов (например, шестерён), а также валов, осей, шкивов, роликов, валков, крановых колёс, автосцепок на железнодорожном транспорте, заварка дефектов литья

Наименование продукции	Твердость, HRC, диаметр, мм	Область применения
ПП-Нп-ПСТ4	ТУУ 28.7-30268695-006-2004 48–56 HRC 3,6–6,0	Наплавка высокохромистого износостойкого чугуна на поверхность деталей, в частности, наплавка направляющих линеек прокатных станов
ПП-Нп-ПСТ8	ТУУ 28.7-30268695-006-2004 180–300 HB 3,6–6,0	Наплавка деталей оборудования из конструкционных низколегированных сталей и сталей аустенитного класса в химическом аппарато- и машиностроении, нефтеперерабатывающей промышленности, работающих в агрессивных средах. Наплавленный слой обеспечивает стойкость к общей и межкристаллитной коррозии
ПП-Нп-ПСТ20	ТУУ 28.7-30268695-006-2004 170–240 HB 3,2–6,0	Наплавка деталей, работающих в слабоагрессивных и агрессивных средах, таких как вода, пар, аммиак, влажный природный газ, жидкие и газообразные углеводородные среды. Наплавленный металл обеспечивает высокую коррозионную стойкость, жаропрочность и жаростойкость
ПП-Нп-ПСТ119	ТУУ 28.7-30268695-006-2004 160–280 HB 3,0–6,0	Наплавка деталей из аустенитных марганцовистых сталей, работающих в условиях высоких удельных давлений, существенных ударных нагрузок и трения металла по металлу, в частности, наплавка бронеплит, а также заварка дефектов литья из марганцовистой стали типа 110Г13Л
ПП-Нп-ПСТ180	ТУУ 28.7-30268695-006-2004 300–380 HB 2,2–6,0	Наплавка опорных катков, валов, осей, крановых колёс, деталей ходовой части гусеничных машин, звеньев агломерационных машин, роликов рольгангов
ПП-Нп-ПСТ189	ТУУ 28.7-30268695-006-2004 7–24 HRC 3,6–6,0	Наплавка оборудования и арматуры, работающих в контакте со средами повышенной агрессивности в химической и нефтеперерабатывающей промышленности
ПП-Нп-ПСТ350	ТУУ 28.7-30268695-006-2004 47–52 HRC 3,0–6,0	Наплавка валов трубопрокатных, сортопрокатных станов, штампов горячей прокатки

Наименование продукции	Твердость, HRC, диаметр, мм	Область применения
ПП-Нп-ПСТ1009	ТУУ 28.7-30268695-006-2004 150–220 HB 3,6–6,0	Наплавка и сварка марганцовистых, упрочняющихся и трудно свариваемых сталей. Используется также для создания буферного слоя при нанесении твёрдосплавных покрытий, для ремонта рельсов без их подогрева
ПП-Нп-ПСТ1795	ТУУ 28.7-30268695-006-2004 24–34 HRC 3,6–6,0	Наплавка уплотнительных поверхностей трубопроводной арматуры, а также других деталей, работающих при повышенной температуре и высоком давлении в агрессивных средах. Металл наплавленного слоя отличается особыми требованиями к общей и межкристаллитной коррозии, стойкостью против эрозии и задиоров
ПП-Нп-ПСТ2013	ТУУ 28.7-30268695-006-2004 220–300 HB 3,2–6,0	Наплавка деталей, подвергающихся интенсивному гидроабразивному износу, обусловленному кавитационным и коррозионным воздействиями. Наплавленный металл обеспечивает высокую жаропрочность и коррозионную стойкость
ПП-Нп-ПС-ТЭКБ	ТУУ 28.7-30268695-006-2004 не менее 59 HRC 3,2–6,0	Наплавка лемехов плугов, ножей бульдозеров и грейдеров, зубьев ковшей экскаваторов, лопаток смесителей, рабочих колес, улиток насосов и др.
ПП-Нп-ПС-ТЭКБ2	ТУУ28.7-30268695-006-2004 50–60 HRC 3,2–6,0	Наплавка конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей, валков и бил коксовых дробилок, броневых плит, ножей бульдозеров
ПП-Нп-200X12М (ППАН-103)	ГОСТ 26101–8440–44 3,6	Наплавка флюсами АН-20, АН-26 деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания и ударных нагрузок, роликов рольгангов, ножей холодной резки металла, шеек смесителей
ПП-Нп-30X5Г2СМ (ППАН-122)	ГОСТ 26101–8450–56 2,0–3,6	Наплавка под флюсом АН-20 катков, валов, осей, шнеков и др.
ПП-Нп-350X10Б8Т2	ГОСТ 26101–8450–56 2,8–4,0	Самозащитная для наплавки деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного и газоабразивного износа

Наименование продукции	Твердость, HRC, диаметр, мм	Область применения
ПП-Нп-18Х1Г1М (ПП АН-120)	ГОСТ 26101–84350–400 НВ 3,6	Для наплавки под флюсом АН-348 колёс кранов, тормозных шкивов, роликов рольгангов, посадочных мест валов, валков обжимных станов
ПП-Нп-90Г13Н4 (ПП АН-105)	ГОСТ 26101–84160–240 НВ 2,8–3,0	Самозащитная для заварки дефектов литых деталей из стали 110Г13Л
ПП-Нп-10Х14Т (ПП-АН106)	ГОСТ 26101–8442–48 1,8–3,6	Наплавка под флюсом АН-20 уплотнительных поверхностей арматуры, газовой и нефтяной аппаратуры, плунжеров гидропрессов и др. Может использоваться для наплавки в атмосфере CO ₂
ПП-Нп-10Х17Н9С5ГТ (ППАН-133)	ГОСТ 26101–8427–34 2,8–3,6	Самозащитная, а также для наплавки под флюсами АН-20, АН-26 энергетической и химической аппаратуры
ПП-Нп-30Х20МНФ*	ТУУ 27.1-30268695-001-200138-44 2,2–3	Металлизация и наплавка под флюсом АН-20 плунжеров гидропрессов, лопаток турбин и др.
ПП-Нп-12Х13	ТУУ 27.1-30268695-001-200140-46	Наплавка под флюсом АН-20 деталей металлургического, энергетического и другого оборудования