

В.А. БЕЛЕВИТИН, А.В. СУВОРОВ

**УПРОЧНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Справочное пособие

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Челябинский государственный педагогический университет»

В.А. Белевитин, А.В. Суворов

**УПРОЧНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Справочное пособие

Челябинск
2015

УДК 621.8
ББК 35.44
Б 43

Белевитин, В.А. Упрочнение и восстановление деталей машин [Текст]: справочное пособие / В.А. Белевитин, А.В. Суворов. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2015. – 263 с.: ил.

ISBN 978-5-906777-38-6

В справочном пособии содержатся материалы по ключевым разделам дисциплины «Упрочнение и восстановление деталей машин». Подборка справочных материалов включает сведения о методах определения дефектов деталей и механизмов двигателей внутреннего сгорания автомобилей, технологиях упрочнения и восстановления изношенных и поврежденных деталей автотранспортной техники соответственно специфике подготовки бакалавров профессионального обучения по направлению 050500.15 «Транспорт», специализация «Автомобили и автомобильное хозяйство». Приводятся иллюстрации справочных материалов, оригинальные рисунки и таблицы, сведения об особенностях технологических процессов упрочнения и восстановления деталей машин и т.д., недостаточно полно освещённые в учебной и учебно-методической литературе.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 050500.15 «Транспорт», специализация «Автомобили и автомобильное хозяйство».

Рецензенты: Г.А. Орлов, д-р тех. наук, профессор
К.Н. Смирнов, канд. тех. наук

ISBN 978-5-906777-38-6

©В.А. Белевитин, А.В. Суворов, 2015
© Издательство Челябинского государственного педагогического университета, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Глава 1. Дефектация деталей и механизмов двигателя	7
Глава 2. Технологии упрочнения деталей машин	78
Глава 3. Технологии восстановления деталей машин	166
Библиографический список	260

ВВЕДЕНИЕ

Предметом дисциплины «Упрочнение и восстановление деталей машин» являются особенности и закономерности износа деталей автомобилей, оценки их ремонтпригодности и способов восстановления работоспособности различными технологическими методами с установленными показателями качества, наименьшими затратами труда, энергии и материалов, без ущерба для окружающей среды. Цель дисциплины состоит в том, чтобы дать обучающимся теоретические знания и сформировать у них практические навыки, необходимые для разработки технологических процессов и методов организации восстановления работоспособности деталей информацией о структуре и особенностях авторемонтного производства, об основных технологических процессах разборки и очистки автомобилей, диагностирования и испытаниях ремонтируемых автомобилей, восстановлении деталей, сборки, обкатки, об обоснованном выборе лучших технических решений источниках экономической эффективности ремонта.

При подготовке специалистов по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей основное внимание уделяют изучению изменения технического состояния автомобилей в процессе их эксплуатации, причинам и закономерностям этих изменений, а также оценкам их влияния на показатели надежности и работоспособности автомобилей.

Современный автомобиль состоит из 15 000–20 000 деталей, из которых 7 000–9 000 теряют свои первоначальные свойства в процессе эксплуатации, причем около 3 000–4 000 деталей имеют срок службы меньший, чем у автомобиля в целом. Из них от 80 до 100 деталей автомобиля влияют на безопасность его движения, а 150–300 деталей, «критических» по надежности, чаще других требуют замены, вызывают наибольшие простои автомобилей, ресурсные затраты в эксплуатации. В процессе эксплуатации автомобиль взаимодействует с окружающей сре-

дой, а его элементы взаимодействуют между собой. Это взаимодействие влечет нагружение деталей, их взаимные перемещения, вызывающие трение, нагрев, химические и другие преобразования и, как следствие, изменение в процессе работы физико-химических свойств и конструктивных параметров: состояния поверхностей, размеров деталей и их взаимного расположения, зазоров, электрических и других свойств.

Около 70–75% деталей автомобиля, поступивших на капитальный ремонт, основным источником экономической эффективности которого является использование остаточного ресурса их деталей, может быть использовано повторно либо без ремонта, либо после небольшого ремонтного воздействия. Детали, полностью исчерпавшие свой ресурс и подлежащие замене, составляют 25–30% всех деталей. Это поршни, поршневые кольца, подшипники качения, резинотехнические изделия и другие. Количество деталей, износ рабочих поверхностей которых находится в допустимых пределах, что позволяет использовать их без ремонта, достигает 30–35%. Остальные 40–45% деталей автомобиля могут быть использованы повторно только после их восстановления. К ним относится большинство наиболее сложных металлоемких и дорогостоящих деталей автомобиля, в частности блок цилиндров, коленчатый и распределительные валы, головка цилиндров, картеры коробки передач и заднего моста.

Технологию по восстановлению деталей автомобиля можно отнести к разряду ресурсосберегающих, связано это с тем, что затраты значительно сокращаются в сравнении с изготовлением аналогичных новых деталей. Так стоимость восстановления таких деталей, как блок цилиндров, коленчатый и распределительные валы, не превышает 10–50% стоимости изготовления.

Большое число поломок автомобилей обусловлено значительным износом рабочих поверхностей (до 55%): из-за повреждений из строя выходит около 18% деталей и примерно 8% отказов вызвано различными трещинами. Первое место среди всех

поломок деталей автомобилей занимает двигатель автомобиля – это около 48%. Около 80% всех повреждённых деталей можно восстановить при износе около 0,3 мм. Их работоспособность полностью может быть восстановлена с помощью нанесения на них тонкого покрытия. Благодаря нанесению металла на поверхности и последующей механической обработке можно ещё неоднократно использовать деталь.

В настоящее время имеется большое число различных способов восстановления изношенных деталей, все они проверены на практике. К ним относятся способы использования дополнительных деталей, ремонтных размеров, пластической деформации, металлизации, газотермических, электролитических и других покрытий, сварки и наплавки. В обеспечение с учетом требований работодателя изучения особенностей и закономерностей износа деталей автомобилей, их диагностирования и оценки ремонтпригодности, способов восстановления работоспособности различными технологическими методами и освоения общих и профессиональных компетенций в настоящий справочник включены терминологический словарь, представляющий термины в соответствии с разделами по технологиям упрочнения и восстановления деталей машин. Справочный материал изложен применительно к наиболее массовым представителям техники (автомобилям, которые имеют в своем составе восстанавливаемые элементы, подобные элементам других машин) и включает сведения о методах определения дефектов деталей и механизмов (прежде всего двигателей внутреннего сгорания автомобилей), технологиях упрочнения и восстановления изношенных и поврежденных деталей автотранспортной техники.

ГЛАВА 1. ДЕФЕКТАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ И МЕХАНИЗМОВ ДВИГАТЕЛЯ

Примерно 80–90% отказов машин и механизмов происходит из-за износа узлов и деталей. При работе машин изменяются размеры их деталей, структура конструкционных материалов, в них появляются внешние и внутренние, видимые и скрытые дефекты. В результате – снижается мощность двигателя, уменьшается развиваемое усилие на рабочих органах и производительность машин. В этом случае говорят, что машина изнашивается. Задачей ремонта является восстановление правильной формы деталей и первоначальных зазоров (натягов) между сопряженными деталями, нарушенных при износе. При ремонте автомобиля восстанавливают номинальные размеры деталей или обрабатывают их под ремонтные размеры.

А

Аэрозоль [от греч. *aero* – воздух и лат. *sol(utio)* – раствор] – дисперсные системы с газовой дисперсионной средой и твердой или жидкой дисперсной фазой. По способу образования различают конденсационные и диспергационные аэрозоли. Применение: аэрозольная краска для автомобилей, смазка для автомобиля WD40, силиконовый размораживатель стекол и антиобледенители, специальный аэрозоль для достижения наилучшего результата при шлифовании и др.

Б

Безотказность – свойство изделия сохранять работоспособность в течение заданной наработки без вынужденных перебоев. Основным показателем безотказности является вероятность безотказной работы в течение заданного времени или заданной наработки.

В

Вал – термин, применяемый для обозначения наружных (охватываемых) элементов деталей. Основной вал – это вал, верхнее отклонение которого равно нулю.

Взаимозаменяемость – свойство элементов конструкции, изготовленных с определённой точностью геометрических, механических, электрических и иных параметров, обеспечивать заданные эксплуатационные показатели вне зависимости от времени и места изготовления при сборке, ремонте и замене этих элементов. Для облегчения выполнения условий взаимозаменяемости рекомендуется использовать нормальные линейные размеры, установленные на основе стандартных рядов предпочтительных чисел.

Виды взаимозаменяемости:

- Полная взаимозаменяемость (требуемые характеристики всех элементов). Полностью взаимозаменяемыми называются детали и узлы, устанавливаемые при сборке без дополнительных операций по обработке, без регулирования и подбора.

- Неполная (частичная, ограниченная) взаимозаменяемость. Часть элементов имеет погрешность (характеристику) большую, чем допуск на сборку. При этом возникает риск не собрать изделие). При сборке требуется установка детали или узла с размерами определённой группы, т.е. групповой подбор деталей.

- Групповая взаимозаменяемость. Требуемые характеристики достигаются путём включения элементов, принадлежащих общей группе заранее измеренных и рассортированных).

- Регулировка. Требуемые характеристики достигаются регулировкой специального элемента путём изменения места, положения или введения дополнительного элемента).

- Пригонка. Для достижения заданных свойств конструкции изменяют параметры элемента (заранее назначенного), необходимые для успешной сборки).

- Размерная взаимозаменяемость – подразумевает взаимозаменяемость по присоединённым размерам.
- Параметрическая взаимозаменяемость – это необходимость регулировки различных параметров изделия.
- Внешняя взаимозаменяемость – взаимозаменяемость по выходным данным узла, которыми могут являться либо присоединительные, либо эксплуатационные параметры.
- Внутренняя взаимозаменяемость – это взаимозаменяемость отдельных узлов или механизмов, входящих в изделие.

Взаимозаменяемость ускоряет проектирование машин, позволяет изготавливать детали высокопроизводительными методами современной технологии. Значительно облегчается и ускоряется сборка машин, создается возможность осуществлять при ремонте быструю замену изношенных деталей запасными.

Взаимозаменяемость деталей машин обеспечивается *системой допусков и посадок*. Общие положения и основы построения системы допусков и посадок для гладких элементов деталей (цилиндрических или ограниченных параллельными плоскостями) с номинальными размерами до 3 150 мм установлены стандартом СТ СЭВ 144-75 и СТ СЭВ 145-75.

При изготовлении деталей машин нельзя получить идеально точные размеры. Вместе с тем для нормальной работы машины идеальная точность изготовления деталей и не требуется. Для того чтобы изделие отвечало своему целевому назначению, его размеры должны находиться между двумя допустимыми предельными значениями.

Виброустойчивость – это способность конструкции работать без недопустимых колебаний в заданном диапазоне режимов. Вибрация чаще всего появляется в результате недостаточной жесткости деталей машин, неуравновешенности вращающихся масс, повышения рабочих скоростей и т.д. Вибрация вызывает дополнительные переменные напряжения, создает шум, ухудшает качество работы машины, а в случае резонанса может вызвать усталостные разрушения деталей машины.

Виды износа – классифицируются следующим образом (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Классификация видов износа (по И. В. Крагельскому)

1. *Микрорезание* (рис. 1.1, I). Выступы на более твердом материале фрикционной пары, а также абразивные частицы и другие включения срезают с контртела мельчайшую стружку при каждом своем соприкосновении.

2. *Оттеснение материала пластическое вследствие повторного деформирования и передеформирования* (рис. 1.1, II). Выступающие частицы материала гонят перед собой волну. При многократном передеформировании происходит отслаивание частиц поверхности.

3. *Оттеснение материала упругое* (рис. 1.1, III). Наиболее благоприятный случай: разрушения практически нет, идет крайне медленный износ.

4. *Разрушение схватывающихся пленок* (рис. 1.1, IV). Соприкасающиеся поверхности всегда покрыты пленками, оксидными или другого химсостава. При соприкосновении двух поверхностей пленки в местах контакта схватываются, образуя интерметаллическую зону. При движении происходит разрушение и выкрашивание частиц. На обнажившемся месте возникают новые пленки. И так многократно чередуются циклы образования разрушения и удаления пленок.

5. *Разрушение основного материала, глубинное вырывание* (рис. 1.1, V). Этот тип разрушения, называемый еще осповид-

ным изнашиванием – питтингом, имеет место тогда, когда при контакте двух пар образуется связь более прочная, чем основной материал одного или двух элементов, участвующих в процессе трения.

Виды разрушения при трении – могут быть допустимыми и недопустимыми (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Классификация видов разрушения при трении

Восстановление изношенных деталей – сложный организационно-технологический процесс, при котором в отличие от производства новых деталей в качестве заготовки используют изношенную, но уже сформированную деталь. В этом случае затраты на выполнение таких операций, как литье, ковка, штамповка и т.п., отсутствуют. В то же время при восстановлении изношенных деталей появляется ряд дополнительных операций: мойка, разборка, дефектация, комплектация, затраты на которые

следует учитывать. В ремонтной практике применяются следующие основные *способы восстановления изношенных деталей*: механическая и слесарная обработка, сварка, наплавка, металлизация, хромирование, никелирование, осталивание, склеивание, упрочнение поверхности деталей и восстановление их формы под давлением. Как правило, после восстановления детали одним из способов ее подвергают механической или слесарной обработке, что необходимо для восстановления посадок сопряженных деталей, устранения овальности или конусности их поверхностей, обеспечения требуемой чистоты обработки.

Выбраковочный признак – внешнее проявление неисправности. К основным выбраковочным признакам относят такие:

- искажение формы поверхности рабочих органов, кулачковых валов двигателей, эксцентриков, коленчатых валов;
- изменение зазора в сопряжении подшипников скольжения, плунжерных пар, уплотнений, валов и подшипников передач;
- изменение расчетного размера в зубчатых передачах, шлицах, стальных канатах, цепях, фрикционных передачах;
- изменение микро- и макрорельефа в скоростных зубчатых передачах, подшипниках качения, клапанах, тормозных поверхностях барабанов.

Д

Деталь – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций. Различают детали *общего* и *специального* назначения.

Детали общего назначения – элементы разъемных и неразъемных соединений; части, участвующие в передаче момента вращения посредством трения и зацепления; валы и оси, муфты, подшипники; пружины, корпусные детали.

Детали специального назначения. К ним относятся детали, встречающиеся только в отдельных видах машин, а именно: поршень, клапан, шпиндель и т.п.

Диагностика (дефектация) деталей и механизмов двигателя. В ремонтном производстве технологический процесс оценки технического состояния деталей с последующей их сортировкой на группы годности. В ходе этого процесса осуществляется проверка соответствия деталей техническим требованиям, которые изложены в технических условиях на ремонт или в руководствах по ремонту, при этом используется сплошной контроль, т.е. контроль каждой детали. Кроме того, дефектация деталей автомобиля – это также инструментальный и многостадийный контроль.

В процессе дефектации деталей применяются следующие методы контроля: органолептический осмотр (учитывается внешнее состояние детали, наличие деформаций, трещин, задиров, сколов и т.д.); инструментальный осмотр при помощи приспособлений и приборов (выявление скрытых дефектов деталей при помощи средств неразрушающего контроля); метод контроля без шкальных мер (калибров и уровней) и микрометрических инструментов (линеек, штангенинструментов, микрометров и т.д.) для оценки размеров, формы и расположения поверхностей деталей. Контролю в процессе дефектации подвергаются только те элементы деталей, которые в процессе эксплуатации повреждаются или изнашиваются.

Диагностика безразборная предусматривает в несколько способов:

- с помощью приборов;
- методом анализа акустических шумов;
- по состоянию выхлопных газов;
- по состоянию свечей зажигания.

Наиболее точная картина неисправностей двигателя получается при одновременном применении всех способов диагностики с последующим «перекрестным» анализом полученных результатов.

Диагностика безразборная методом анализа акустических шумов – это процесс, при котором непосредственно на

работающем двигателе определяется на слух состояние большинства сопряжений.

Исправный двигатель издает равномерный шум, о такой работе образно говорят, что двигатель «шепчет». Но рано или поздно возникают разные аномалии.

Наиболее часто появляется периодическое «вздрагивание» двигателя на холостых оборотах, которое обычно происходит из-за пропусков воспламенения топливо-воздушной смеси (дефектные свечи, малый зазор в свечах, «раннее» зажигание, «богатая» или «бедная» смесь). «Вздрагивание» в этом случае сопровождается синхронными «хлопками» в выхлопной трубе. Равномерная «тряска» двигателя на оборотах холостого хода характерна для одного или более неработающих цилиндров. Причины могут быть разные: не работает свеча или форсунка, нет компрессии в одном или нескольких цилиндрах, обрыв высоковольтного провода, прогар прокладки головки блока между двумя смежными цилиндрами и др. Последний дефект выявляется при измерении компрессии: в этих цилиндрах величина компрессии будет одинаковой между собой и низкой по отношению к другим цилиндрам.

Еще одно характерное проявление, связанное с вибрацией двигателя. На оборотах холостого хода двигатель работает ровно, а при резком нажатии на педаль дроссельной заслонки двигатель набирает обороты с вибрацией («тряской») и затем вновь на высоких оборотах работает ровно. В езде такой дефект выглядит как «провал».

Анализируя полученные результаты, нужно учесть разную скорость вращения основных двух валов двигателя. Скорость вращения распределительного вала всегда меньше скорости вращения коленчатого вала ровно в два раза. Неисправности газораспределительного механизма (ГРМ) и цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) можно сразу разделить, исходя из того что при одинаковой скорости вращения коленчатого вала частота стуков будет различной.

Для прослушивания шумов в двигателе понадобится приспособление, которое представляет собой медицинский стетоскоп с механическим датчиком. Механический датчик в приспособлении для прослушивания двигателя должен быть модернизированным, для чего следует прикрепить к мембране небольшой металлический зонд с плоской пятой, которая защищает ее (мембрану) от непредвиденных повреждений, возникающих от сильного давления.

Двигатель нужно прослушивать в холодном и полностью прогретом состоянии, а также на разных оборотах. Изменение оборотов с разной динамикой даст возможность более точно определить характер шумов.

Если на холостых оборотах двигателя слышится ясный тикающий звук, это указывает на то, что в клапанном механизме увеличен тепловой зазор.

Если же тепловой зазор тщательно отрегулирован, то возможен неравномерный износ соприкасающихся поверхностей.

Если при запуске холодного двигателя гидрокомпенсаторами клапанов в зоне распределительного вала и привода клапанов слышится резкий стрекочущий звук, который исчезает по мере прогрева двигателя, то это считается нормой.

Если после полного прогрева двигателя этот звук не исчез, то, возможно, есть неисправности плунжерной пары, одного из гидравлических толкателей.

Ясный тикающий звук говорит о сильном износе направляющих втулок клапанов. Дополнительно этот диагноз могут подтвердить сальники, которые быстро изнашиваются после их очередной замены.

Резкий звук, который начинает несколько ослабевать по мере прогрева двигателя, зачастую вызван увеличенным зазором между толкателем клапана и его гнездом в головке блока цилиндров. Этот звук, в принципе, не вызывает опасений.

Глухой звук с частотой, в два раза меньшей, чем частота коленчатого вала, издают изношенные подшипники распределительного вала.

тельного вала. Звук прослушивается более четко на холостых оборотах полностью прогретого двигателя. Дефект не вызывает особого опасения, но указывает на то, что в ближайшее время стоит проверить газораспределительные механизмы.

Несильные звонкие звуки указывают на увеличенный зазор между стенками цилиндра и юбкой поршня. Особой опасности при этом нет, но ремонт будет необходим в ближайшее время.

Самым опасным считается звонкий и неприятный стук, который исходит из зоны ЦПГ. В этом случае наиболее вероятно, что имеется нарушение в сопряжении подшипник шатуна и шатунной шейки. При резком наборе оборотов двигателя звук усиливается, а при отключении цилиндра от системы зажигания практически исчезает. В дизельных двигателях в этом случае производят блокировку подачи топлива, для чего немного ослабляют гайку форсунки.

Аналогичные по частоте стуки на дизельных двигателях указывают на те же неисправности.

Обычно неисправности такого рода возникают из-за несоблюдения правил эксплуатации двигателя и всегда сопровождаются резким снижением давления масла в системе смазки. При таком серьезном дефекте последующая работа двигателя приведет к полному разрушению коленчатого вала и сопутствующих ему деталей; также не исключен обрыв поршня, который разрушит блок цилиндров. На форсунку при ослаблении гайки нужно будет накинуть ветошь, для того чтобы не разбрызгалось топливо.

Прослушиваемый глухой стук указывает на увеличенные зазоры в коренных подшипниках коленчатого вала. При резком сбросе оборотов звук становится более заметным, а в сочетании с пониженным рабочим давлением масла велика вероятность серьезного ремонта двигателя.

Если прослушиваются хлопающие звуки, то это указывает на то, что ослаблена цепь или произошла поломка цепного

механизма. Хлопки проявляются сильнее на холостых оборотах и при резком их сбрасывании: вовремя не устраненная неисправность такого рода может привести к встрече клапанов с поршнями.

Если в непосредственной близости от бензинового насоса появился характерный клапанный звук, то это говорит об увеличенном зазоре в его приводе.

Диагностика безразборная по состоянию выхлопа. У исправного двигателя при рабочей температуре в теплую погоду выхлоп практически бесцветный. После запуска двигателя, по мере прогрева глушителя, можно наблюдать более белый выхлоп (пар), который прекращается после испарения влаги.

В холодную погоду пар виден и на прогретом двигателе. Густой белый выхлоп бывает в двух случаях: попадание по разным причинам охлаждающей жидкости в цилиндр, либо попадание масла непосредственно в выпускную систему, где оно в большей степени испаряется, а не сгорает. Такой выхлоп «вишит» в воздухе и имеет характерный запах масла.

Когда выхлоп черный, диагноз один: слишком «богатая» по целому ряду причин топливно–воздушная смесь. Такой выхлоп всегда сопровождается повышенным расходом топлива с негативными последствиями для двигателя.

«Сизый» выхлоп (иногда с оттенком голубого цвета) – это свидетельство попадания масла в камеру сгорания. Пути попадания два: через кольца и через сальники клапанов и направляющие втулки клапанов. Это происходит по рассмотренным выше причинам.

Диагностика технического состояния двигателя, и тем более вынесение «приговора» о необходимости ремонта не может быть полной без использования газоанализатора. Но для анализа технического состояния двигателя недостаточно простого газоанализатора для измерения CO, здесь уже нужен более мощный – четырехкомпонентный (CO, CH, O₂, CO₂). В данном анализе много обширных и взаимосвязанных вопросов: про-

граммная настройка системы управления двигателем, техническое состояние двигателя и датчиков системы управления двигателем, эффективность смесеобразования и сгорания топлива и др. Поэтому оставим этот вопрос для отдельного разговора.

Диагностика по параметрам картерного масла даёт возможность определить темп изнашивания деталей двигателя, качество работы воздушных и масляных фильтров, герметичность системы охлаждения, а также годность самого масла. Для этого необходимо периодически отбирать из картера пробы масла, измерять концентрацию в нём продуктов износа и кремния, определять вязкость и содержание воды.

Превышение допустимых норм по концентрации в масле металлов укажет на неисправную работу сопряжённых деталей, превышение нормы содержания кремния – на неисправность фильтров, присутствие воды – на неисправность системы охлаждения, а пониженная вязкость позволит судить о годности масла.

Возможность диагностики двигателя по концентрации продуктов износа (свинца, хрома, железа, алюминия и др.) в картерном масле обусловлена зависимостью её уровня только от интенсивности изнашивания соответствующих деталей (подшипников, колец, цилиндров) двигателя. Это означает, что по истечении некоторого времени работы двигателя (при практическом постоянстве объёма масла, интенсивности очистки и угаре) концентрация каждого из продуктов износа в масле достигает определённого уровня и стабилизируется. Убыль и пополнение взвешенных в масле частиц уравнивается. Этот уровень будет тем выше, чем больше скорость изнашивания деталей двигателя.

Так как скорость изнашивания при исправных системах фильтрации и охлаждения характеризует исправность сопряжения трущихся пар механизма, то по уровню концентрации можно выявить скрытые и назревающие отказы.

Диагностика беззборная по состоянию свечей зажигания. По внешнему виду свечи можно многое сказать как о работе двигателя в целом, так и о работе отдельных его узлов (рис. 1.3).

Осмотр свечи лучше проводить после продолжительной работы двигателя, например после длительной поездки по загородному шоссе. При нормальном состоянии свечей на технически исправном двигателе, при работе на качественном топливе изолятор центрального электрода будет чистый, нагар и отложения – минимальны (рис. 1.3, *а*).



Рис. 1.3. Внешний вид состояния свечей зажигания
а – нормальный вид; *б* – свинцовые отложения; *в* – бархатисто-черный нагар; *г* – масляный нагар; *д* – зольные отложения; *е* – оплавление и частичное разрушение электродов свечи

Свинцовые отложения – налет (рис. 1.3, *б*) – образуются от содержащихся в бензине свинцовых соединений. Налет может убить не только свечи, но катализатор с лямбда-зондами.

Типичный пример свечи от двигателя с повышенным расходом топлива (рис. 1.3, *в*) – это наличие бархатисто-черного нагара, который свидетельствует о переобогащенности топлив-

но-воздушной смеси из-за неисправности системы впрыска топлива (основная причина).

Есть масляный нагар (рис. 1.3, *з*) – налицо повышенный расход масла, выхлоп такого автомобиля имеет сизоватый оттенок. Причина этого обычно в плохом состоянии маслоотражательных колпачков, которые уже не справляются со своей работой по очистке стержня клапана от излишков масла. Другой путь попадания масла в цилиндр – через изношенные поршневые кольца.

Причина появления нароста в том, что из-за сгорания масла вследствие выработки или залегания масляесъемных поршневых колец электрод свечи обрастает зольными отложениями (рис. 1.3, *д*): у двигателя повышенный расход масла, при перегазовках из выхлопной трубы сильное синее дымление, запах выхлопа похож на мотоциклетный.

К оплавлению и частичному разрушению электродов свечи приводит калильное зажигание (рис. 1.3, *е*).

Диагностика безразборная с помощью приборов предусматривает применение измерительных приборов, основными из которых являются измеритель давления в масляной магистрали (манометр) и измеритель компрессии (компрессометр). Оценить общее состояние коренных и шатунных шеек коленчатого вала, масляного насоса и всех сопряжений, в которые при работе двигателя подается масло под давлением, можно с помощью масляного манометра. Замеры проводят прямым подключением резьбового наконечника манометра к масляной магистрали на место штатного датчика давления масла.

Долговечность – свойство изделия сохранять работоспособность до определенного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта.

Допуск – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или абсолютная величина алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями. Допуск системы (стандартный допуск) – любой из допусков, устанавли-

ваемых данной системой допусков и посадок. В дальнейшем под словом «допуск» понимается допуск системы.

Ж

Жесткость – способность деталей машин сопротивляться изменению формы под действием нагрузок. Во многих случаях окончательные размеры деталей принимают по условиям жесткости. Различают собственную жесткость детали, обусловленную деформациями всего материала детали, и контактную, которая связана с деформациями только поверхностных слоев в местах контакта. Оценка жесткости производится сопоставлением расчетных деформаций (прогибов, углов поворота сечений, углов закручивания и пр.) с допускаемыми. Для большинства деталей (валов, штоков, грузовых и ходовых винтов, станин и т.д.) основное значение имеет собственная жесткость. В этом случае проверочный расчет жесткости конструкции выполняют по формулам сопротивления материалов. Расчет на контактную жесткость деталей машин с начальным контактом в точке (шариковые подшипники) или по линии (роликовые подшипники, зубчатые и фрикционные передачи) производят по формулам контактных напряжений и деформаций.

З

Зависимость износа детали от наработки представлена на рис. 1.4 кривой, показывающей зависимость износа I (мм) детали от наработки t (ч). По этой кривой часто определяют предельный износ детали или предельный зазор в соединении вследствие износа от наработки. С увеличением наработки износ детали возрастает неравномерно.

На участке I износ быстро нарастает до величины I_{np} за сравнительно малую наработку. На этом участке происходит приработка сопряженных поверхностей соединений. Интенсивность изнашивания в этот период зависит от шероховатости поверхности детали, условий смазки, нагрузки и других факторов.

В конце этого участка (точка А) заканчивается приработка сопряженных поверхностей.

На участке II, имеющем наибольшую протяженность, происходит нормальная работа детали в соединении. Износ детали увеличивается (от $I_{пр}$ до $I_{пред}$) с небольшой равномерной интенсивностью. Интенсивность изнашивания зависит от условий эксплуатации, своевременности технического обслуживания и качества его проведения. Длина участка II соответствует ресурсу детали или соединения.

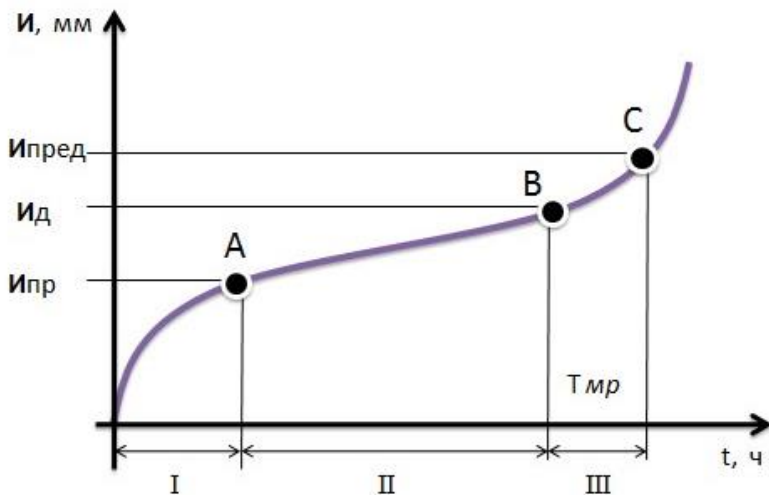


Рис. 1.4. Кривая зависимости износа I (мм) детали от наработки t (ч)

Участок III (за точкой С) характеризуется интенсивным изнашиванием детали и увеличением зазора в соединении.

Износ $I_{пред}$, соответствующий перегибу кривой в точке С, называют предельным. Соединения с изношенными деталями выше $I_{пред}$ начинают работать с нарушением условий смазки, перегревом детали и стуками. Работа деталей в этих условиях часто заканчивается поломками. При достижении предельного износа или зазора деталь (соединение) необходимо снять с машины и заменить новой или восстановленной. В процессе

ремонта машин износы деталей или зазоры в соединениях замеряют. По величине износов или зазоров судят о целесообразности дальнейшего использования детали или соединения.

Автомобиль считается в предельном состоянии, если в предельном состоянии находятся его основные составные части: двигатель, коробка передач, передний и задний мосты с колесными редукторами – и дополнительные составные части: управление поворотом с гидросистемой, рама, кабина в сборе, раздаточная коробка.

Двигатель находится в предельном состоянии, если находятся в предельном состоянии блок цилиндров (требуется его замена или восстановление с полной разборкой двигателя) и коленчатый вал, имеющий предельный износ шеек или механические повреждения, требующие его замены или шлифовки. При этом расход масла на угар или прорыв газов в картер равны предельным величинам или превышают их не устраняются заменой комплекта поршневых колец.

Зазор – разность размеров отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала. Наименьший и наибольший зазоры – два предельных значения зазора.

И

Изнашивание – сложный процесс взаимодействия деталей между собой или со средой, выражающийся в постепенно нарастающих разрушениях деталей и приводящий к изменению их формы, размеров и структуры материала. Классифицируется изнашивание в соответствии с ГОСТ 27674-88 как процесс отделения материала с поверхности твердого тела и увеличения его остаточной деформации. Изнашивание – это прежде всего процесс взаимодействия поверхностей, который сопровождается не только их микрорезанием, деформированием и нагреванием, но также и изменением механических свойств, структуры, фазового состава и химической активности поверхностных слоев. Изнашивание деталей машин и механизмов принято классифицировать по причинам этого изнашивания. Различают механическое,

коррозионно-механическое, абразивное, гидроабразивное, газообразное, эрозийное, кавитационное, усталостное, окислительное, электроэрозийное изнашивание и фреттинг-коррозию. К основным явлениям и процессам при трении и изнашивании относятся схватывание, перенос материалов, задираание, выкрашивание и отслаивание. Различают схватывание 1-го рода (холодный задр) и 2-го рода (горячий задр).

Износ, эрозия (от лат. *erosio* – разъедание) – изменение размеров, формы, массы твердых тел или состояния их поверхностей вследствие или остаточной деформации от постоянно действующих нагрузок, или разрушения поверхностного слоя при трении. Чаще всего под износом принято понимать постоянное срабатывание поверхности деталей в результате процесса трения (рис. 1.5).

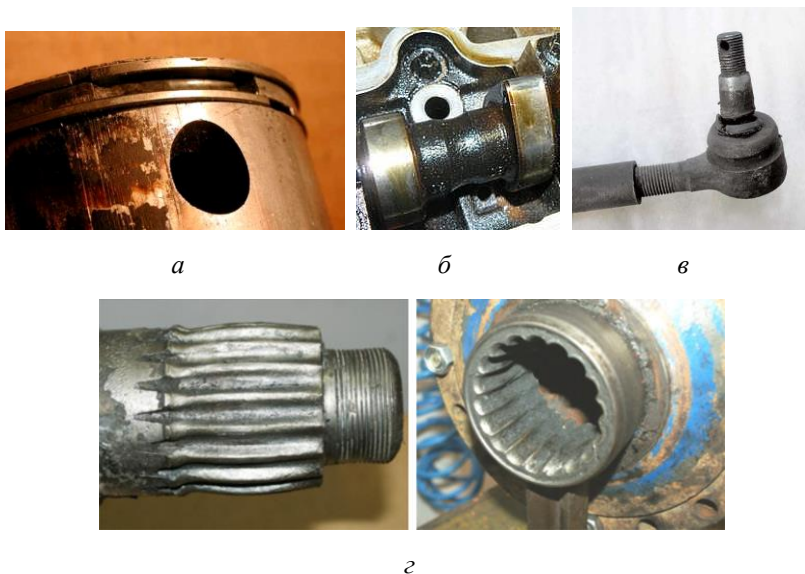


Рис. 1.5. Износ поршня (а), задиры на рабочей поверхности кулачков распредвала (б), износ шарнира рулевых тяг и наконечника (в) и шлицевого соединения (г)

В процессе длительного воздействия на поверхность детали микро- и макроскопических абразивных частиц происходит износ, оцениваемый по уменьшению размеров, объема, массы деталей в абсолютных или относительных единицах. Износ, отнесенный к промежутку времени процесса трения, определяет скорость изнашивания. Практика эксплуатации машин и другого оборудования показывает, что большая часть механизмов теряет работоспособность не вследствие поломок, а в результате износа отдельных деталей. Принят ряд классификаций по видам износа при трении. Классификации построены в основном с учетом внешних условий и признаков процесса. Различают четыре главные формы износа и несколько второстепенных (сопутствующих) процессов, которые часто определяются как самостоятельные виды износа. К главным видам износа можно отнести следующие: адгезионный, абразивный, коррозионный, а также поверхностная усталость.

Износ любой детали автомобиля происходит в 3 этапа (рис. 1.4): первый этап – приработка трущихся деталей; второй этап – период нормальной работы, который занимает 80–90% всего времени работы детали; третий этап – период усиленного изнашивания (аварийного износа).

В связи с этим износы делятся на 2 группы. 1-я группа износов – медленно нарастающие износы, являющиеся результатом длительной работы сил трения, воздействия высоких температур и других факторов при правильной эксплуатации автомобилей. 2-я группа – быстро нарастающие износы, обусловленные в основном неправильной эксплуатацией или плохим техническим обслуживанием (ремонт) автомобилей. Они часто приводят к аварии, их называют аварийными. В таблице 1.1 приведены отдельные примеры видов изнашивания деталей автомобилей.

Примеры видов изнашивания деталей автомобилей

Вид изнашивания	Детали, подвергающиеся изнашиванию
Абразивное	Диски сцеплений, маховики, тормозные накладки, тормозные барабаны
Гидроабразивное	Внутренние поверхности крыльев, днище кабин и кузовов, остов рамы
Газоабразивное	Лакокрасочные покрытия кабин и кузовов, стекла кабин
Гидроэрозионное	Детали масляных, топливных и водяных насосов, гидроусилителей, гидроприводов тормозов
Газоэрозионное	Поверхности камер сгорания в головках цилиндров, днища поршней, детали системы выпуска газов, детали воздушных тормозных систем
Усталостное	Листы рессор, подшипники качения, зубья шестерен
Схватывание 1-го рода	Посадочные поверхности поворотных кулаков, шарниры рулевых тяг
Схватывание 2-го рода	Гильзы, поршни, кольца. Шейки коленвала при недостатке масла
Окислительное	Шейки коленвала и распредвала, гильзы, оси коленвалов, направляющие втулки клапанов и т.д.

Износ абразивный [*abrasive wear*] возникает в условиях трения, когда более твердые шероховатые поверхности скользят по более мягким, царапают или пропахивают их, образуя свободные частицы. Абразивный износ может возникнуть и тогда, когда твердые частицы попадают между поверхностями фрикционной связи и изнашивают их. Механизмы абразивного износа при скольжении и ударном воздействии представлены на рис. 1.6.

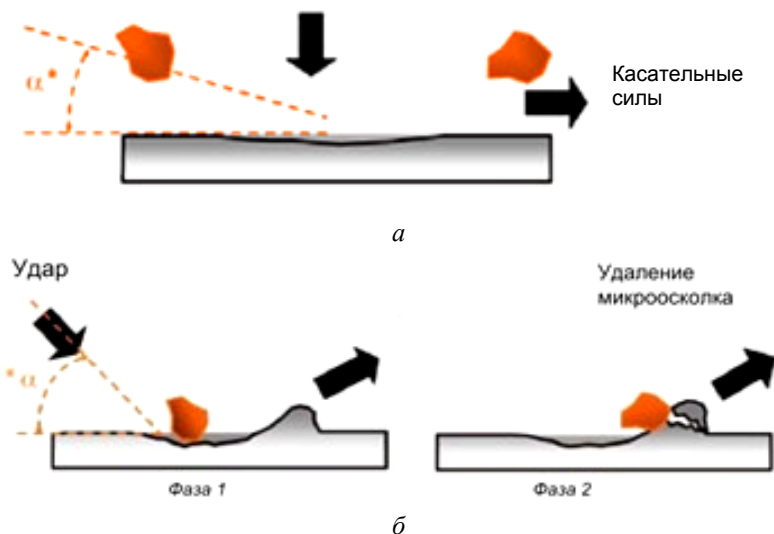


Рис. 1.6. Механизм абразивного износа при скольжении (а) и ударном воздействии (б)

Износ аварийный – износ, под которым понимают выход из строя деталей раньше предполагаемого срока конца эксплуатации. Он может быть вызван конструктивными недоработками, низким качеством материала, изготовления и сборки, неправильной эксплуатацией машины, некачественным ремонтом.

Износ адгезионный [*adhesion wear*] возникает в условиях трения, когда два гладких тела скользят друг по другу и частицы материала, вырванные с одной поверхности, прилипают к другой. Адгезионный износ происходит по причине непрерывно протекающих процессов схватывания (первого и второго рода), слипания и последующего разрушения островков адгезии на контактной поверхности. Этот вид износа имеет место тогда, когда атомы контактирующих поверхностей входят в близкий контакт и сопровождается периодическим отрывом микроскопических частиц с поверхности контакта из-за молекулярного взаимодействия в зоне контакта – разрушения связей, возникающих в результате межатомных и межмолекулярных взаимо-

действий. На площадях контакта при скольжении поверхностей всегда существует вероятность того, что из-за адгезионных сил разрушение этого контакта происходит не по первоначальной поверхности раздела одного материала.

Износ допустимый – износ детали или зазора в соединении, при котором деталь или соединение могут быть поставлены на машину без восстановления и будут удовлетворительно работать в течение предусмотренного межремонтного ресурса. Детали или соединения с износами или зазорами меньше допустимых или равных допустимым устанавливаются на машину при ремонте без каких-либо восстановительных процессов, а с износами или зазорами, превышающими допустимые, выбраковывают или восстанавливают.

Критерии предельного состояния машин и их составных частей, предельные и допустимые износы, зазоры и размеры деталей указывают в нормативно-технической документации.

Износ естественный входит в 1-ю группу износов, медленно нарастающих, являющихся результатом длительной работы сил трения, воздействия высоких температур и других факторов при правильной эксплуатации автомобилей. Эти износы определены самой конструкцией автомобилей и называются естественными.

Износ коррозионный [corrosive wear] появляется, когда контакт поверхностей происходит в коррозионных средах. В процессе скольжения образующиеся на поверхности пленки разрушаются и коррозионное воздействие распространяется вглубь материалов (рис. 1.7).

Коррозионный износ обычно состоит из двух фаз – фазы воздействия агрессивного вещества на металл с образованием непрочной пленки окислов и последующей фазы – удаления этой пленки в результате трения, после чего поверхность металла снова подвергается коррозии. Частицы окислов, снятые с поверхности, имеют значительно большую твердость, чем основной металл, и поэтому в дальнейшем могут действовать как аб-

разивы. Коррозионному износу у двигателя автомобиля подвергнуты главным образом цилиндры и поршневые кольца, выпускные клапаны и седла.

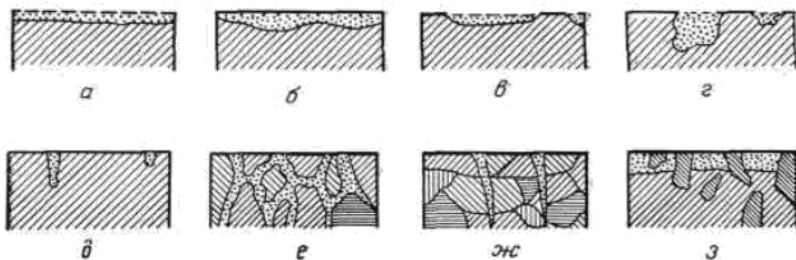


Рис. 1.7. Характер и формы распространения коррозионного износа:
a – сплошной равномерный; *б* – сплошной неравномерный;
в – местный; *г* – язвенный; *д* – точечный; *е* – межкристаллитный;
жс – транскристаллитный; *з* – структурно-избирательный

Износ моральный наступает тогда, когда появляются более совершенные конструкции аналогичного оборудования, т.е. машины с большей производительностью, экономичностью, большей степенью автоматизации и удобством в эксплуатации, меньшей материалоемкостью и т.д.

Износ предельный – износ, при котором нарушаются нормальные условия работы сопряженных деталей и дальнейшая эксплуатация становится невозможной или неэкономичной. После пробега автомобиля, соответствующего предельному износу (точка В на рис. 1.4), деталь необходимо ремонтировать, так как ударные нагрузки, возникающие между сопряженными деталями вследствие большого зазора, приводят к резкому увеличению износа и могут вызывать поломку деталей.

Износ трением качения – в процессе износа трением при качении (рис. 1.8, *a*) развиваются нормальные напряжения [3]. При длительном нагружении под действием переменных давлений это приводит к выкрашиванию частиц на поверхности, т.е. образованию раковин (питтинга). Если наряду с нормальными напряжениями развиваются также и касательные, то происходит

проскальзывание, в наибольшей степени способствующее процессу износа. Нагружение, сочетающее скольжение и качение, возможно, например, в зубчатых передачах. Износ при скольжении, вызываемый вращением, образуется в вершинах опор и в шаровых подпятниках. Это тот вид износа, при котором имеет место эффект вращения при относительном смещении соприкасающихся участков поверхности. Все три типа износа могут проявиться в смешанных формах. При обычном трении как без смазочного материала, так и при наличии граничной смазочной пленки детали контактируют на очень малой площади, составляющей 0,01–0,0001 номинальной площади сопряженных поверхностей. В результате участки фактического контакта испытывают высокие напряжения, что приводит к их взаимному внедрению, пластической деформации и интенсификации изнашивания. Схемы контакта при трении качения приведены на рис. 1.8, б–в.

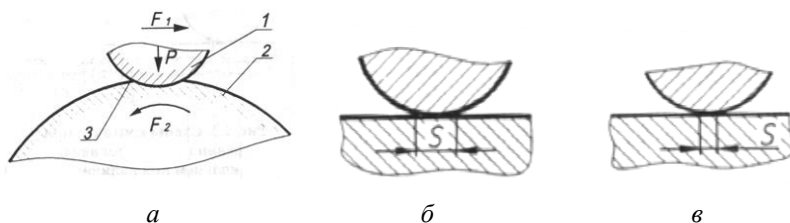


Рис. 1.8. Схемы износа трением качения (а) и контакта при трении качения ролика с кольцом при наличии смазки (б) и без неё (в):

F_1 – направление движения ролика 1; F_2 – направление движения вала 2; 3 – упругая деформация при переменной нагрузке;
 P – усилие давления

Износ трением скольжения в процессе износа при скольжении материалы под действием напряжений работают на срез (рис. 1.9, а). Представлены схемы контакта стальной и бронзовой трущихся деталей при граничной смазке (рис. 1.9, б) и при избирательном переносе – ИП (рис. 1.9, в).

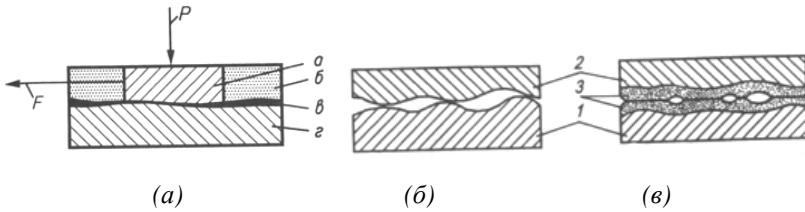


Рис. 1.9. Схемы износа трением скольжения (а) и контакта деталей при граничной смазке (б) и избирательном переносе (в):

F – направление движения; P – усилие давления; a – первое контактирующее тело; $б$ – окружающая среда; $в$ – промежуточное вещество; $з$ – второе контактирующее тело; 1 – сталь; 2 – бронза; 3 – пленка меди

Если при граничной смазке контакт сопряженных поверхностей происходит только в отдельных точках, то при ИП он осуществляется через пластически деформируемый мягкий и тонкий слой меди. В результате площадь фактического контакта возрастает в десятки раз, а материал деталей испытывает лишь упругие деформации. При граничной смазке взаимодействие неровностей поверхностей вызывает усталостное изнашивание. При ИП трение непрерывное, площадки действительного контакта плоские. При трении с граничной смазкой и трении без смазочного материала поверхности деталей всегда покрыты окисными пленками (рис. 1.10), которые предотвращают непосредственный контакт металлических поверхностей и их схватывание.

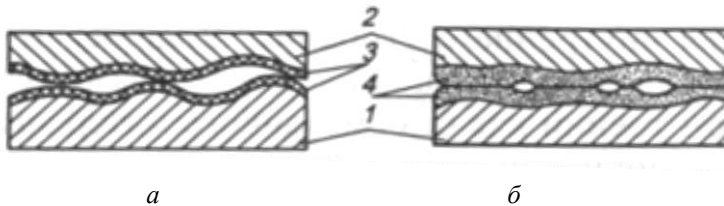


Рис. 1.10. Схемы контакта деталей при наличии окисла при граничной смазке (а) и избирательном переносе (б):
1 – сталь; 2 – бронза; 3 – окисная пленка; 4 – сервовитные пленки

Износ усталостный (поверхностная усталость) [fatigue wear] наблюдается во время многократного скольжения или качения по одним и тем же поверхностям с непрерывно повторяющимися циклами нагружения и разгрузки. Повторяющиеся знакопеременные механические напряжения ведут к образованию трещин и их распространению в нагруженную поверхность и, в конечном итоге, к разрушению поверхности. Характерным повреждением катящихся под нагрузкой или с проскальзыванием металлических поверхностей является местное выкрашивание – раковины, ямки, оспинки (так называемые питтинги).

При некотором числе циклов напряжений и достаточном контактом напряжении образуется первичная микротрещина. Трещина может зародиться на глубине и на поверхности. Если трещина зародилась на глубине, то на известной стадии ее развития она выходит на поверхность. В трещину с поверхности проникает масло. Когда открытый конец трещины вступает в контакт с сопряженной поверхностью, выход для масла закрывается. В масле под нагрузкой в контакте возникает высокое давление, распирающее стенки трещины. При повторных нагружениях трещина углубляется, а затем выходит на поверхность, отделяя выкрашивающийся объем металла (рис. 1.11).

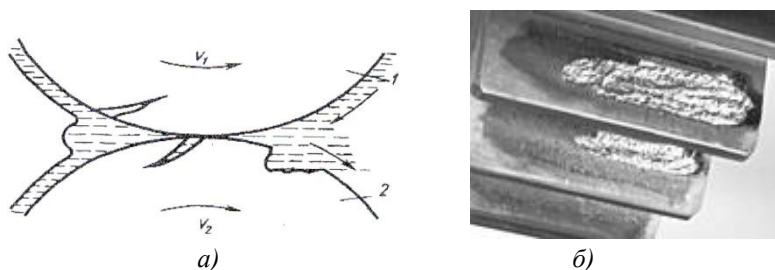


Рис. 1.11. Схема роста поверхностных трещин при обкатке поверхностей со скольжением (а) и вид усталостных раковин (б)

Износостойкость (износоустойчивость) сопротивление износу материалов деталей машин и других трущихся частей.

Износостойкость оценивается, например, уменьшением массы литой детали за время работы, ее линейных размеров или изменением объема детали. В результате износа изменяются размеры деталей, увеличиваются зазоры, возникают дополнительные динамические нагрузки. Большой износ может привести даже к поломке детали. Износ деталей снижается с повышением твердости и понижением шероховатости трущихся поверхностей. Для повышения износостойкости деталей применяют смазку, термическую и химико-термическую обработку рабочих поверхностей, для изготовления деталей применяют антифрикционные материалы и т.п.

К

Квалитет – совокупность допусков, соответствующих одинаковой степени точности для всех номинальных размеров. Единица допуска – множитель в формулах (уравнениях) допусков системы, являющейся функцией номинального размера. Допуск равен произведению единицы допуска на безразмерный коэффициент, установленный для данного квалитета и не зависящий от номинального размера.

Коррозия – (от лат. *corrosio* – разъедание) – самопроизвольное разрушение металлов в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. В общем случае это разрушение любого материала, будь то металл или керамика, дерево или полимер. Причиной коррозии служит термодинамическая неустойчивость конструкционных материалов к воздействию веществ, находящихся в контактирующей с ними среде. Классификация коррозионных процессов приведена на рис. 1.12.

В повседневной жизни для сплавов железа (сталей) чаще используют термин «ржавление». Менее известны случаи коррозии полимеров. Применительно к ним существует понятие «старение», аналогичное термину «коррозия» для металлов. Например, из-за взаимодействия с кислородом воздуха происходит старение резины и разрушение некоторых пластиков под

воздействием атмосферных осадков, а также биологическая коррозия. Скорость коррозии, как и всякой химической реакции, очень сильно зависит от температуры. Повышение температуры на 100 градусов может увеличить скорость коррозии на несколько порядков.

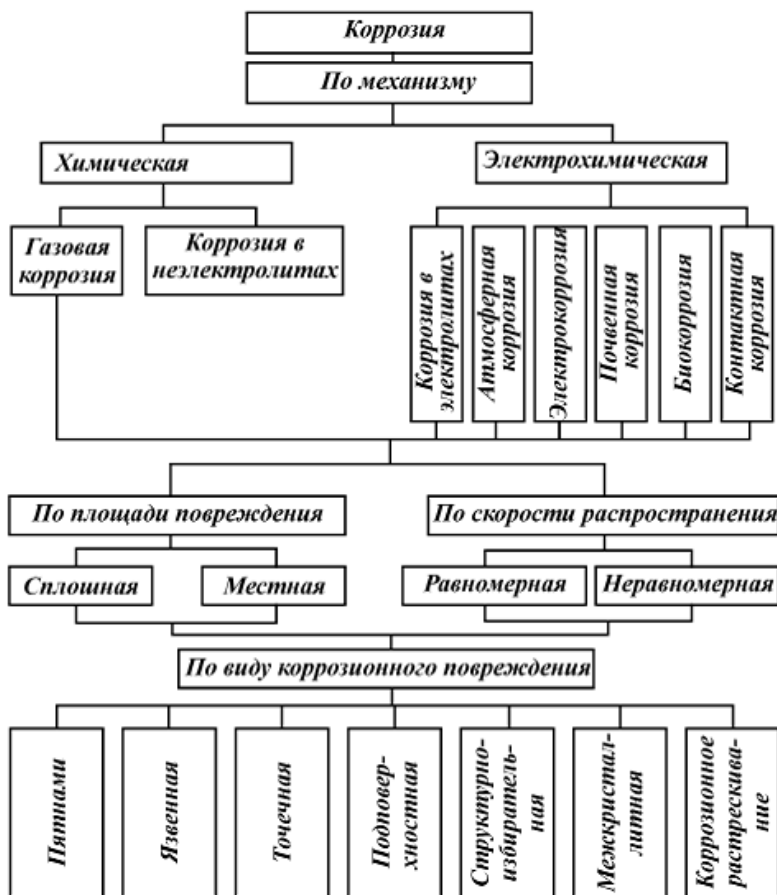


Рис. 1.12. Классификация коррозионных процессов

Различают сплошную и местную коррозию. В первом случае продуктами коррозии покрыта вся поверхность, находящаяся в контакте с коррозионной средой. Сплошная коррозия может быть равномерной, протекающей с одинаковой скоростью по всей поверхности, и неравномерной, протекающей с неодинаковой скоростью на различных участках поверхности металла (например, коррозия углеродистой стали в морской воде). Местная коррозия более опасна, чем сплошная. Виды коррозии представлены на рис. 1.13.

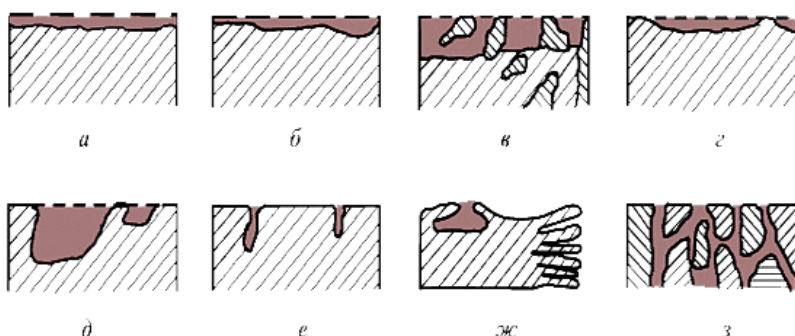


Рис. 1.13. Схемы видов коррозии

Коррозия избирательная [*Selective leaching*] – коррозия вследствие пониженной стойкости отдельных фаз (рис. 1.13, в): разрушается одна структурная составляющая (графитизация чугуна) или один компонент сплава (обесцинкование латуней).

Коррозия межкристаллитная – электрохимический процесс коррозии, который характеризуется разрушением металла по границам кристаллов (зерен) металла (рис. 1.13, г). Этот вид коррозии еще называют структурной коррозией. Внешне он протекает почти незаметно – внешний вид металла не меняется, из-за чего особенно опасен, так как при этом происходит значительное снижение прочности и пластичности материала. Связано это с образованием между зернами рыхлых малопрочных продуктов коррозии, что в конечном счете приводит к выходу

деталей машин из строя [4]. Этому виду коррозионного разрушения особенно подвержены хромистые и хромоникелевые стали, никелевые и алюминиевые сплавы (рис. 1.14).

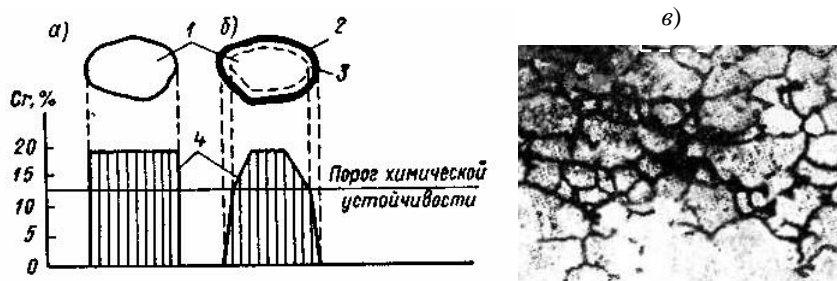


Рис. 1.14. Схема распределения хрома по зерну аустенитной стали, склонной к межкристаллитной коррозии:

a – в стабилизированном состоянии (отсутствие коррозии); *б* – после нагрева в критическом интервале температур и при воздействии агрессивной среды (наличие коррозии); вид охрупченных границ зерен:

- 1 – условная форма аустенитного зерна; 2 – карбиды хрома на границах зерен; 3 – объединенные хромом пограничные участки;
- 4 – линии распределения хрома по аустенитному зерну

Коррозия местная (локальная) охватывает отдельные участки поверхности металла. Местная коррозия может происходить в виде отдельных пятен, не сильно углублённых в толщу металла (например, коррозия латуни в морской воде), т.е. *пятнами* (рис. 1.13, *з*); *язвами* (рис. 1.13, *д*) – коррозионное разрушение, имеющее вид раковины, сильно углублённой в толщу металла (например, коррозия стали в грунте); *точечная* (питтинг) (рис. 1.13, *е*) – коррозионное разрушение в виде отдельных точечных поражений, глубоко проникающих в металл (например, коррозия аустенитной хромоникелевой стали в морской воде); *сквозная* – вызывает разрушение металла насквозь (например, при точечной или язвенной коррозии листового металла).

Коррозия нитевидная (филигранная или подпленочная коррозия) [*thread like (filiform) corrosion*] – коррозия (рис. 1.15,

VIII), развивающаяся в виде беспорядочно распространенных нитей, преимущественно под неметаллическими защитными покрытиями.

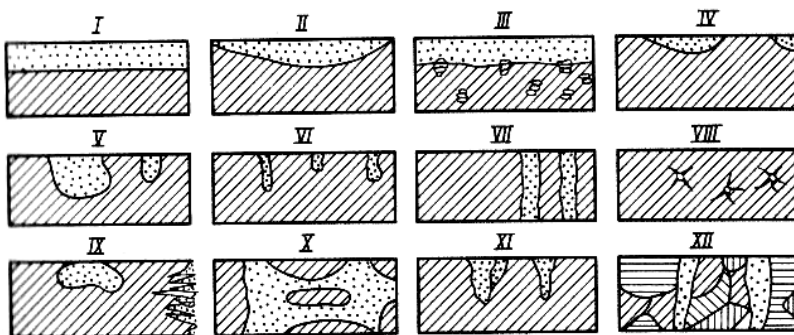


Рис. 1.15. Характер коррозионных разрушений:

- I – равномерное; II – неравномерное; III – избирательное; IV – пятна;
 V – язвы; VI – точками или питтингами; VII – сквозное;
 VIII – нитевидное; IX – поверхностное; X – межкристаллитное;
 XI – ножевое; XII – растрескивание

Коррозия ножевая [*knife line corrosion*] – коррозия по границам сварных швов, частный вид межкристаллитной коррозии. Имеет вид надреза ножом (рис. 1.15, XI). Наблюдается в основном в хромоникелевых сталях, легированных титаном.

Коррозия питтинговая (точечная) – коррозия на участках малой площади в виде язв, достигающих значительной глубины (рис. 1.15, VI). Протекает по электрохимическому механизму с образованием язв, различающихся по форме в поперечном сечении и в плане (см. рис. 1.16).

Коррозия подповерхностная – это процесс, при котором коррозионное разрушение начинается на поверхности металла, но затем распространяется в глубине металла таким образом, что продукты коррозии оказываются сосредоточенными в полостях внутри металла (рис. 1.13, ж). Этот вид коррозии вызывает вспучивание и расслоение металлических изделий.

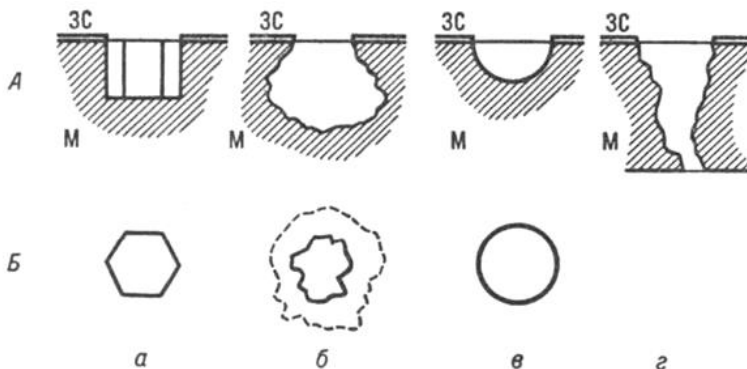


Рис. 1.16. Питтинги различной формы в поперечном разрезе (А) и в плане (Б): а – кристаллографически ограненный; б – обычный типа язвы; в – полусферический с блестящей внутренней поверхностью, г – сквозной свищ. М – металл; ЗС – защитный слой.

Коррозия под напряжением (коррозионное растрескивание) – особый вид коррозии металла, происходящий при совместном действии на металл растягивающих напряжений (внешних и внутренних) и специфических агрессивных сред. Коррозионное растрескивание наблюдается у многих сталей и сплавов, но только в некоторых коррозионных средах. Процесс развития трещины состоит из трех стадий: инкубационная – образование на поверхности металла первичных микротрещин; развитие коррозионной трещины; конечное лавинообразное разрушение. На рис. 1.17 приведены примеры коррозионного растрескивания болта (рис. 1.17, а), трубопроводов (рис. 1.17, б–в).

Коррозия послойная [*layer corrosion*] – коррозия, развивающаяся по отдельным структурным составляющим в деформированном металле, имеющем строчную структуру, а также в многослойных покрытиях.

Коррозия пятнистая – повреждение поверхности коррозией в виде отдельных пятен небольшой глубины (рис. 1.15, IV). Отмечается большая площадь очагов и их малая глубина. По характеру разрушений близка к сплошной коррозии.

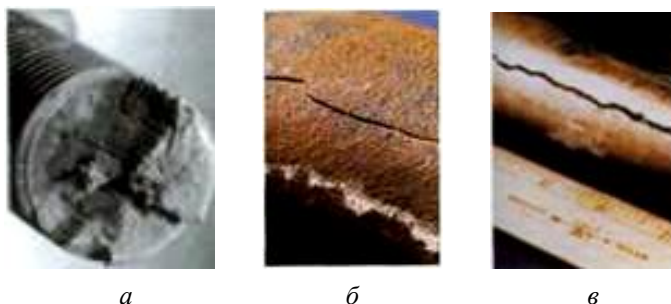


Рис. 1.17. Коррозионные разрушения болта (а) и трубопроводов (б–в)

Коррозия сплошная – охватывает всю поверхность металла, находящуюся под воздействием данной коррозионной среды. Сплошная коррозия может быть равномерной (рис. 1.13, а), если процесс протекает с одинаковой скоростью по всей поверхности металла (например, коррозия углеродистой стали в растворах серной кислоты), и неравномерной (рис. 1.13, б), если скорость процесса неодинакова на различных участках поверхности (например, коррозия углеродистой стали в морской воде).

Коррозия точечная – см. **Коррозия питтинговая**.

Коррозия химическая – коррозия, в результате которой при химическом взаимодействии металла с окружающей средой образуются химические соединения (рис. 1.18, а): металл, отдавая окислителю (О) валентные электроны (е), вступает с ним в химическое соединение.

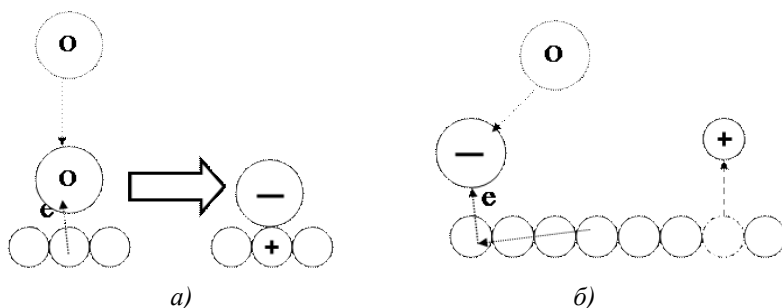


Рис. 1.18. Схемы химической (а) и электрохимической (б) коррозии

Химической коррозии подвержены детали и узлы машин, работающих при высоких температурах, – двигатели поршневого и турбинного типа, ракетные двигатели и т.п.

Коррозия щелевая – коррозия, развивающаяся в узких щелях и неплотностях, под прокладками, в зазорах, резьбовых креплениях и т.д. (рис. 1.19). Щелевая коррозия – это второй по распространенности вид повреждения сталей после точечной коррозии.

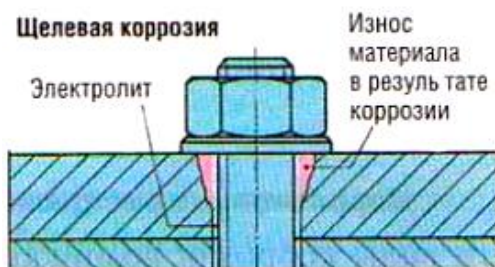


Рис. 1.19. Щелевая коррозия

Коррозия электрохимическая – самый распространенный вид коррозии, при которой за счет образования гальванических пар происходит растворение одной из фаз (рис. 1.18, б): окислитель O играет роль деполаризатора, отнимающего валентные электроны e металла и обеспечивающего переход металла в ионное состояние, но не вступает с ним при этом в химическое соединение.

Электрохимическая коррозия – разрушение металла под воздействием электролита при протекании двух самостоятельных, но взаимосвязанных процессов – анодного и катодного. Анодный процесс – окислительный, проходит с растворением металла; катодный процесс – восстановительный, обусловлен электрохимическим восстановлением компонентов среды. Современная теория коррозии металлов не исключает совместного протекания химической и электрохимической коррозии, так как в электролитах при определенных условиях возможен перенос массы металла по химическому механизму.

Коррозия язвенная – на небольших участках поверхности коррозия большей глубины, чем коррозия пятнистая (рис. 1.20).

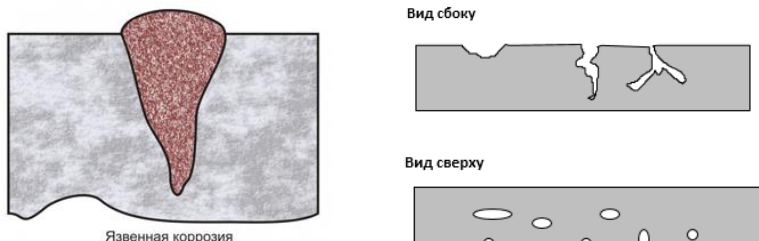


Рис. 1.20. Язвенная коррозия

Н

Надежность [англ. *Reliability*] – свойство изделий выполнять в течение заданного времени или заданной наработки свои функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и транспортирования (ГОСТ 27.002-89).

Надежность изделия обуславливается его долговечностью, безотказностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью. Надежность деталей машин в значительной степени зависит от запасов работоспособности и определяется качеством изготовления. Основными показателями надежности являются вероятность безотказной работы деталей машин и интенсивность их отказов.

Натяг – разность размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия. Наименьший и наибольший натяг – два предельных значения, между которыми должен находиться натяг. В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала посадки могут быть с зазором, с натягом, а также существуют посадки переходного типа.

О

Отказ – утрата работоспособности детали, узла, системы. Отказы по своей природе могут быть связаны с разрушением деталей или с нарушением технического ухода за машиной (засорение трубопроводов, ослабление соединений, нарушение регулировки и т.п.). Отказы бывают полные и частичные; внезапные и постепенные; опасные для жизни человека и не опасные, тяжелые и легкие и пр.

Отклонение – алгебраическая разность между размером (действительным, предельным и т.д.) и соответствующим номинальным размером. Действительное отклонение – алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами. Предельное отклонение – алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее отклонения. Верхнее отклонение – алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами. Нижнее отклонение – алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами.

П

Поле допуска – поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями. Поле допуска определяется величиной допуска и его положением относительно номинального размера. При графическом изображении поле допуска заключено между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии. Отборы полей допусков для сопрягаемых элементов установлены различными для трех диапазонов номинальных размеров: малых – до 1 мм; средних – от 1 до 500 мм; больших – от 500 мм до 3 150 мм. Наиболее важным для машиностроения является средний диапазон. Основное отклонение – одно из двух отклонений (верхнее или нижнее), используемое для определения положения поля допуска относительно нулевой линии. В системе СЭВ таким отклонением является отклонение, ближайшее к нулевой линии. Формулы и

числовые значения допусков установлены в 19 рядах точности, называемых квалитетами и обозначаемых порядковыми номерами: 01, 0, 1, 2, ..., 17. Допуски по квалитетам обозначаются сочетанием прописных букв *IT* с порядковым номером квалитета, например: *IT01*, *IT0*, ..., *IT17*.

Посадка – характер соединения деталей, определяемый величиной получающихся в нем зазоров или натягов. Номинальный размер посадки – номинальный размер, общий для отверстия и вала, составляющих соединение. Допуск посадки – сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение (ГОСТ 25346-89 (СТ СЭВ 145-88)).

Посадки в системе вала – посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных отверстий с основным валом.

Посадки, как правило, должны назначаться в системе отверстия или вала. Применение системы отверстия предпочтительно. Систему вала следует применять только в тех случаях, когда это оправдано конструктивными или экономическими условиями, например, если необходимо получить разные посадки нескольких деталей с отверстиями на одном гладком валу.

Для удовлетворения требований в отношении отдельных деталей и их посадок для каждого номинального размера предусмотрены гаммы допусков и основных отклонений, характеризующих положение этих допусков относительно нулевой линии. Допуск, величина которого зависит от номинального размера, обозначается цифрами (квалитет). Положение поля допуска относительно нулевой линии, зависящее от номинального размера, обозначается буквой (или двумя буквами) латинского алфавита, прописной для отверстия и строчной для вала.

Посадки в системе отверстия – посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных валов с основным отверстием.

Посадка с зазором – посадка, при которой обеспечивается зазор S в соединении (рис. 1.21, *a*).

Для получения зазора S в сопряжении размер D отверстия втулки должен быть больше размера d вала. При изготовлении деталей размеры D и d выполняются с погрешностями.

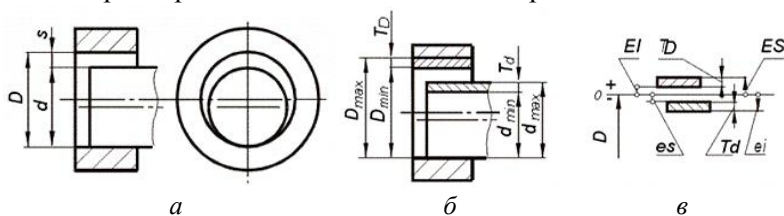


Рис. 1.21. Посадка с зазором

Конструктор исходит из того, что погрешности неизбежны и определяет, в каких пределах они допустимы т.е. сопряжение еще удовлетворяет требованиям правильной сборки и нормальному функционированию. Конструктор устанавливает два предельных размера для вала (d_{max} , d_{min}) и два предельных размера для отверстия (D_{max} , D_{min}) (рис. 1.21, б), внутри которых должны находиться действительные размеры сопрягаемых деталей. Расстояние между наибольшим и наименьшим предельными размерами называется допуском – T_d и T_D (рис. 1.21, в).

Нанесение на чертеже соединения такого количества размеров крайне неудобно, поэтому было принято устанавливать один общий размер для вала и отверстия, называемый номинальным – D , и указывать от него предельные отклонения (рис. 1.21, в).

Посадка с натягом – посадка, при которой обеспечивается натяг в соединении (рис. 1.22).

Поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала. У посадок с натягом неподвижность сопрягаемых деталей под действием нагрузок обеспечивается силами трения, возникающими при упругой деформации деталей, создаваемой натягом. Минимальный допускаемый натяг определяется исходя из возможных наибольших сил, действующих на сопряжение, а максимальный натяг рассчитывается из условий прочности де-

талей. Разность между диаметром вала и внутренним диаметром втулки до сборки называется натягом N . При запрессовке деталей происходит растяжение втулки на величину N_D (рис. 1.22) и одновременно сжатие вала на величину N_d , при этом: $N = N_D + N_d$.

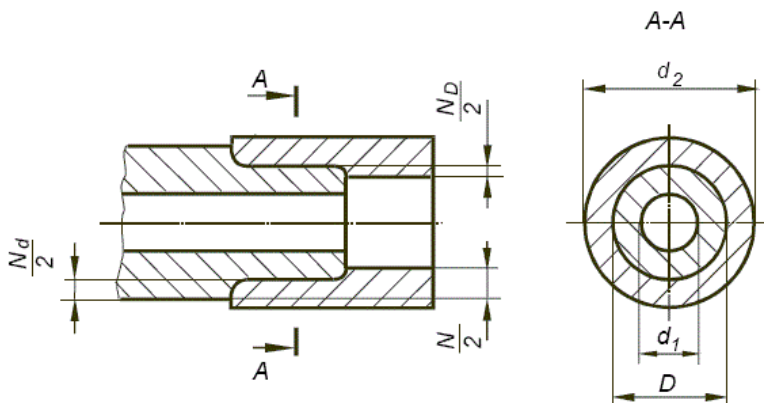


Рис. 1.22. Посадка с натягом

Посадка переходная – посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга. Поля допусков отверстия и вала перекрываются частично или полностью (рис. 1.23).

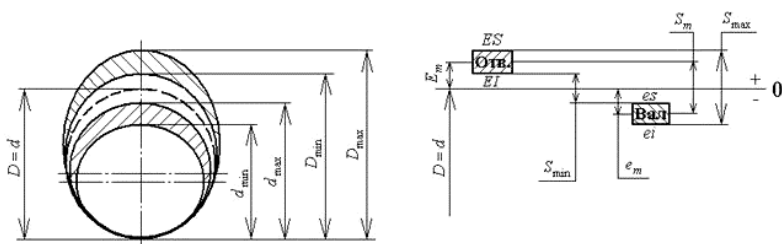


Рис. 1.23. Посадка переходная

Прочность – основной критерий работоспособности деталей. Прочность гарантирует длительную и надежную работу

машины. Расчет деталей машин на прочность производят по формулам сопротивления материалов. В предварительных и проектных расчетах наиболее распространенным методом оценки прочности деталей является сравнение расчетных напряжений (σ и τ) с допускаемыми ($[\sigma]$ и $[\tau]$).

Р

Работоспособность – состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации (стандартами, техническими условиями и т.п.). Требования, предъявляемые к деталям машин, без выполнения которых нормальная работа машины невозможна, называют основными критериями работоспособности. Основные критерии работоспособности: прочность, жесткость, износостойкость, теплостойкость, виброустойчивость, надежность и пр.

Размер – это числовое значение линейной величины (диаметр, длина и т.д.) в выбранных единицах (ГОСТ 2.307-2011). Размеры бывают действительные, предельные и номинальные.

Размер действительный – размер, установленный измерением с допустимой погрешностью.

Размер предельный номинальный – это размер, относительно которого определяются предельные размеры и который служит также началом отсчета отклонений.

Размер предельный наименьший – меньший из двух предельных размеров.

Размер предельный наибольший – больший из двух предельных размеров.

Размер ремонтный – размер детали, отличающийся от номинального на строго определенную величину (зависит от износа детали и припуска на обработку). Такие размеры устанавливают для основных и наиболее важных деталей автомобиля, причем ремонтные размеры сопряженных деталей связаны друг с другом собой. Ремонтные размеры дают возможность исполь-

зовать при ремонте автомобиля готовые запасные части. При этом размеры деталей увеличивают (например, диаметры цилиндров) или уменьшают (шейки валов, например) по сравнению с номинальными размерами. Очевидно, что изменение размеров деталей при ремонте не может быть беспредельным и ограничивается прочностью детали (например, толщиной стенки цилиндра), глубиной закаленного слоя и т.д. В качестве примера укажем, что для гильз цилиндров двигателей ЯМЗ установлено два ремонтных размера с увеличением диаметра гильзы соответственно на 0,25 и 0,5 мм для коренных и шатунных шеек коленчатого вала существует шесть ремонтных размеров с уменьшением диаметра шейки на 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 и 1,5 мм. Ремонтные размеры подразделяются на стандартные, свободные (пригоночные) и регламентированные.

Размер ремонтный свободный (пригоночный) – ремонтный размер, достигаемый механической обработкой детали до получения правильной геометрической формы, чистоты поверхности и поверхностных свойств. В зависимости от характера и величины износа детали после ремонта могут получить различные размеры. Сопряженная деталь подгоняется к восстановленной до свободного ее размера, то есть сборка сопряжений со свободными ремонтными размерами связана с индивидуальной подгонкой, поэтому она и используется только в мелкосерийном и индивидуальном ремонтных производствах. Посадка сопряженной детали (зазор) достигается путем выполнения регулировочных работ. Например, кулачки распределительного вала восстанавливаются шлифованием по копиру под свободный ремонтный размер. Компенсация увеличения зазора между клапанами и носками коромысел достигается за счет уменьшения зазора регулировочным болтом. Минимальный размер кулачка ограничивается величиной выступа тыльной части кулачка над поверхностью вала (0,05 мм). Под свободный ремонтный размер восстанавливаются изношенные поверхности фасок тарелок, седел и торцов клапанов, нажимные диски сцепления и другие

детали. Использование деталей с ремонтными размерами самый распространенный способ восстановления из-за его общедоступности и дешевизны.

Размер ремонтный стандартный (категорийный) – ремонтный размер, отличающийся от номинального размера детали. Он определяется ремонтными размерами сопряженных деталей, выпускаемых заводами-изготовителями машиностроительного производства. Так, выпускаемые заводами промышленности поршни и кольца определяют ремонтные размеры гильз цилиндров и цилиндров блоков двигателей внутреннего сгорания и компрессоров; вкладыши коленчатого вала – ремонтные размеры шеек коленчатого вала. Стандартные (категорийные) ремонтные размеры указываются в «Технических условиях на контроль, сортировку и восстановление деталей».

Размер ремонтный регламентированный – заранее установленный размер, до которого ведут обработку изношенной поверхности при её исправлении. Система регламентированных ремонтных размеров создает условия для применения метода взаимозаменяемости при ремонте и обеспечивает ускорение ремонта.

Ремонтопригодность – приспособленность изделия к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей с помощью технического обслуживания и ремонтов.

С

Сборочная единица (узел) – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой сборочными операциями на предприятии-изготовителе. Сборочные единицы и детали делятся на группы:

1. Соединительные – резьбовые, заклёпочные, сварные и т.д.
2. Детали, передающие вращательные движения – зубчатые колёса, шкивы, звёздочки.
3. Детали, обслуживающие передачи – валы, муфты, подшипники.

Все составляющие машин и механизмов делятся на детали специального (лопатки и диски турбин, рельсы, блоки, крюки) и общего (болты, зубчатые колёса, подшипники, муфты) назначения. Требования, предъявляемые к машинам, следующие: высокая производительность; надёжность и долговечность; простота обслуживания, ухода и управления; быстрая окупаемость; малые габариты; транспортабельность; соответствие эстетическим требованиям.

Свариваемость – способность металлов соединяться при помощи сварки.

Свойства – определенные характеристики вещества.

Свойства демпфирующие – способность материала гасить колебания и вибрации.

Свойства антифрикционные – способность материала обладать малым коэффициентом трения при скольжении одного тела по поверхности другого. Используется, например, в подшипниках скольжения.

Свойства фрикционные – способность материала обладать большим коэффициентом трения при скольжении одного тела по поверхности другого, используемое (например, в тормозных дисках).

Сохраняемость – свойство изделия сохранять требуемые эксплуатационные показатели после установленного срока хранения и транспортирования.

Среда закалочная [*hardening medium*] – это среда, в которой производится охлаждение сплава при закалке и которая обеспечивает требуемую скорость охлаждения. По составу и свойствам все закалочные среды подразделяются на четыре группы: вода и водные растворы, масла; расплавленные соли и щелочи; воздух.

Старение – 1. Вид термической обработки с целью повышения прочности за счет выделения в структуре дисперсных твердых частиц. 2. Изменение свойств сплава с метастабильной

структурой во времени. 3. Процесс выделения твердых частиц из твердого раствора при старении.

Сульфидирование [*sulfidizing*] – химико-термический процесс создания на поверхности металлических изделий сульфидной пленки, преимущественно FeS_2 , повышающей износостойкость трущихся поверхностей, в первую очередь за счет лучшей их смачиваемости поверхностно-активными веществами (смазками и др.). Применение: поршни и кольца двигателей внутреннего сгорания, компрессоров, поршни, подшипники скольжения насосов, центрифуг, выпускные клапаны и т.д.

Т

Твердость – свойство материала сопротивляться упругой и пластической деформации или разрушению при внедрении в него другого, более твердого и не получающего остаточной деформации тела – индентора. О твердости судят либо по глубине проникновения индентора (метод Роквелла), либо по величине отпечатка от вдавливания (методы Бринелля, Виккерса, микротвердости). Во всех случаях происходит пластическая деформация материала. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем выше твердость. Наибольшее распространение получили методы Бринелля, Роквелла, Виккерса и микротвердости. Схемы испытаний представлены на рис. 1.24.

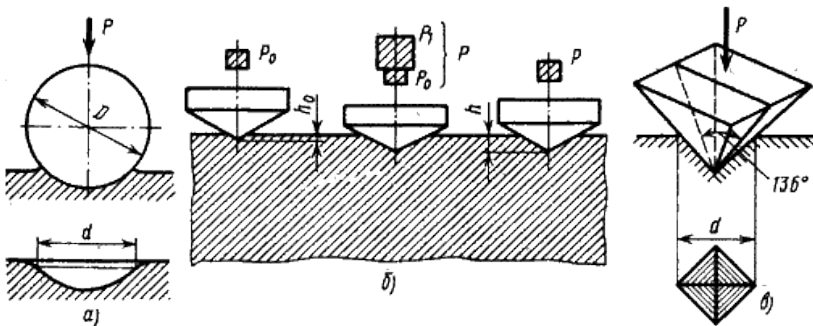


Рис. 1.24. Схемы определения твердости:
а – по Бринеллю; *б* – по Роквеллу; *в* – по Виккерсу

При поверке приборов для измерения твердости по методам Бринелля, Виккерса, Роквелла применяются меры твердости образцовые 2-го разряда по ГОСТ 9031.

Твердость по Бринеллю (HB) – отношение нагрузки P , действующей на индентор (шарик), к сферической поверхности отпечатка F :

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Метод измерения твердости по Бринеллю (предложен шведским инженером Ю.А. Бринеллем в 1900 году) – в материаловедении первый широко используемый стандартизированный метод измерения твердости материалов. Испытание проводят на твердомере Бринелля (рис. 1.25, а).

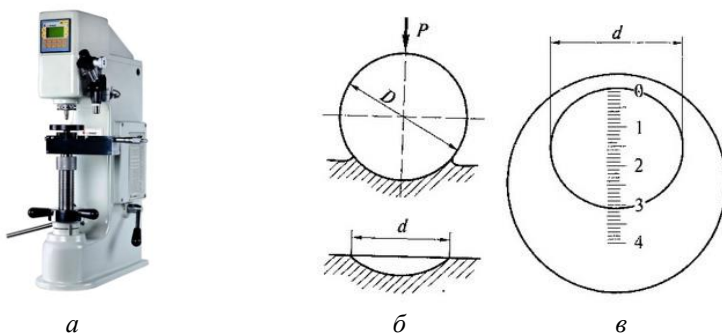


Рис. 1.25. Твердомер Бринелля (а), схема определения твердости по Бринеллю (б) и измерения отпечатка лупой Бринелля

В качестве индентора используется стальной закаленный шарик диаметром D 2,5; 5; 10 мм (рис. 1.25, б). Величину нагрузки и диаметр шарика выбирают в зависимости от исследуемого материала, который разделен на пять основных групп: 1 – сталь, никелевые и титановые сплавы; 2 – чугун; 3 – медь и сплавы меди; 4 – легкие металлы и их сплавы; 5 – свинец, олово. Кроме этого, данные группы могут разделяться на подгруппы в

зависимости от твердости образцов. При выборе условий испытаний следят за тем, чтобы толщина образца как минимум в 8 раз превышала глубину вдавливания индентора. И еще важно контролировать диаметр отпечатка, который должен находиться в пределах от $0,24D$ до $0,6D$. Продолжительность выдержки τ : для стали и чугуна – 10 с, для латуни и бронзы – 30 с. Полученный отпечаток измеряется в двух направлениях при помощи лупы Бринелля (рис. 1.24, в). Стандартными условиями являются $D = 10$ мм; $P = 3000$ кгс; $\tau = 10$ с.

Твердость по Виккерсу (HV) – отношение нагрузки, действующей на индентор (четырёхгранная алмазная пирамида), к площади полученного отпечатка. Сущность метода заключается во вдавливании в испытуемый материал правильной четырёхгранной алмазной пирамиды с углом 136° между противоположными гранями (рис. 1.24, в). Регламентируется *ISO 6507* и *ГОСТ 2999-75*. Метод Виккерса позволяет определять твёрдость азотированных и цементированных поверхностей, а также тонких листовых материалов. Твёрдость по Виккерсу во всех случаях обозначается буквами HV без указания размерности МПа (кгс/мм²). Основными параметрами при измерении твёрдости по Виккерсу являются нагрузка P до 980,7 Н (100 кгс) и время выдержки 10–15 с. Наблюдается хорошее совпадение значений твёрдости по Виккерсу и Бринеллю в пределах от 100 до 450 HV .

Твердость по Роквеллу (HRB , HRC , HRA) оценивают по глубине внедрения индентора (алмазный конус или стальной закаленный шарик диаметром 1,588 мм) и выражают в условных единицах. Испытание на твердость по Роквеллу вдавливанием в испытываемый образец конуса с углом 120° представлено на рис. 1.24, б. Конус вдавливают в испытательный образец под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок – предварительной P_0 и основной P_1 . Общая нагрузка P будет равна сумме предварительной P_0 и основной P_1 нагрузок. h_0 – глубина внедрения наконечника в испытательный материал под действи-

ем предварительной нагрузки P_0 , h_1 – глубина внедрения наконечника в испытательный материал под действием основной нагрузки P_1 . Расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее четырех диаметров отпечатка (но не менее 2 мм), расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее 2,5 диаметра отпечатка (но не менее 1 мм). При измерении твёрдости на выпуклых цилиндрических и сферических поверхностях по шкалам A, B, C, D, F, G в результате измерений твёрдости должны быть введены поправки, величины которых даны в приложении 3 ГОСТ 9013. Поправки прибавляются к полученным значениям твёрдости. Существует корреляция между значениями твёрдости, измеренной разными методами (рис. 1.26). Осуществляется перевод единиц твёрдости HRB в твёрдость по методу Бринелля для алюминиевых сплавов. Имеются нормативные документы, где приведено сравнение значений твёрдости, измеренной разными методами (например, ASTM E-140) и таблицы перевода единиц твёрдости по методам Бринелля, Виккерса, Роквелла.

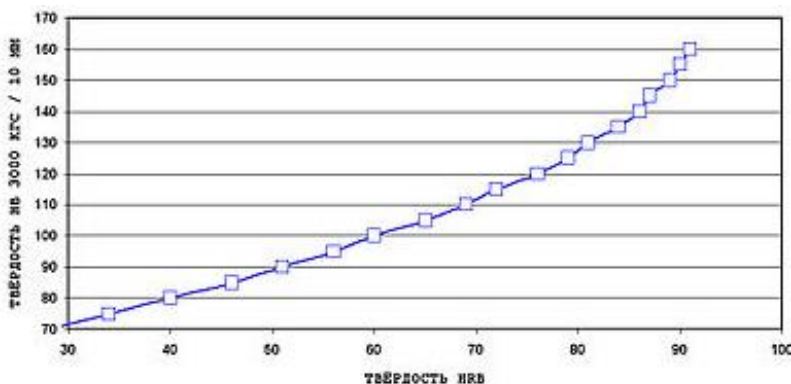


Рис. 1.26. Перевод единиц твердости по Роквеллу HRB в единицы твердости по Бринеллю HB для алюминиевых сплавов

Термообработка – комплекс операций нагрева до определенной температуры, выдержки и охлаждения с определенной скоростью металлических сплавов с целью получения требуемых свойств за счет изменения структуры. Химический состав металла не изменяется. Основными видами термической обработки металлических изделий являются: отжиг, закалка, отпуск, старение (рис. 1.27). Может сочетаться с химическим, деформационным, магнитным и др. воздействием.



Рис. 1.27. Виды и разновидности термической обработки сталей и цветных металлов и сплавов

Трещина [Crack] – преимущественно двухмерный дефект – нарушение сплошности материала образованием свободных поверхностей раздела.

Трещины закалочные [Quenching crack] – трещины, возникшие в процессе чрезмерно быстрого охлаждения при закалке.

Трещины горячие [hot crack] – трещины, возникающие в наплавленном металле шва при сварке, дефект отливки в виде разрыва или надрыва тела отливки усадочного происхождения,

возникающий в интервале кристаллизации сплава. Горячая трещина располагается по границам кристаллов, имеет неровную окисленную поверхность, на которой иногда видны дендриты. Горячая трещина относится к группе дефектов несплошностей в теле отливки.

Трещины холодные [*cold cracking*] – трещины в околошовной зоне сварного соединения, возникающие обычно при быстром охлаждении, приводящем к большим напряжениям; разрыв или надрыв (рис. 1.28) тела отливки после затвердевания в результате неравномерного охлаждения и возникающих внутренних напряжений или механического воздействия (холодной прокатки).

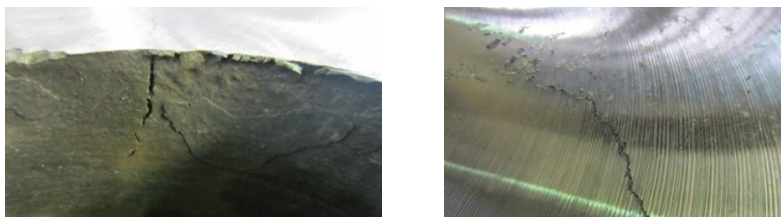


Рис. 1.28. Холодные трещины блока цилиндров

Трещины усталостные – трещины, возникающие при циклических нагрузках.

Трещиностойкость [*cracking resistance*] – свойство материала сопротивляться развитию трещин при механических и других воздействиях. Критерий трещиностойкости материала – критический коэффициент интенсивности напряжений в условиях плоской деформации в вершине образца.

Термоциклирование – технологический процесс термической обработки, основанный на использовании циклических тепловых воздействий и получивший название термоциклической обработки (ТЦО), заключающейся в многократном повторе циклов нагрева и охлаждения металлов и сплавов с целью изменения (улучшения) их структуры и повышения их механических свойств. В отличие от других видов термической обработки

структурные и фазовые превращения при ТЦО совершаются многократно при изменяющейся температуре нагрева и охлаждения. Необходимость многократного повторения обработки при заданных температурах, как правило, обусловлена стремлением накопить изменения (рис. 1.29), которые коренным образом улучшают качество изделий и придают им свойства, недостижимые при одноразовой термической обработке.

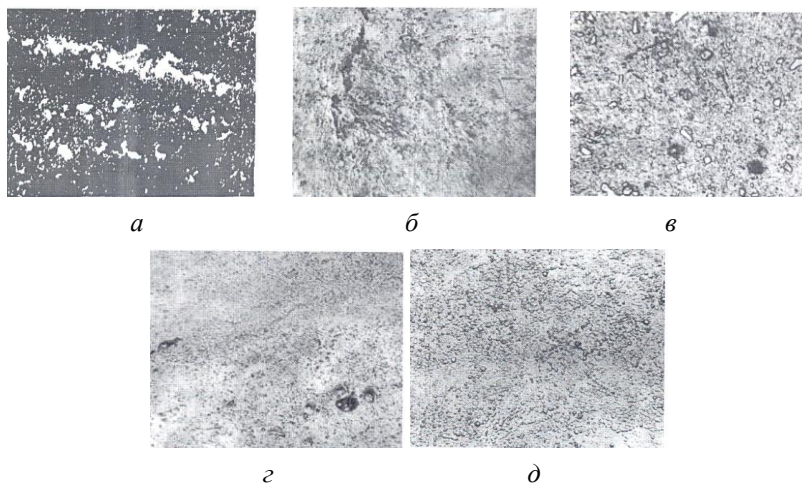


Рис. 1.29. Структура сталей У8, 5ХНМВ, 45Х2МНВФКЮ после традиционной термической обработки (*а–в* соответственно) и после окончательной термоциклической обработки (*г–д*), $\times 650$ [1]:

Чаще всего возникающие изменения от цикла к циклу связывают с изменениями, вызванными пластической деформацией. При ТЦО наклеп осуществляется в процессе термической обработки, но на этой основе разработаны и другие методы упрочнения сталей и сплавов, такие как механико-термическая обработка (МТО) и др. Эффективность влияния ТЦО на структуру и свойства стали во многом определяется режимом ее осуществления, то есть температурами в цикле, количеством циклов, а также скоростью нагрева и охлаждения. Разработка и внедрение новых более эффективных технологий упрочнения

инструментальных сталей, повышающих качество готового инструмента (а именно, его эксплуатационную стойкость, обеспечивающую значительное снижение энергозатрат), направлены на решение и теоретическое обоснование научной проблемы, имеющей важное народнохозяйственное значение.

Техника – совокупность средств человеческой деятельности, созданных и (или) создаваемых для осуществления процессов производства и обслуживания производственных потребностей общества.

У

Улучшение [*quenching and tempering*] – комплексная дифференциальная термообработка, состоящая из закалки и последующего высокого отпуска для получения однородной дисперсной структуры сорбита, обеспечивающей хорошее сочетание прочности, пластичности, ударной вязкости и критической температуры перехода из вязкого в хрупкое состояние. Основные марки улучшаемых конструкционных сталей приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Основные марки улучшаемых конструкционных сталей

Углеродистые стали ГОСТ 1050-74	Малолегированные стали ГОСТ 4543-71	Среднелегированные стали ГОСТ 4543-71
30, 35	30Г, 50Г, 60Г, 65Г	38ХН3А
40, 45	30Х, 40Х	38Х2МЮА
50, 55	30ХМ, 40ХМ	40ХН2МА
60, 65	50Г2, 50ХФА	38ХН3МФА
	30ХГСА, 40ХМФА	45ХН2МФА

Упрочнение (поверхностное) – изменение физических свойств поверхности металла с целью повышения его твердости и износостойкости.

Среди методов поверхностного упрочнения наибольшее распространение получили поверхностная закалка, обработка лазером и электроискровое легирование. При поверхностной закалке на некоторую заданную глубину закаливается только верхний слой, тогда как сердцевина изделия остается незакаленной. Основное назначение поверхностной закалки – повышение твердости, износостойкости и предела выносливости обрабатываемого изделия. Сердцевина изделия остается вязкой и воспринимает ударные нагрузки. Поверхностную закалку осуществляют двумя методами: нагревом токами высокой частоты (ТВЧ) и нагревом газовым пламенем (рис. 1.30).

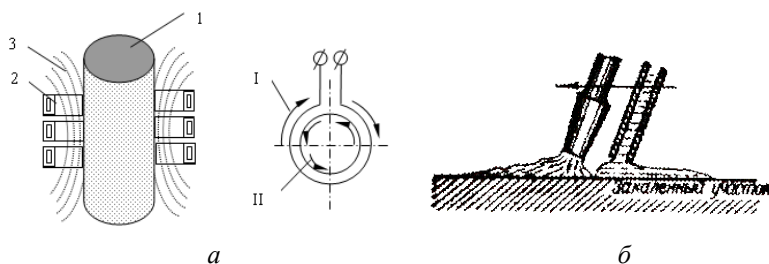


Рис. 1.30. Схема нагрева токами высокой частоты (а) и закалки с помощью газовой горелки (б):

1 – деталь; 2 – индуктор; 3 – магнитное поле;
 I – направление тока в индукторе; II – направление тока в детали

В связи с тем что скорость нагрева ТВЧ значительно выше скорости нагрева в печи, фазовые превращения в стали происходят при более высоких температурах и температуры нагрева под закалку повышаются. Например, при нагреве ТВЧ со скоростью $400\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ температура закалки стали 40 с $840\text{--}860\text{ }^{\circ}\text{C}$ повышается до $930\text{--}980\text{ }^{\circ}\text{C}$. После прогрева ТВЧ стали до температуры закалки изделие охлаждают водой. При закалке ТВЧ получается высокодисперсная структура кристаллов мартенсита, обеспечивающая более высокую, чем при печном нагреве твердость и прочность стали.

Существуют следующие способы закалки индукционного нагрева:

1. Одновременный нагрев и охлаждение всей поверхности. Этот метод применяют для изделий, имеющих небольшую поверхность (пальцы, валики, осевые инструменты).

2. Последовательный нагрев и охлаждение отдельных участков. Используют при закалке шеек коленчатых валов (последовательный нагрев и закалка одной шейки за другой), зубчатых колес с модулем более 6 (закалка «зуб за зубом»), кулачков распределительных валов и т.д.

3. Непрерывно последовательный нагрев и охлаждение. Метод применяют для закалки длинных валов, осей и т.д. При этом методе изделие перемещается относительно неподвижных индуктора и охлаждающего устройства (спрейера) или наоборот. По сравнению с первым методом не требуется большой установочной мощности генератора. При закалке с нагревом пламенем газокислородной горелки, имеющей температуру 2 000–3 000°C, получается очень быстрый нагрев некоторого участка поверхности до температуры закалки, после которого использование спрейера обеспечивает интенсивное охлаждение поверхности обрабатываемого изделия с формированием слоя закалки на необходимую толщину.

Упрочнение деформационное возникает в результате холодной пластической деформации – наклепа (нагартовки). Упрочнение металла в процессе пластической деформации (наклеп) объясняется увеличением числа дефектов кристаллического строения (дислокаций, вакансий, меж узельных атомов). Повышение плотности дефектов кристаллического строения затрудняет движение отдельных новых дислокаций, а следовательно, повышает сопротивление деформации и уменьшает пластичность. Наибольшее значение имеет увеличение плотности дислокаций, так как возникающее при этом между ними взаимодействие тормозит дальнейшее их перемещение. Металлы с ГЦК решеткой упрочняются сильнее, чем металлы с ОЦК

решеткой. В результате холодной деформации уменьшаются плотность, сопротивление коррозии и повышается электросопротивление. Холодная деформация ферромагнитных металлов (например, железа) повышает коэрцитивную силу и уменьшает магнитную проницаемость.

Упрочнение карбидное (дисперсионное) возникает в результате образования мелкодисперсных частиц химического соединения легирующего элемента (титан, хром, вольфрам и др.) и углерода. Частицы избыточных фаз могут еще более существенно, чем растворенные атомы, влиять на пластическую деформацию во всем интервале гомологических температур. Обычно в сплавах они находятся в окружении матрицы – твердого раствора на базе основного металла – и являются эффективными барьерами для скользящих в матрице дислокаций. Дисперсные смеси образуются двояким способом: закалкой и старением; методами порошковой металлургии. Соответственно, упрочнение, достигаемое за счет выделения дисперсных включений в процессе термообработки, называется дисперсионным. Упрочнение, достигаемое за счет введения дисперсных частиц в исходную шихту, за счет последующего формования и спекания, называется дисперсным. Несмотря на это, механизмы торможения дислокаций при пластической деформации для данных вариантов упрочнения общие. Отдельные особенности состоят в различии межфазных границ «частица–матрица». В дисперсионноупрочненных материалах эта граница может быть когерентной, полукogerентной и некогерентной (рис. 1.31 *а, б* и *в* соответственно).

В дисперсноупрочненных материалах межфазная граница всегда некогерентна. Кogerентная граница наблюдается между фазами, имеющими одинаковые типы решеток с близкими параметрами (сопряжение полное). Полукogerентная граница возникает в случае частичного сопряжения решеток (для полного сопряжения необходимо ввести дислокации). Некогерентная граница возникает между фазами с различным типом и параметрами решетки. Для сопряжения требуются переходная решетка

и зернограничные дислокации. Оптимальные с точки зрения торможения дислокаций условия следующие: расстояния между частицами $< 0,1$ мкм, размер частиц $< 0,01$ мкм.

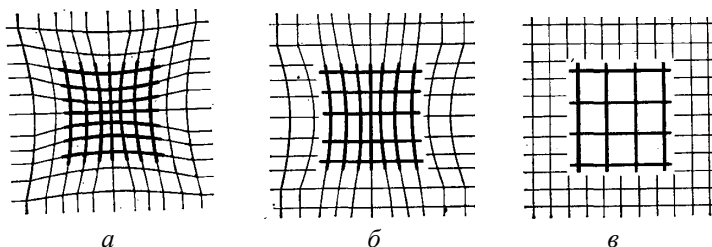


Рис. 1.31. Схемы границ в дисперсионноупрочненных материалах:
a – когерентной, *б* – полукogerентной, *в* – некогерентной

Допустимое объемное содержание упрочняющей фазы определяется технологическими возможностями получения равномерного распределения частиц выбранной дисперсности. Способ введения частиц фазы-упрочнителя в матрицу зависит от выбора типа структуры дисперсноупрочненного материала, которая может быть дисперсной (рис. 1.32, *a*) или агрегатной (рис. 1.32, *б*). В реальных материалах эти структуры сосуществуют. Предпочтительной является дисперсная структура.

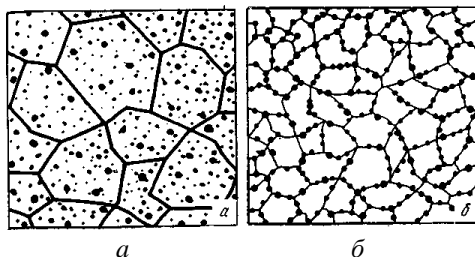


Рис. 1.32. Типы структур в дисперсноупрочненных материалах:
a – дисперсная; *б* – агрегатная

Упрочнение твердорастворное возникает в результате искажения кристаллической структуры металла при образовании твердого раствора. Твердорастворное упрочнение реализу-

ется в сплавах вследствие способности металлов образовывать между собой, а также с неметаллами либо отдельные фазы, либо смеси фаз. Различают твердые растворы замещения, твердые растворы внедрения, интерметаллические фазы. Твердые растворы замещения возникают при занятии некоторых узлов решетки матрицы атомами другого элемента, т.е. замещением атома матрицы (рис. 1.33, *a*). Область растворимости какого-либо металла в данной матрице может быть оценена эмпирическим правилом Юм-Розери: широкая область растворимости возможна в тех случаях, когда: различие атомных радиусов менее 10–15 %; элементы обладают почти одинаковыми электрохимическими свойствами; решетки изотипны.

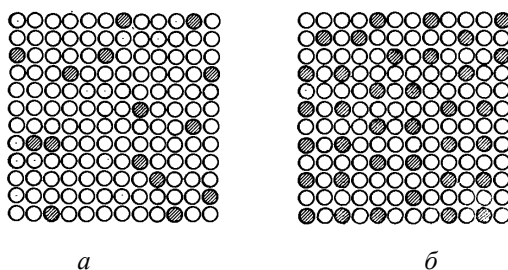


Рис. 1.33. Твердые растворы замещения: *a* – при занятии некоторых узлов решетки матрицы атомами другого элемента, *б* – атом окружен атомами другого вида

При полном выполнении правила Юм-Розери получается непрерывный ряд твердых растворов, а при частичном – растворимость в твердом состоянии ограниченная. При образовании твердых растворов замещения могут возникать следующие варианты расположения атомов:

1. Ближний порядок (рис. 1.33, *б*). Атом окружен атомами другого вида. Энергия связи между разнородными атомами больше, чем между однородными.

2. Дальний порядок или сверхструктура (рис. 1.34, *a*). Возникает при стехиометрическом соотношении разнородных атомов, которые образуют вполне определенную решетку.

Сверхструктуры устойчивы только ниже определенной температуры.

3. Образование зон (рис. 1.34, б). Предпочтительное расположение однородных атомов растворимого элемента в качестве ближайших соседей.

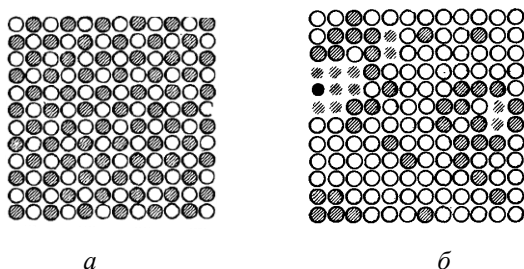


Рис. 1.34. Твердые растворы замещения:
a – дальний порядок или сверхструктура замещения,
б – зонное расположение атомов другого вида

4. Твердые растворы внедрения образуются преимущественно при внедрении атомов металлоидов в междоузлия кристаллической решетки матрицы.

5. Фазы внедрения (рис. 1.35) – сверхструктуры в системах растворов внедрения, которые имеют полуметаллический блеск, высокую твердость и износоустойчивость. В технике наиболее широко используются такие фазы внедрения, как карбиды и нитриды переходных металлов.

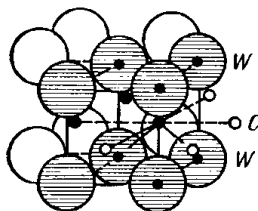


Рис. 1.35. Фазы внедрения – сверхструктуры в системах растворов внедрения

Интерметаллические фазы образуются обычно в средних частях диаграмм состояния, за областью твердых растворов. Они стабильнее сверхструктур, они большей частью твердые, хрупкие и обладают плохой электропроводностью.

Упругость – свойство тела восстанавливать свою первоначальную форму и объем после прекращения действия внешних сил, если силы эти не превосходят тех пределов, за которыми восстановление формы тела совершается не вполне, так что остаются некоторые деформации, не исчезающие после прекращения действия сил. Обусловлена взаимодействием и тепловым движением частиц тела.

Усталость – процесс постепенного накопления напряжений в материале при действии циклических нагрузок, приводящий к образованию микротрещин и разрушению. Свойство металлов сопротивляться усталости носит название выносливость. Характерной особенностью разрушений металла от усталости является пониженный уровень необходимых для этого напряжений по сравнению с их уровнем, приводящим к разрушению при однократном приложении нагрузки. Процесс разрушения связан с накоплением дефектов в кристаллической решётке, приводящим сначала к местному разрушению – возникновению микротрещин. Первоначально процесс развивается медленно, а затем, когда живое сечение образца ослабнет настолько, что напряжения превысят предел текучести, происходит внезапное разрушение. Металл может разрушаться также под действием многократных повторных температурных напряжений. Это явление получило название термической усталости. При быстром нагреве наружные слои детали оказываются в сжатом состоянии, а внутренние – в растянутом. При охлаждении знак напряжений меняется. В конечном счёте деталь разрушается.

Ф

Фосфотирование. Насыщение поверхности детали фосфором с целью повышения коррозионной стойкости.

Фреттинг-коррозия [*Fretting corrosion*] – коррозия при минимальном повторяющемся (локальном) перемещении двух поверхностей относительно друг друга в условиях воздействия коррозионной среды. Фреттинг-коррозии подвержены болтовые соединения, посадочные поверхности подшипников качения, листовые рессоры, шестерни, муфты и т.д. (рис. 1.36). Она возникает вследствие непрерывного разрушения защитной оксидной плёнки в точках подвижного контакта.



Рис. 1.36. Фреттинг-коррозия на внутреннем кольце радиального подшипника

Х

Химико-термическая обработка – нагрев и выдержка металлических (а в ряде случаев и неметаллических) материалов при высоких температурах в химически активных средах (твердых, жидких, газообразных). При химико-термической обработке (ХТО) изменяется не только структура, но и химический состав поверхностных слоев металла. Сущность ХТО стали состоит в искусственном изменении химического состава ее поверхностных слоев. Цель такой обработки – получение высокой поверхностной твердости и износостойкости стальных деталей. Химический состав поверхностных слоев стали изменяется благодаря проникновению в них различных элементов. Изменение химического состава вызывает изменение структуры и свойств

поверхностного слоя. ХТО осуществляется помещением стали в среду, в которой происходит насыщение ее поверхностного слоя. ХТО стали складывается из трех этапов: диссоциации, адсорбции и диффузии. Различают следующие виды ХТО: цементация и нитроцементация, цианирование, азотирование, алитирование, хромирование.

Хладноломкость [*frost fracture*] – свойство металлов, характеризующееся уменьшением пластичности и повышением хрупкости при низких температурах. Хладноломкость связана с происходящим при этом из-за затруднённости движения дислокаций значительным повышением предела текучести; начиная с некоторой критической температуры (так называемой температуры хрупкости или порога хладноломкости) хрупкое разрушение наступает раньше, чем состояние пластической текучести. Хладноломкость присуща низколегированным сталям, танталу, вольфраму, хрому, молибдену и некоторым др. металлам с объёмноцентрированной кубической решёткой и сплавам на их основе. Хладноломкость вызывается в железе посторонними примесями, главным образом – примесями фосфора, сурьмы, мышьяка и вольфрама, а отчасти – также примесями серы, меди, цинка и хрома. Наличие примесей внедрения в металлах, что в сочетании со сжатием кристаллической решётки при понижении температуры приводит к увеличению внутренних напряжений. Из этих примесей преобладающее влияние оказывает фосфор. Влияние его проявляется тем сильнее, чем богаче металл углеродом. Температура перехода от вязкого разрушения к хрупкому зависит от режима термической обработки, величины зерна, скорости нагружения, величины концентрации напряжений. Чаще всего хладноломкость оценивают путём испытаний на ударный изгиб призматических образцов с надрезом, определяя при этом работу деформации и разрушения – значения ударной вязкости. Склонность к хладноломкости можно также оценить по температуре резкого снижения пластичности или по доле волокнистого излома на поверхности разрушения. Хладнолом-

кость имеет особое значение при эксплуатации водородных двигателей. Снижение хладноломкости достигается очисткой металлов от вредных примесей, термообработкой, легированием.

Хромирование – нанесение на поверхность детали хрома.

Хромирование гальваническое – нанесение на поверхность детали хрома гальваническим способом.

Хромирование диффузионное – насыщение поверхности детали хромом.

Хрупкость отпускная – снижение ударной вязкости при отпуске некоторых легированных сталей. Сталь в состоянии отпускной хрупкости характеризуется низкой ударной вязкостью. На других механических свойствах при комнатной температуре состояние отпускной хрупкости практически не сказывается. На рис. 1.37 схематично показано влияние температуры отпуска на ударную вязкость легированной стали, в сильной степени склонной к отпускной хрупкости. Во многих легированных сталях наблюдаются два температурных интервала отпускной хрупкости.

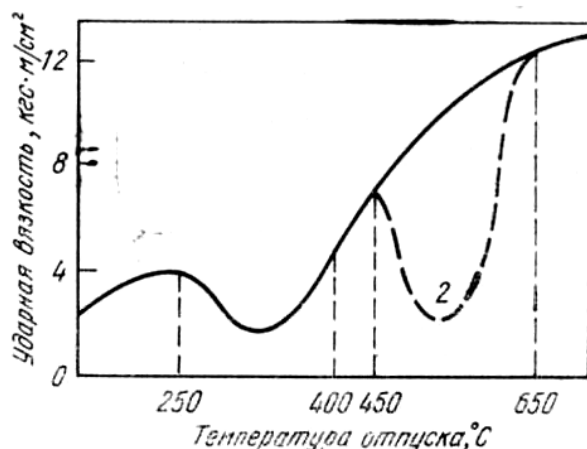


Рис. 1.37. Влияние температуры отпуска на ударную вязкость стали с высокой склонностью к отпускной хрупкости (схема):

1 – быстрое охлаждение в воде, масле;

2 – медленное охлаждение на воздухе или с печью

При отпуске в интервале 250–400 °С возникает необратимая отпускная хрупкость, а в интервале 450–650 °С – обратимая. Ударная вязкость закаленной стали после отпуска в интервале 250–400 °С меньше, чем после отпуска при температурах ниже 250 °С. Если хрупкую сталь, отпущенную при 250–400 °С, нагреть выше 400 °С и перевести в вязкое состояние, то повторный отпуск в интервале 250–400 °С не возвращает сталь в хрупкое состояние. Скорость охлаждения с температур отпуска в интервале 250–400 °С не влияет на ударную вязкость. Ударная вязкость – в высшей степени структурно чувствительное свойство, особенно чувствительное к состоянию границ зерен. Сталь в состоянии необратимой отпускной хрупкости имеет блестящий межкристаллитный излом по границам бывших аустенитных зерен. Эта хрупкость свойственна в той или иной мере всем сталям, в том числе и углеродистым. Поэтому средний отпуск стали, как правило, не используют, хотя он и обеспечивает высокий предел текучести. Причиной необратимой отпускной хрупкости считают карбидообразование при распаде мартенсита, в частности выделение карбида в виде пленки по границам зерен. Эта пленка при более высоких температурах отпуска исчезает, а при повторном нагреве до 250–400 °С не восстанавливается. Кремний в малолегированных сталях, задерживая распад мартенсита, устраняет необратимую отпускную хрупкость. Практические меры борьбы с обратимой отпускной хрупкостью – быстрое охлаждение с температуры отпуска (в воде или масле) и легирование стали молибденом или вольфрамом.

Хрупкость отпускная I рода (необратимая) – снижение ударной вязкости после отпуска в интервале 250–400 °С (рис. 1.37).

Хрупкость отпускная II рода (обратимая) – снижение ударной вязкости после отпуска в интервале 450–650 °С и замедленного охлаждения (рис. 1.37).

Ц

Цементация (науглероживание) – химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя атомами углерода при нагреве в соответствующей среде, называемой карбюризатором. Цементация является промежуточной операцией, цель которой – обогащение поверхностного слоя углеродом (рис. 1.38). Требуемое упрочнение поверхностного слоя изделия достигается закалкой после цементации. Закалка должна не только упрочнить поверхностный слой, но и исправить структуру перегрева, возникающую из-за многочасовой выдержки стали при температуре цементации. После цементации в твердом карбюризаторе ответственные изделия подвергают двойной закалке, так как содержание углерода в сердцевине и на поверхности изделия разное, а оптимальная температура нагрева под закалку зависит от содержания углерода в стали.

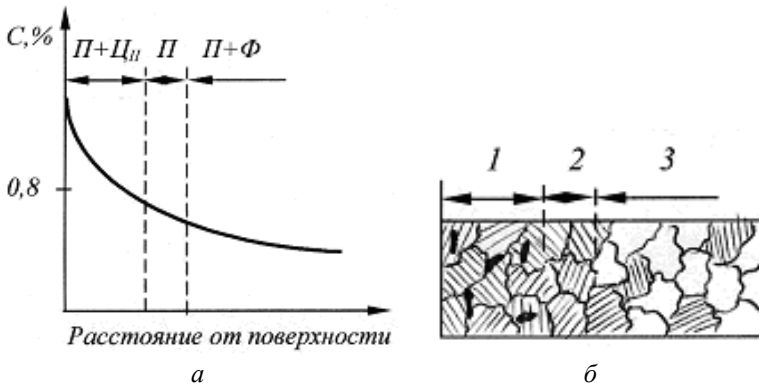


Рис. 1.38. Изменение концентрации углерода по глубине цементированного слоя (а) и схема микроструктуры закаленного науглероживаемого слоя (б): 1 – заэвтектоидная; 2 – эвтектоидная; 3 – доэвтектоидная зоны

Цианирование – химико-термическая обработка, заключающаяся в одновременном диффузионном насыщении поверхностного слоя атомами углерода и азота в цианистых солях.

Различают высоко- (750–950°C) и низкотемпературное (520–700°C) цианирование. Высокотемпературное цианирование сопровождается преимущественным насыщением стали углеродом до 0,6–1,2 %, (жидкостная цементация). Содержание азота в цианированном слое от 0,2% до 0,6 %, толщина слоя 0,15–2 мм. После цианирования изделия подвергаются закалке и низкому отпуску. Окончательная структура цианированного слоя состоит из тонкого слоя карбонитридов $Fe_2(C, N)$ и слоя азотистого мартенсита. По сравнению с цементацией высокотемпературное цианирование происходит с большей скоростью, приводит к меньшей деформации деталей, обеспечивает большую твердость и сопротивление износу. Низкотемпературное цианирование сопровождается преимущественным насыщением стали азотом. Проводится для инструментов из быстрорежущих, высокохромистых сталей. Является окончательной обработкой. Основным недостатком цианирования – ядовитость цианистых солей.

Ч

Чугун – сплав железа с углеродом, содержащий от 2,14% до 6,67% углерода.

Чугун белый – чугун, у которого весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита. Эти чугуны, фазовые превращения в которых происходят согласно диаграммы Fe- Fe_3C , подразделяют на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические (рис. 1.39).

При цеховой температуре структура белого доэвтектического чугуна состоит из ледебурита, перлита и вторичного цементита (рис. 1.39, а). Ледебуритная составляющая на металлографическом шлифе имеет вид светлых цементитных полей с равномерно расположенными на них относительно мелкими темными перлитными участками. Перлит занимает также крупные темные области. Вторичный цементит часто присутствует в виде светлых выделений по границам перлитных областей, а может частично сливаться с цементитом ледебурита. Эвтектический белый чугун имеет в своей структуре один ледебурит

(рис. 1.39, б), а заэвтектический белый чугун – ледебурит и цементит первичный.

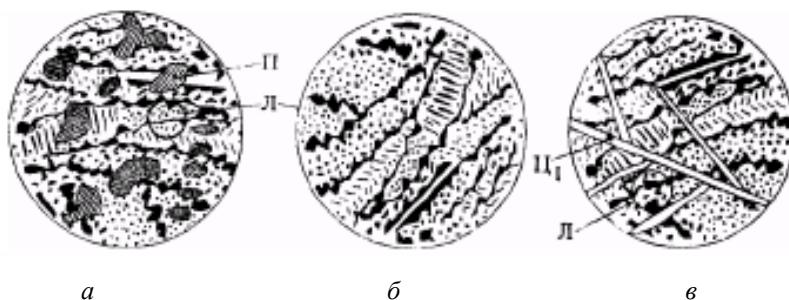


Рис. 1.39. Микроструктуры белых чугунов: а – доэвтектический белый чугун (перлит П + ледебурит Л + цементит вторичный Ц II); б – эвтектический белый чугун (ледебурит Л); в – заэвтектический белый чугун (ледебурит Л + цементит первичный Ц I)

Из-за большого количества цементита белые чугуны хрупки, тверды (НВ 4500–5500 МПа) и для изготовления деталей машин почти не используются. Ограниченное применение имеют отбеленные чугуны (отливки из серого чугуна с поверхностным слоем белого чугуна). Из них изготавливают прокатные валки, лемеха плугов, тормозные колодки, вагонные колеса и др. детали, работающие в условиях износа. Белый чугун используется также как передельный для получения с помощью граффизирующего отжига ковкого чугуна.

Чугун высокопрочный – чугун, в котором графит имеет шаровидную форму (рис. 1.40). Его получают модифицированием магнием, церием, иттрием, которые вводят в жидкий чугун в количестве 0,02–0,08%. По структуре металлической основы высокопрочный чугун может быть ферритным (допускается до 20% перлита) или перлитным (допускается до 20% феррита). Шаровидный графит является более слабым концентратором напряжений, чем пластинчатый графит, поэтому меньше снижает механические свойства чугуна. Высокопрочный чугун обладает более высокой прочностью и некоторой пластичностью.

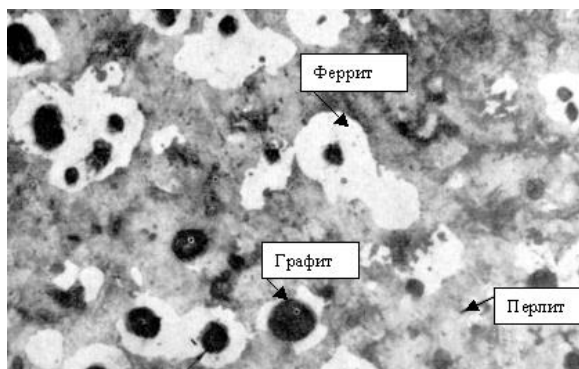


Рис. 1.40. Микроструктура высокопрочного чугуна на феррито-перлитной основе

Маркируют высокопрочные чугуны по ГОСТ 7293-85 буквами ВЧ и двухзначным числом, показывающим минимальное значение предела прочности на растяжение в десятках мегапаскалей. Например, высокопрочный чугун ВЧ 40 имеет при растяжении временное сопротивление 400 МПа, относительное удлинение не менее 10%, твердость HB – 1400–2200 МПа, структуру ферритно-перлитную. Маркировка по предшествующему ГОСТу 7293-79 предусматривала дополнительное указание относительного удлинения в процентах, например, ВЧ 40–10. Обычный состав высокопрочного чугуна: 2,7–3,8% С; 1,6–2,7% Si; 0,2–0,7% Mn; $\leq 0,02\%$ S; $\leq 0,1\%$ P. Из высокопрочных чугунов изготавливают прокатные валки, кузнечно-прессовое оборудование, корпуса паровых турбин, коленчатые валы и другие ответственные детали, работающие при высоких циклических нагрузках и в условиях изнашивания.

Чугун ковкий – чугун, в котором графит имеет хлопьевидную форму. Ковкие чугуны получают путем специального графитизирующего отжига (томления) отливок из белых доэвтектических чугунов. Отливки загружают в специальные ящики, засыпают песком или стальными стружками для защиты от окисления и производят нагрев и охлаждение по приведенной на рис. 1.41, а схеме. При температуре 950–1000 °С происходит графитизация эвтектического и избыточного цементита (пре-

вращение метастабильного цементита в стабильный графит и аустенит). При второй выдержке при температуре 720–740°С графитизируется цементит образовавшегося перлита (часто вместо выдержки проводят медленное охлаждение от 770 °С до 700°С в течение 30 часов, при этом происходит кристаллизация по стабильной диаграмме с выделением углерода в свободном состоянии). В результате продолжительного отжига весь углерод выделяется в свободном состоянии. Обычный состав ковкого чугуна 2,4–2,8 % С; 0,8–1,4% Si; ≤1% Mn; ≤0,1% S; ≤ 0,2% P. Структура – ферритная или ферритно-перлитная (рис. 1.41, б–в). Отсутствие литейных напряжений, снятых во время отжига, благоприятная форма и изолированность графитных включений *Гр* обуславливают высокие механические свойства ковких чугунов. Маркируют ковкие чугуны по ГОСТ 1215-79 буквами КЧ и двумя числами, первое из которых – минимальный предел прочности на растяжение в десятках мегапаскалей, а второе – относительное удлинение в %. Например, чугун КЧ 45-6 имеет при растяжении временное сопротивление 450 МПа, относительное удлинение $\delta = 6\%$, НВ – 2400МПа и структуру – феррит Φ + перлит *П*. Из ковкого чугуна изготавливают детали высокой прочности, работающие в тяжелых условиях износа, способные воспринимать ударные и знакопеременные нагрузки, в том числе клапаны, муфты, картеры редукторов, коленчатые валы и др.

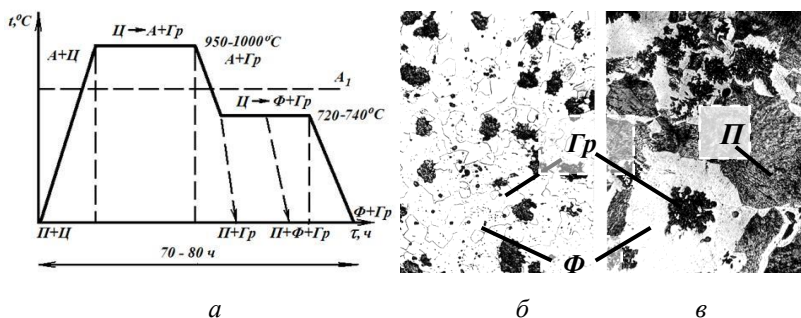


Рис. 1.41. Схема отжига белого чугуна на ковкий (а) и микроструктура ковкого чугуна (б–в): б – ферритная основа, в – ферритно-перлитная основа

Чугун серый. Серыми называют чугуны, у которых весь углерод или часть его присутствует в свободном состоянии в форме графита *Гр*. Термины «белый» и «серый» чугуны связаны с видом излома, определяемым наличием светлых кристаллов цементита или темных кристаллов графита. Графит имеет практически нулевую прочность и пластичность. Он обеспечивает пониженную твердость, хорошую обрабатываемость резанием, высокие антифрикционные свойства вследствие низкого коэффициента трения, а также способствует гашению вибрации и резонансных колебаний. Кроме того, графит способствует при охлаждении отливки некоторому увеличению ее объема, чем обеспечивается хорошее заполнение формы. Вместе с тем включения графита снижает прочность и пластичность, т.к. нарушают сплошность металлической основы сплава. В зависимости от формы графита различают обыкновенный серый чугун (графит пластинчатой формы), высокопрочный чугун (графит сферической формы) и ковкий чугун (графит хлопьевидной формы). Обыкновенный серый чугун – это сплав сложного состава. Химический состав серого чугуна колеблется в пределах: 3,2–3,8% С, 1–5% Si, 0,5–0,9% Mn, 0,2–0,4% P, до 0,12% S. Факторами, способствующими выделению углерода в свободном состоянии (графитизации), являются низкая скорость охлаждения и наличие в химическом составе чугуна графитизирующих элементов Si, Ni, Cu (препятствуют графитизации Mn, S, Cr, W). Изменяя в чугуне содержание кремния при постоянном количестве марганца, получают различную степень графитизации. На рис. 1. 42 показаны микроструктуры обыкновенного серого чугуна.

На свойства серого чугуна оказывают большое влияние вид графитовых включений *Гр*, их размеры, характер металлической основы. От формы и количества графита зависит прочность и пластичность чугуна (от 0,5% относительного удлинения при пластинчатой форме графита до 20% – при шаровидной форме). Вытянутые пластинки графита фактически являются трещинами в металлической основе и сильными концентрато-

рами напряжений, на их концах при приложении нагрузки напряжения быстро достигают разрушающих величин.

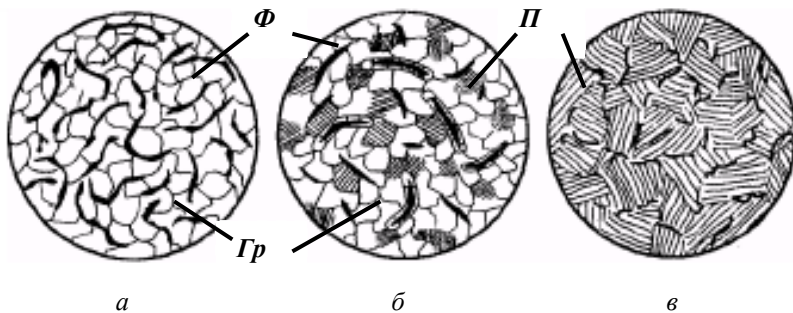


Рис. 1.42. Микроструктура серых чугунов в равновесном состоянии:
а – ферритного; *б* – ферритно-перлитного и *в* – перлитного

Твердость и износостойкость чугунов растет с увеличением перлита в металлической основе серого чугуна (различают чугуны с ферритной, феррито-перлитной и перлитной основой, рис. 1.42). Обыкновенный серый чугун является одним из важнейших литейных машиностроительных материалов и характеризуется высокими литейными и удовлетворительными механическими свойствами, хорошей обрабатываемостью резанием, высокой износостойкостью, нечувствительностью к поверхностным дефектам. Согласно ГОСТ 1412-85 установлены марки отливок из серого чугуна. Серый чугун маркируется буквами СЧ и двузначным числом, показывающим минимальное значение предела прочности на растяжение. Например, у чугуна марки СЧ25 при растяжении временное сопротивление $\sigma_b = 250$ МПа, твердость HB = 1 800–2 500 МПа и структура металлической основы – феррит Φ + перлит Π . Ферритные и феррито-перлитные серые чугуны СЧ10, СЧ15, СЧ18 используют для слабо- и средненагруженных деталей: крышки, фланцы, маховики, корпуса редукторов и др. Перлитные серые чугуны СЧ21, СЧ25 применяют для деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках: блоки цилиндров, кар-

теры двигателей, поршни цилиндров, станины станков и пр. Перлитные модифицированные серые чугуны СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45 обладают наиболее высокими механическими свойствами. Их применяют при высоких нагрузках: зубчатые колеса, гильзы двигателей, шпиндели, распределительные валы и пр. Структура модифицированных чугунов – перлитная основа с небольшим количеством изолированных пластинок графита *Гр*.

Ш

Шкала – часть измерительного прибора, представляющая собой ряд отметок, снабженных цифрами, служащими для отсчета значений измеряемой величины.

Шкала температурная – способ задания значений температуры.

Шкала температурная Кельвина – температурная шкала, единицей температуры в которой служит Кельвин.

Шкала температурная Цельсия – температурная шкала, в которой при нормальном давлении точка плавления льда соответствует нулю градусов, а точка кипения воды 100 °С.

Э

Электролит – раствор, в котором в значительном количестве присутствуют ионы, обуславливающие прохождение через него электрического тока.

Электромагнит – устройство, состоящее из токопроводящей обмотки и ферромагнитного сердечника, который намагничивается при прохождении по обмотке электрического тока.

Эльбор – синтетический материал на основе кубического нитрида бора, обладающий высокой твердостью, теплостойкостью, высоким модулем упругости, низким коэффициентом линейного расширения, химической устойчивостью к кислотам, щелочам, инертностью к железу.

Эрстед – единица напряженности магнитного поля в системе единиц СГСМ.

Эталон – средство измерений, обеспечивающее воспроизведение и хранение узаконенной единицы физической величины.

Ю

Юстировка (от нем. *justieren* – выверять, регулировать, от лат. *justus* – правильный) – совокупность операций по приведению средств измерений в состояние, обеспечивающее их наилучшее функционирование, и как следствие обеспечивающих минимизацию погрешностей замеров при проведении исследований. При юстировке устраняются погрешности изготовления (сборки), выявленные в результате поверки приборов. Основные операции юстировки: регулирование взаимного расположения деталей и узлов; устранение дефектов (шлифовкой, притиркой, доводкой); замена отдельных деталей и узлов. В отношении механизмов чаще применяют термин «регулировка», характеризующий аналогичные операции.

ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

А

Азотирование [*nitriding*] – вид химико-термической обработки, заключающийся в диффузионном насыщении поверхностного слоя стальных или титановых деталей азотом (нитрирование). Глубина насыщения составляет 0,2–0,8 мм. Азотирование стали проводят в среде аммиака или в расплаве солей на основе карбамида и цианата при температуре 500–600 °С. При азотировании изделия загружают в герметичные печи, куда с определенной скоростью поступает аммиак NH_3 . При нагреве аммиак NH_3 диссоциирует и атомарный азот поглощается поверхностью и диффундирует вглубь изделия (рис. 2.1). В результате азотирования повышается твердость, износостойкость, коррозионная стойкость на воздухе и в воде, усталостная прочность (*выносливость*). Поверхностный слой изделия, насыщенный азотом, имеет в своём составе растворённые нитриды и приобретает повышенную коррозионную стойкость и высочайшую микротвёрдость. По микротвёрдости азотирование уступает только борированию, в то же время превосходя цементацию и нитроцементацию (незначительно). Наибольшее распространение получило плазменное азотирование при изготовлении точных, прецизионных, тяжело нагруженных, работающих в экстремальных (трения и при температурах до 500–600 °С) условиях деталей: коленчатых, шпиндельных и распределительных валов, деталей аппаратуры двигателей, зубчатых колес всех типов, в том числе с внутренним зацеплением, клапанов и шаровых пальцев, гильз цилиндров, деталей гидравлики, в том числе штоков гидроцилиндров, деталей топливной и распределительной аппаратуры, в том числе плунжерных пар, втулок, кулачков, пружин сцеплений и др.

Для азотирования используют стали, содержащие алюминий, молибден, хром, титан. Нитриды этих элементов дисперсны и обладают высокой твердостью и термической устойчивостью.

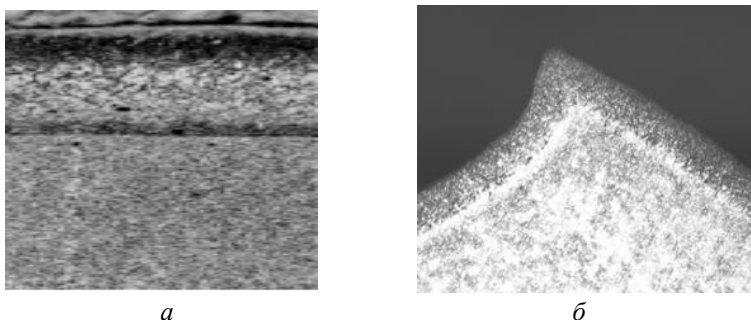


Рис. 2.1. Азотированный слой глубиной 200 мкм и 115 мкм с стали Р6М5 (а) и У8

Типовые марки азотируемых сталей: 38ХМЮА, 35ХМЮА, 30ХТ2НЗЮ.

Глубина и поверхностная твердость азотированного слоя деталей из этих сталей зависят от ряда факторов, из которых основные – температура азотирования, продолжительность азотирования и состав азотируемой стали. После азотирования в сердцевине изделия сохраняется структура сорбита, которая обеспечивает повышенную прочность и вязкость.

В зависимости от условий работы деталей различают следующие типы азотирования (нитрирования):

- для повышения поверхностной твердости и износостойкости;
- для улучшения коррозионной стойкости (антикоррозионное азотирование).

Азотирование проводят на готовых изделиях, прошедших окончательную механическую и термическую обработку (закалка с высоким отпускком), при этом технологический процесс предусматривает несколько операций, приведенных ниже:

1. Предварительная термическая обработка заготовки. Эта операция состоит из закалки и высокого отпуска стали для получения повышенной прочности и вязкости в сердцевине изделия. Закалку стали 38Х2МЮА выполняют с нагревом до 930–950 °С и с охлаждением в воде или масле. Отпуск проводят при высокой температуре 600–675 °С, превышающей максимальную температуру последующего азотирования и обеспечивающей получение твердости, при которой сталь можно обрабатывать резанием. Структура стали после этого отпуска – сорбит.

2. Механическая обработка деталей, а также шлифование, которое придает окончательные размеры детали.

3. Защита участков, не подлежащих азотированию. Защиту производят нанесением тонкого слоя (0,01–0,015 мм) олова электролитическим методом или нанесением тонкого слоя жидкого стекла. Олово при температуре азотирования расплавляется на поверхности стали в виде тонкой не проницаемой для азота пленки.

4. Азотирование.

5. Окончательное шлифование или доводка изделия.

Азотирование тонкостенных изделий сложной конфигурации рекомендуется выполнять при температуре 500–520 °С. Длительность процесса зависит от требуемой толщины азотированного слоя. Чем выше температура азотирования, тем ниже твердость азотированного слоя и больше его толщина. Снижение твердости азотированного слоя связано с коагуляцией нитридов легирующих элементов. Обычно при азотировании желательнее иметь слой толщиной 0,3–0,6 мм. Процесс азотирования при 500–520 °С в этом случае является продолжительным и составляет 24–60 ч.

Значительное сокращение времени азотирования достигается при ионном и ионно-плазменном азотировании, когда между катодом (деталью) и анодом (контейнерной установкой) возбуждается тлеющий разряд. Происходит ионизация азотсодержащего газа, и ионы, бомбардируя поверхность катода,

нагревают подвергаемую азотированию деталь до температуры насыщения. Катодное распыление осуществляется в течение 5–60 мин при напряжении 1 100–1 400 В и пониженном давлении 0,1–0,2 мм рт. ст., продолжительность процесса до 24 часов. Формирующаяся пленка состоит из двух слоев: нижнего диффузионного и верхнего нитридного. Перспективным данный вид азотирования является вследствие возможности управления структурой слоя и механическими его свойствами за счет применения на разных стадиях процесса изменений плотности тока, расхода азота, степени разряжения и добавок к азоту особых технологических газов – водорода, аргона, метана, кислорода.

Азотирование для повышения твердости и износостойкости – проводят при температуре 500–560 °С в течение 24–90 часов, т.к. скорость азотирования составляет 0,01 мм/ч. Содержание азота в поверхностном слое составляет 10–12 %, толщина слоя (h) – 0,3–0,6 мм. На поверхности получают твердость около 1 000 HV. Охлаждение проводят вместе с печью в потоке аммиака.

Азотирование для улучшения коррозионной стойкости – проводят и для легированных, и для углеродистых сталей. Температура проведения азотирования – 650–700 °С, продолжительность процесса – 10 часов. На поверхности образуется слой твердого раствора на основе нитрида железа Fe_3N , имеющего гексагональную решетку. Толщина слоя 0,01–0,03 мм .

Б

Борирование [*boriding*] – химико-термическая обработка насыщением поверхностных слоев стальных изделий и некоторых других металлов бором при температурах 900–950 °С. Цель борирования – повышение твердости, износостойкости (особенно абразивной) и некоторых других свойств стальных изделий. Диффузионный слой толщиной 0,05–0,15 мм, состоящий из боридов FeB и Fe_2B , обладает весьма высокой твердостью, стойко-

стью к абразивному изнашиванию и коррозионной стойкостью. Сравнительная характеристика основных методов борирования приведена в таблице 2.1 [2].

Применяется главным образом электролизное борирование в расплавленной буре (деталь – катод, графит – анод). При температуре 930 °С, выдержке 6–8 ч получают борированный слой 0,15–0,25 мм (внешняя зона слоя состоит из борида FeB , а внутренняя из борида Fe_2B). Реже пользуются для борирования расплавленной бурой с добавкой порошкообразного карбида бора (30–40%) или карбида кремния (30%).

Таблица 2.1

Характеристики основных методов борирования

№ п/п	Метод	Достоинства	Недостатки
1	Жидкостное борирование (безэлектролизное)	Технологическая простота, отсутствие специального оборудования	Повышенная вязкость применяемых расплавов по сравнению с чистой бурой
2	Электролизное борирование	Высокое качество боридных слоев, высокопроизводительное	Необходима специальная энергоемкая установка
3	Борирование в порошковых средах	Простота технологического оборудования, упрочнение изделий сложных форм, минимальная деформация при обработке	Наибольшие денежные затраты на порошковую смесь
4	Газовое борирование	Упрочнение изделий сложных форм	Взрывоопасен

Иногда борирование проводят в вакуумной печи или в газовой среде ($H_2B_6 + H_2$), после борирования производят поверхностную или изотермическую закалку. Борирование особенно эффективно для повышения стойкости (в 2–10 раз) втулок буровых насосов, небольших гибочных формовочных и вытяжных штампов, матриц, пресс-форм, осей, пальцев, роликов и т.д. Борирование достаточно эффективный и экономичный процесс

(табл. 1.2) по сравнению с традиционными процессами химико-термической обработки (ХТО) при меньшей толщине диффузионного слоя [3]. На рис. 2.2 представлены микрофотографии ($\times 250$) борированного слоя на стали 65 Г, полученного за 1 (рис. 2.2, а) и 2 минуты (рис. 2.2, б) из смеси 84% B_4C и 16% флюсующего компонента (без добавления активирующих компонентов NH_4Cl и CaF_2 [4]. Структура износостойкого покрытия, полученного при высокоскоростном борировании (время обработки 1 мин.) стали 65 Г вышеприведенной смесью, является метастабильной (рис. 2.2, а). При борировании в течение 2 мин структура износостойкого покрытия превращается в мелкозернистую (рис. 2.2, б) с микротвёрдостью 2 300–2 400 (причем без заметных изменений толщины борированного слоя), и становится четко различимой граница раздела износостойкого покрытия с основным металлом.

Таблица 2.2

Сравнительные показатели твёрдости

№ п/п	Процесс ХТО	Твёрдость (HV)
1	Борирование	1800–2000
2	Цементация	500–700
3	Азотирование	300–350
4	Нитроцементация	570–690



а



б

Рис. 2.2. Микрофотографии ($\times 250$) борированного слоя на стали 65 Г: а – за время обработки 1 мин.; б – за время обработки 2 мин.

Боросилицирование [*boron silicification*] – ХТО, заключающаяся в совместном или последовательном насыщении поверхности металла бором и кремнием; применяется для повышения износостойкости, реже – жаростойкости и коррозионной стойкости. Основные способы боросилицирования: электролиз в расплаве $Na_2B_4O_7$ и Na_2SiO_3 , обеспечивающих образование в поверхностном слое стали боридов железа (FeB , Fe_2B) и силицида железа $FeSi$. Боросилицирование при 1 000–1 050 °С осуществляется в порошкообразной смеси, состоящей из карбида бора (84%) и буры (16 %), к которым добавляется смесь кристаллического Si (95 %) и NH_4Cl (5 %). Образующийся при боросилицировании диффузионный слой состоит из боридов FeB и Fe_2B и силицидов $FeSi$ и Fe_2Si .

Боротитанирование [*boron titanification*] заключается в борировании металлической основы с последующим титанированием. Для борирования используется состав, содержащий карбид бора, буру, хлористый аммоний при следующем соотношении (%) : карбид бора (B_4C) – 84%, бура ($Na_2B_4O_7$) – 13%, хлористый аммоний (NH_4Cl) – 3%. Режим насыщения: 1 050 °С в течение 6 часов. Для титанирования используется состав, содержащий титан Ti , окись алюминия Al_2O_3 , хлористый аммоний NH_4Cl при следующем соотношении (%): Al_2O_3 – 25%, Ti – 70%, NH_4Cl – 5%. Режим насыщения: 1 000 °С в течение 2 часов. При боротитанировании стали 5ХНМ получается слой толщиной 200 мкм и микротвердостью от 3 200–3 250 HV (первая зона), 1 500–1 700 HV (вторая зона), 430–550 HV (третья зона), также с характерной для боридных слоев игольчатостью. Затем проводится последующая упрочняющая термическая обработка для 5ХНМ по режиму: закалка 850 °С, масло; отпуск 460–520 °С, (40–43 HRC), для 4Х5МФ1С – закалка 1 020 °С, масло, отпуск 580 °С, 2ч, (47–49 HRC).

Борохромирование [*boron chromizing*] – ХТО, заключающаяся в одновременном насыщении преимущественно стальных изделий бором и хромом с целью улучшения физико-

химических характеристик боридных износостойких слоев, обладающих высокой хрупкостью, недостаточной коррозионной стойкостью и жаростойкостью. Борохромирование ведут при температуре 900–1100 °С в порошковых смесях или в жидких расплавах (электролизным и безэлектролизным способами), содержащих *B* и *Cr*. В зависимости от способа борохромирования получают борохромированные слои на основе: 1– $(Fe, Cr)_2B$ и $(Fe, Cr)B$; 2 – $(Cr, Fe)_2B$ и $(Cr, Fe)B$; 3 – α -твердого раствора *Cr* и *B* в железе с включениями боридов. Слои 1-го типа характеризуются повышенной износостойкостью при абразивном (гидроабразивном) изнашивании; 2-го – высокой пластичностью, износостойкостью, жаростойкостью и коррозионной стойкостью при высоких температурах; 3-го – коррозионной стойкостью, жаростойкостью и износостойкостью при невысоком уровне нагружения. Диффузионное насыщение поверхности сталей чаще всего производят при высокотемпературной изотермической или изотермически-ступенчатой выдержке с полной перекристаллизацией стали в аустенитное состояние. На рис. 2.3 показана зависимость толщины и микроструктуры слоя от режима насыщения.

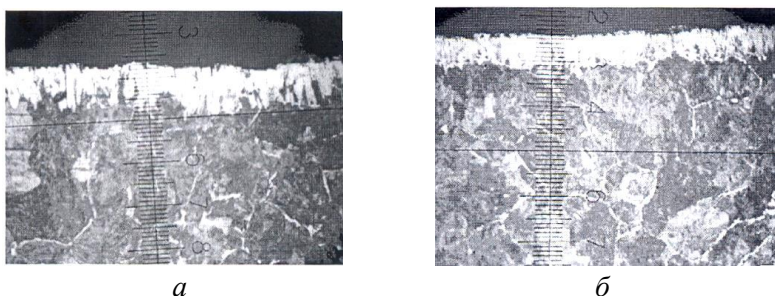


Рис. 2.3. Влияние параметров процесса насыщения на толщину и микроструктуру получаемых слоев:
а – изотермическое насыщение; *б* – термоциклическое насыщение

Борохромирование осуществляют для повышения износостойкости деталей, работающих в тяжелых условиях, например

плунжерных пар топливных насосов – деталей топливной аппаратуры дизелей, и подвергающихся абразивному изнашиванию. Также борхромирование осуществляют для повышения стойкости режущего инструмента.

В

Виброобкатывание – это процесс обработки поверхностей детали путём обкатывания их шариками или роликами из твердосплавного материала под определённым давлением и с колебаниями вдоль линии перемещения. В данной операции совершается 2 600 двойных ходов в минуту при амплитуде 2 мм (рис. 2.4, а). При наложении на ролик колебаний ультразвуковой частоты, направленных перпендикулярно к обрабатываемой поверхности, получается ультразвуковое виброобкатывание. В результате при весьма малых статических усилиях обкатывания получается высокая степень упрочнения, при этом в зоне контакта создается температура 1 000–1 200 °С. Этот способ применяется для упрочнения деталей из закаленной стали и чугуна. Таким способом достигается существенное улучшение качества поверхности, т.е. повышение точности, уменьшение шероховатости и улучшение физических свойств материала. Применяя данный процесс, возможно создавать поверхности с требуемым микрорельефом. Кроме того, этот процесс применяют и в декоративных целях.

Выглаживание (вибровыглаживание) характеризуется перемещением выглаживающего инструмента (гладилки) вдоль обрабатываемой поверхности при определенном натяге. При этом инструменту сообщается дополнительное осциллирующее движение с частотой и амплитудой А. Рабочая часть инструмента имеет требуемую геометрию и изготавливается в виде алмазного или твердосплавного наконечника. В результате обработки на поверхности создается микрорельеф в виде сетки каналов (рис. 2.4, б), структура которой определяется режимами обра-

ботки и в меньшей мере конструкцией рабочей части инструмента.

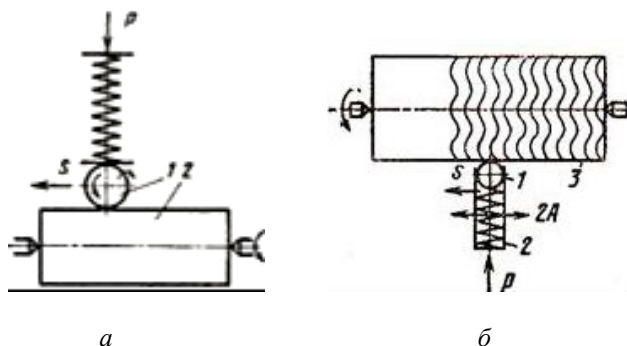


Рис. 2.4. Схема виброобкатывания шаром или роликом (а) и вибровыглаживания (б)

Вибровыглаживанию могут подвергаться поверхности деталей из материалов различной твердости. Отмечается повышение износостойкости поверхностей, подвергнутых вибровыглаживанию. Вибровыглаживание по кинематике процесса сходно с виброобкатыванием. Физическая же природа имеет принципиальное отличие: при вибровыглаживании взаимное перемещение инструмента и обрабатываемой поверхности (в зоне контакта) характеризуется трением-скольжением, а при виброобкатывании – трением качения. После обработки детали вибрирующим инструментом на ее поверхности образуются смазочные канавки, вследствие чего маслоспособность поверхности детали увеличивается. В результате значительно повышается износостойкость деталей (например, гильз и поршневых колец двигателей в 1,5–2 раза).

Г

Гидроабразивное упрочнение – технологический процесс воздействия на поверхностный слой изделия подающейся под давлением струей суспензии (жидкостью с абразивными частицами). В ремонтном производстве применяется для удаления

нагара, покрытий, дефектного слоя, создания равномерно упрочненного слоя небольшой глубины.

Д

Диффузионная металлизация – химико-термическая обработка, при которой поверхность стальных изделий насыщается различными элементами: алюминием, хромом, кремнием, бором и др. При насыщении хромом процесс называют хромированием, алюминием – алитированием, кремнием – силицированием, бором – борированием. Диффузионную металлизацию можно проводить в твердых, жидких и газообразных средах. Диффузия металлов протекает очень медленно, так как образуются растворы замещения, поэтому при одинаковых температурах диффузионные слои в десятки и сотни раз тоньше, чем при цементации. Диффузионная металлизация – процесс дорогостоящий, осуществляется при высоких температурах (1 000–1 200 °С) в течение длительного времени. Одним из основных свойств металлизированных поверхностей является жаростойкость, поэтому жаростойкие детали для рабочих температур 1 000–1 200 °С изготавливают из простых углеродистых сталей с последующим алитированием, хромированием или силицированием.

Диффузионная металлизация в твердых средах. Металлизатором является ферросплав с добавлением хлористого аммония (NH_4Cl). В результате реакции металлизатора с HCl или Cl_2 образуются соединения хлора с металлом ($AlCl_3$, $CrCl_2$, $SiCl_4$), которые при контакте с поверхностью диссоциируют с образованием свободных атомов.

Диффузионная металлизация в жидких средах проводится погружением детали в расплавленный металл (например, алюминий).

Диффузионная металлизация в газообразных средах – проводится в газовых средах, являющихся хлоридами различных металлов.

Ж

Железнение (осталивание) – нанесение электролитического железа на детали, электролитическое осаждение железа на металлическом изделии при прохождении постоянного тока через электролит, основным компонентом которого является сернокислое или хлористое железо (рис. 2.5).

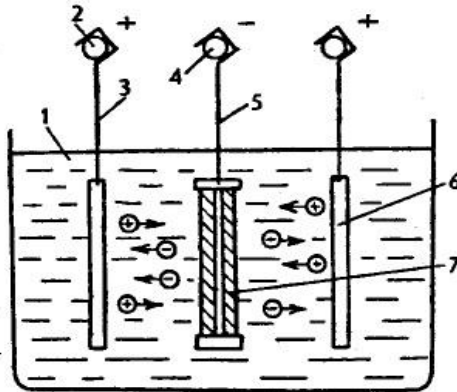


Рис. 2.5. Схема электролитического осаждения металла:
1 – ванна; 2 – анодная штанга; 3 – подвеска для анодных пластин;
4 – катодная штанга; 5 – подвеска для детали; 6 – анод;
7 – деталь (катод)

При ремонте автомобилей железнение применяют для восстановления изношенных поверхностей деталей. По сравнению с хромированием у железнения КПД в 6 раз больше. Процесс железнения может проходить в 15 раз быстрее и толщина покрытия может достигать 1,5 мм. А химические компоненты доступнее и дешевле. Из-за возникновения при железнении растягивающих напряжений усталостная прочность деталей уменьшается до 30%. Ее можно повысить отпуском деталей при температуре 450°C, но при этом снизится твердость поверхности детали. Целесообразно восстанавливать железнением изношенные шейки валов и отверстия под подшипники.

Электролитическое осаждение железа можно вести и вневанными способом. Он позволяет восстанавливать отдельные изношенные отверстия в крупногабаритных деталях (блоки цилиндров, корпуса коробок передач задних мостов и т.д.). Кроме того, вневанное железнение позволяет повысить производительность процесса за счет циркуляции электролита и увеличения плотности тока до 300 А/дм^2 .

Различают три способа вневанного осаждения железа: струйное, проточное и электроконтактное. При проточном железнении изношенные отверстия помещают в ванночку, через которую циркулирует электролит. Электроконтактное железнение часто называют электронатиранием, так как электроосаждение металла происходит при прохождении постоянного тока в зоне контакта детали с анодом (тампоном из фетра, войлока, непрерывно смачиваемым электролитом).

Железнение местное – частный случай проточного железнения. Сущность местного железнения в том, что восстанавливаемое отверстие герметизируют снизу, заливают электролит, устанавливают анод 3 и подключают к источнику тока (рис. 2.6).

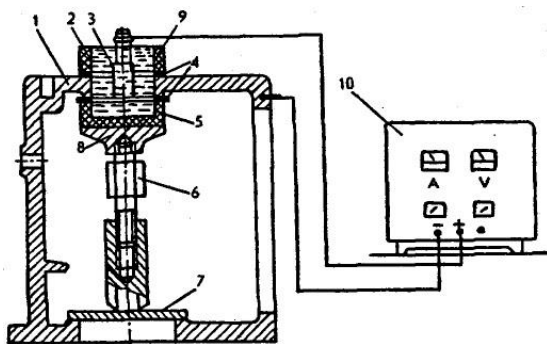


Рис. 2.6. Схема местного железнения: 1 – деталь; 2 – электролит; 3 – анод; 4 – резиновые прокладки; 5 – стакан; 6 – распорка; 7 – опорная плита; 8 – подставка; 9 – кольцо; 10 – выпрямитель.

3

Закалка – термическая обработка с нагревом до температур, превышающих температуру фазовых превращений (температуры изменения типа кристаллической решетки, т.е. полиморфного превращения), с выдержкой и с последующим охлаждением металла или сплава со скоростью, превышающей критическую в закалочных средах (вода, 5–10% раствор едкого натра или поваренной соли, минеральное масло, водополимерная закалочная среда, растворы солей). В результате такого процесса не изменяется химический состав металла, но меняются его структура (на неравновесную) и механические свойства. По температуре нагрева различают два вида закалки – полная закалка и неполная закалка (рис. 2.7).

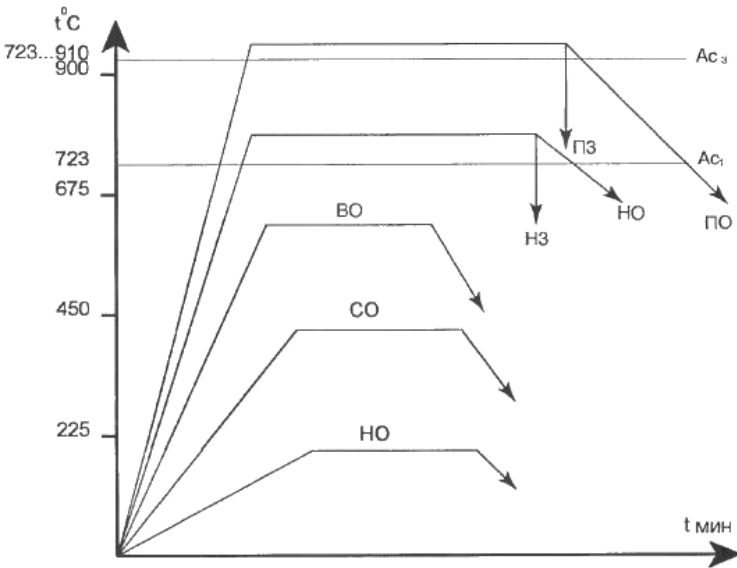


Рис. 2.7. Режимы термической обработки металлов и сплавов: ПЗ и ПО – полная закалка и отпуск; НЗ и НО – неполная закалка и отпуск; ВО, СО и НО – высокий, средний, низкий отпуск соответственно

Закалка применяется в сочетании с отпуском для повышения твердости, прочности и износоустойчивости стали. Материал, подвергшийся закалке приобретает большую твердость, но становится хрупким, менее пластичным и вязким. Для снижения хрупкости и увеличения пластичности и вязкости после закалки с полиморфным превращением применяют отпуск. При отпуске имеет место некоторое снижение твердости и прочности материала. После закалки без полиморфного превращения применяют старение.

Путем изменения режима термической обработки удается получать различные физико-механические свойства металла. Для получения требуемой структуры изделия охлаждают с различной скоростью, которая в большой степени определяется охлаждающей средой, формой изделия и теплопроводностью стали. Наиболее часто в качестве закалочных сред применяются вода (600°C), масло (150°C), растворы солей и щелочей (до 1000°C). Режим охлаждения должен исключить возникновение больших закалочных напряжений. При высоких скоростях охлаждения при закалке возникают внутренние напряжения, которые могут привести к короблению и растрескиванию.

В зависимости от того какой охладитель используется в окончательном процессе обработки, закалка металла имеет несколько разновидностей:

– Одна охлаждающая среда. Деталь после разогрева погружают в охлаждающую жидкость до полного ее остывания.

– Закалка прерывистая проводится в двух (как минимум) средах. В первичной среде металл подвергается быстрому охлаждению (как правило, это вода), а затем переносится во вторую жидкую среду (масло) и оставляется до полного остывания.

– Струйчатая закалка металлов. Металлическую закаливаемую поверхность просто сбрызгивают некоторым количеством воды. Этот способ наиболее привычен для работ при закаливании индукторов, когда необходимо произвести закалку части изделия.

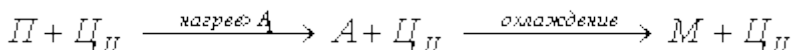
– Закалка изотермическая. Деталь погружают в охлаждающую жидкость и выдерживают до тех пор, пока не начнет образовываться аустенит.

– Ступенчатая закалка выполняется для определенных марок стали. Металл при этом охлаждается очень медленно, постепенно приобретая температуру охлаждающей среды.

Закалка неполная – термическая обработка с нагревом до температур T_n на 30–50°C выше критической температуры A_1 (рис. 2.8), но ниже A_3 и A_m :

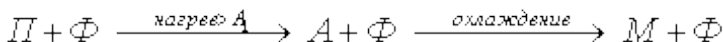
$$T_n = A_1 + (30-50)^\circ\text{C}.$$

Применяется для заэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



После охлаждения в структуре остается вторичный цементит $Ц_{II}$, который повышает твердость и износостойкость режущего инструмента.

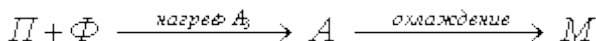
Неполная закалка доэвтектоидных сталей недопустима, т.к. в структуре остается мягкий феррит. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



Закалка полная – термическая обработка с нагревом до температур T_n на 30–50°C выше критической температуры (критических точек) A_3 и A_m (рис. 2.8):

$$T_n = A_{c3} + (30-50)^\circ\text{C}.$$

Применяют ее для доэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



После полной закалки заэвтектоидных сталей получают дефектную структуру грубоигольчатого мартенсита. Заэвтекто-

идные стали перед закалкой обязательно подвергают отжигу – сфероидизации, чтобы цементит имел зернистую форму.

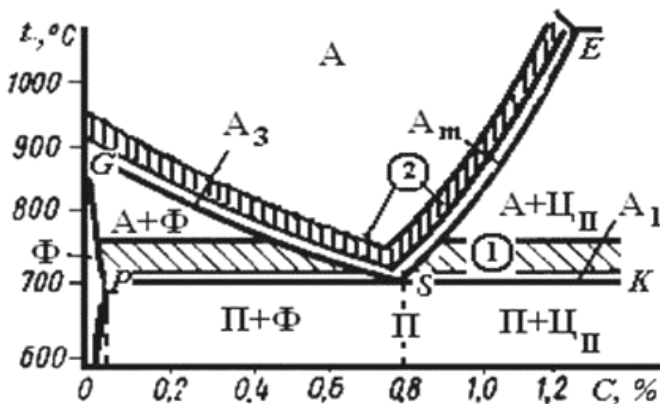
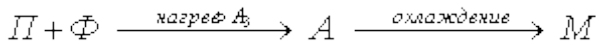


Рис. 2.8. Области нагрева стали перед закалкой

Применяют ее для доэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:



После полной закалки заэвтектоидных сталей получают дефектную структуру грубоигольчатого мартенсита. Заэвтектоидные стали перед закалкой обязательно подвергают отжигу – сфероидизации, чтобы цементит имел зернистую форму.

К

Карбонитрация заключается в том, что детали машин и инструменты, изготовленные из любых марок стали и чугуна, подвергают нагреву в расплаве солей, синтезированных из аммоноуглеродных соединений (меламин, мелон, дициандиамид), при температуре 540–600 °С с выдержками 5–40 мин для режущего инструмента и 1–4 часа для деталей машин и штампового

инструмента в зависимости от требуемой толщины упрочненного слоя. Технология используется для повышения износостойкости, усталостной прочности и в сочетании с оксидированием для увеличения коррозионной стойкости. Во многих случаях технология карбонитрации является альтернативой таких процессов, как поверхностная закалка, гальваническое хромирование, цементация и нитроцементация и др. После карбонитрации на поверхности сталей формируется упрочненный слой, состоящий из нескольких зон (рис. 2.9). Верхний слой ϵ -карбонитрид типа $Fe_3(N,C)$. Под карбонитридным слоем располагается зона γ' -фазы типа $Fe_4(N,C)$, под которой находится диффузионная зона (гетерофазный слой). Она состоит из твердого раствора углерода и азота в железе с включениями карбонитридных фаз, твердость которой значительно выше твердости сердцевины. Концентрация азота и углерода при этом существенно снижается.



Рис. 2.9. Белый слой твердого карбонитрида на поверхности детали

Применение карбонитрации для обработки деталей повышает усталостную прочность на 50–80%, резко увеличивает износостойкость по сравнению с цементацией, нитроцементацией, газовым азотированием обеспечивает минимальные величины деформаций в пределах допуска чертежа. Технология применима для упрочнения деталей из любых марок сталей и чугуна обеспечивает микронную толщину упрочненного слоя. Среди технологий низкотемпературного упрочнения карбонитрация в

расплавах солей является наиболее экономичным процессом, т.к. сокращает длительность насыщения до 0,5–6 ч, вместо 10–60 ч при газовом азотировании. При этом практически отсутствует хрупкость карбонитрированного слоя. Процесс карбонитрации, как правило, является окончательной операцией, обеспечивая следующие свойства карбонитрированного слоя:

- толщина 0,01–0,6 мм;
- поверхностная твердость – 400– 1 200 *HV*;
- повышение износостойкости в 2– 11 раз;
- снижение коэффициента трения в 1,5– 5 раз;
- хрупкость слоя – отсутствует;
- повышение задиростойкости, включая нержавеющие стали;
- повышение усталостной прочности в 1,5–2 раза;
- повышение коррозионной стойкости перлитных сталей в 1,5– 2 раза;
- коробление и поводки длинномерных деталей практически отсутствуют.

Один из важных аспектов – возможность упрочнения изделий из недорогих низкоуглеродистых сталей (типа стали 20, 40, 45), которые практически не азотируются традиционным методом. При этом в процессе карбонитрации им можно придать высокую поверхностную твердость (от 45 *HRC* до 60 *HRC*), соответствующую свойствам более дорогих и сложных в обработке марок сталей.

Процесс карбонитрации по экологическим нормам и требованиям абсолютно безопасен, поскольку основан на использовании неядовитых соединений (цианаты и карбонаты щелочных металлов). За счет использования испарителя, технология карбонитрации не дает жидких отходов. Вода, используемая для промывки, выпаривается, получаемый сухой остаток классифицируется по 3-му классу безопасности и может быть утилизирован как обычный производственный мусор.

Карбонитрация используется для повышения износостойкости и усталостной прочности деталей, а в сочетании с оксидированием – и для увеличения их коррозионной стойкости.

Л

Лазерная закалка – термическое упрочнение лазерным излучением металлов и сплавов лазерным излучением, основанное на локальном нагреве участка поверхности под воздействием излучения и последующем охлаждении этого поверхностного участка со сверхкритической скоростью в результате теплоотвода теплоты во внутренние слои металла.

Основной целью лазерного термоупрочнения сталей, чугунов и цветных сплавов является повышение износостойкости деталей, работающих в условиях трения, прежде всего – при трении качения и скольжения. В результате лазерной закалки достигаются высокая твердость поверхности, высокая дисперсность структуры, уменьшение коэффициента трения, увеличение несущей способности поверхностных слоев и другие параметры. В ряде случаев лазерное термоупрочнение приводит к повышению теплостойкости.

В отличие от известных процессов термоупрочнения закалкой токами высокой частоты, электронагревом, закалкой из расплава и другими способами нагрев при лазерной закалке термоупрочнение является не объемным, а поверхностным процессом. При этом время нагрева и время охлаждения незначительны, практически отсутствует выдержка при температуре нагрева. Эти условия обеспечивают высокие скорости нагрева и охлаждения обрабатываемых поверхностных участков. Вследствие указанных особенностей формирование структуры при лазерной термообработке имеет свои специфические особенности.

Лазерная закалка обеспечивает наименьшие износ и коэффициент трения, а закалка в печи – наибольшие. Наряду с этим лазерная закалка характеризуется очень малой приработкой (всего два – три цикла), уменьшением верхних значений

числа импульсов акустического излучения и малым интервалом изменения числа импульсов. Это происходит вследствие увеличения однородности микроструктуры поверхностного участка после лазерной закалки (рис. 2.10).

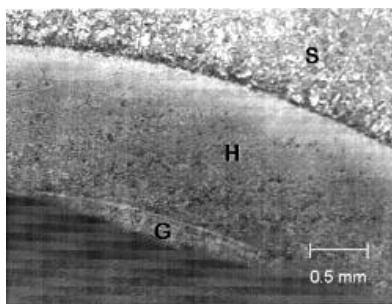


Рис. 2.10. Микроструктура закаленного слоя

В сплавах железа с углеродом искаженность кристаллической решетки и плотность дислокаций при лазерном термоупрочнении оказываются больше, чем при традиционной закалке. Это приводит к более интенсивному распаду мартенсита закалки на ферритно-цементитную смесь, а следовательно, и к более интенсивному снижению микротвердости в процессе отпуска. С другой стороны, при нагреве до 300 °С чугунов, углеродистых и легированных сталей, термоупрочненных лазерным излучением, возможно превращение остаточного аустенита в мартенсит. В связи с этим характер изменения твердости в процессе нагрева может быть более сложным. Большая пересыщенность твердых растворов после лазерной закалки, особенно в зоне оплавления, может приводить к выделению в процессе последующего нагрева большого количества сегрегации и промежуточных фаз, что способствует увеличению твердости.

Заметно увеличивается износостойкость чугунов и алюминиевых сплавов в условиях трения скольжения после обработки непрерывным лазером. Повышение износостойкости чугунов после лазерной обработки обусловлено не только соответ-

ствующим структурным и фазовым составом, но и улучшением условий трения благодаря сохранившемуся в зоне лазерного воздействия графиту. Также повышается износостойкость сталей и некоторых других сплавов при трении в щелочной и кислой средах.

Лазерная закалка непрерывным излучением без оплавления поверхностей таких сталей, как 09Г2, 35, 45, 40Х, 75Г, приводит к повышению предела выносливости до 520 МПа (в исходном состоянии 200–300 МПа), тогда как после импульсной лазерной закалки предел выносливости понижается примерно на 40% по сравнению с исходным состоянием.

Преимущества лазерной закалки особенно проявляются в увеличении износостойкости пар трения, ускоренной их прирабатываемости после лазерного термоупрочнения.

Н

Напыление покрытий – процесс, заключающийся в нагреве распыляемого материала высокотемпературным источником, образовании двухфазного газопорошкового потока и формировании покрытия на поверхности изделия толщиной менее 1 мм.

В зависимости от вида используемого источника энергии процессы напыления подразделяются на:

– газопламенные, в которых используется тепло при сгорании горючих газов (ацетилен, пропанбутана, водорода, метана, природного газа и др.) в смеси с кислородом или сжатым воздухом;

– электродуговые, где осуществляется плавление проволоки электрической дугой и распыление расплавленного металла сжатым воздухом;

– детонационные, использующие энергию детонации газовых смесей (кислород + горючий газ), в которых перенос и нагрев частиц осуществляется ударной волной, образующейся в

результате взрыва горючей смеси и выделении при этом теплоты;

– плазменные, где плавление наносимого порошкового материала осуществляется в плазменной струе;

– высокоскоростные, где порошок подается в камеру сгорания, в которой обеспечивается горение топлива содержащего кислород и горючие газы (керосин, водород, пропан, метан) с последующим прохождением порошка и газов через расширяющееся сопло.

Напыление покрытий газопламенным способом состоит в формировании в результате взаимодействия со струей газового пламени на поверхности изделий слоя частиц напыляемого материала из порошков металлов, их сплавов, композиций, окислов, органических соединений и т.п., проволоки, керамических стержней. Струя пламени образуется в результате сгорания горючей смеси с большой скоростью вытекающей из сопловых отверстий горелки. Температура горючей струи «горючий газ–кислород» может достигать $3\ 200^{\circ}\text{C}$, а скорость осаждения частиц от $150\text{--}160\ \text{м/с}$ до сверхзвуковой скорости. В результате газопламенного напыления образуется покрытие толщиной до $3\ \text{мм}$ (рис. 2.11) с прочностью на отрыв $5\text{--}45\ \text{МПа}$ и с присутствием в слое остаточной пористости $5\text{--}25\%$.

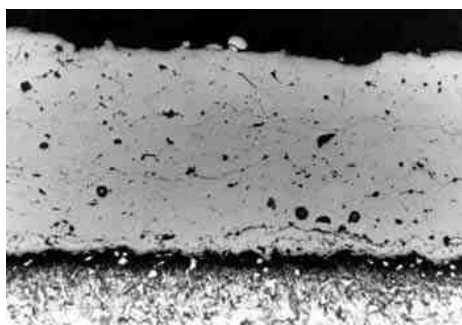


Рис. 2.11. Типичная структура покрытия, полученного газопламенным напылением

В основе высокоскоростного газопламенного метода напыления лежит нагрев порошковых частиц с одновременным их ускорением (рис. 2.12).

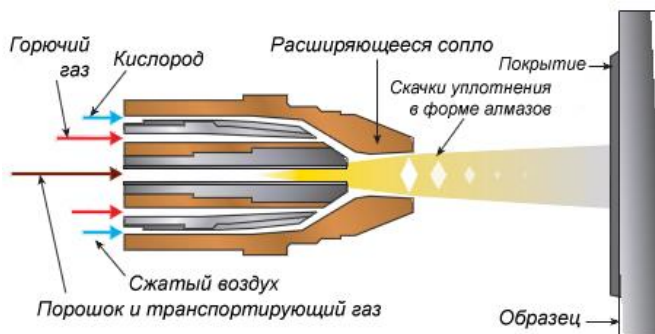


Рис. 2.12. Схема газопламенного метода напыления покрытия

Газопламенный способ нанесения покрытий отличается относительной простотой, мобильностью, позволяет напылять покрытия на крупногабаритные, протяженные детали и обеспечивает возможность напыления покрытий в локальных, труднодоступных местах. Данный способ является наиболее предпочтительным для последующей лазерной обработки, т.к. позволяет напылять покрытия с достаточной адгезией и контролируемой толщиной.

По своему химическому составу и структуре частиц порошки для газотермического напыления подразделяются на следующие основные классы:

- металлы (Ni, Al, Mo, Ti, Cr, Cu);
- сплавы (легированные стали и чугун, никелевые, медные, кобальтовые, титановые, в т.ч. самофлюсующиеся (Ni-Cr-B-Si, Ni-B-Si, Co-Ni-Cr-B-Si, Ni-Cu-B-Si);
- оксиды (Al, Ti, Cr, Zr и др., и их композиции);
- бескислородные тугоплавкие соединения и твердые сплавы (карбиды Cr, Ti, W и др., и их композиции с Co и Ni);

- композиционные порошки (плакированные – Ni-графит, Ni-Al и др.;
- конгломерированные (Ni-Al, NiCrBSi-Al и др.) механические смеси (Cr_3Cr_2 + NiCr, NiCrBSi + Cr_3Cr_2 и др.);
- полимерные материалы для напыления – термопластичные и термореактивные.

К основным достоинствам газопламенного напыления покрытий относятся:

- возможность получения покрытий из большинства материалов, плавящихся при температуре до 2 800 °С без разложения;
- относительно малое тепловое воздействие на подложку (от 50 °С до 150 °С), что позволяет наносить покрытия на поверхность широкого круга материалов, включая пластмассы, дерево, картон и т.п.;
- толщина покрытия может быть обеспечена в пределах от 50 мкм до 10 мм и более;
- возможность регулирования газового режима работы горелки позволяет управлять химическим составом среды (восстановительная, нейтральная, окислительная) и энергетическими характеристиками струи и напыляемых частиц;
- высокая производительность процесса (до 10 кг/ч), например, 8–10 кг/ч для порошков самофлюсующихся сплавов типа ПГ-СР4 при расходе ацетилена 0,9 м³/ч и высокий коэффициент использования материала (0,60–0,95);
- возможность нанесения покрытий на изделия практически без ограничения их размеров при наличии необходимых средств механизации и обеспечении правил техники безопасности;
- относительно низкий уровень шума и излучений;
- возможность во многих случаях нанесения покрытий при любом пространственном положении аппарата;
- легкость и простота обслуживания оборудования;

– гибкость технологии и мобильность оборудования, что позволяет производить газопламенное напыление на месте, без демонтажа изделий;

– возможность автоматизации процесса и встройки в автоматическую линию с небольшими затратами и др.

Основными недостатками газопламенного метода напыления покрытий являются:

– недостаточная в некоторых случаях прочность сцепления покрытий с основой (5–45 МПа) при испытании на нормальный отрыв;

– наличие пористости (обычно в пределах 5–25%), которая препятствует применению покрытий в коррозионных средах без дополнительной обработки;

– невысокий коэффициент использования энергии газопламенной струи на нагрев порошка (2–12%);

– невозможность нанесения покрытий из тугоплавких материалов с температурой плавления более 2 800 °С.

Напыление покрытий детонационным способом – один из видов газотермического нанесения покрытий, использующих энергию горючих газов (в основном пропан-бутана) в смеси с кислородом, а также со сжатым воздухом (азотом, аргоном). Детонационно-газовый метод, используя энергию взрыва газовых смесей, является циклическим процессом, обладает высокой удельной мощностью и значительным упрощением преобразования энергии в полезную работу. Детонационно-газовый способ позволяет наносить покрытия из металлов, их сплавов, оксидов и карбидов металлов, композиционных порошков (плакированных и конгломерированных), а также механических смесей.

Основные достоинства метода детонационного напыления:

– возможность получения покрытий из большинства порошков, плавящихся при температуре до 2 800 °С без разложения;

– возможность нанесения покрытий на различные материалы (металлы – с твердостью поверхности до 60 HRC, керамику, стекло, пластмассу и др.);

– отсутствие деформации напыляемой поверхности;

– возможность получения покрытий с пористостью 0,5–1,5% и высокой прочностью сцепления покрытий с основой (никель – 100 МПа, ПН70Ю30 – 100 МПа, оксид алюминия – 30 МПа);

– возможность управлять химическим составом продуктов детонации (восстановительный, нейтральный, окислительный) и энергетическими характеристиками процесса за счет регулирования газового режима;

– возможность нанесения покрытий на изделия практически без ограничения их размеров при наличии средств механизации и обеспечении правил техники безопасности.

Основные недостатки метода детонационного напыления:

– в помещении, где производится детонационное напыление покрытий высокий уровень шума (достигает 140 дБ);

– наличие продуктов сгорания смеси, в т.ч. горючего газа кислорода с образованием вредных компонентов (СО, углеводородов, оксидов азота);

– наличие концентрации взвешенных в воздухе частиц напыляемого порошка размером 5–150 мкм $>150 \text{ мг/м}^3$.

В связи с перечисленными особенностями все детонационное оборудование необходимо размещать в специальных помещениях производственного участка.

Отличительная особенность детонационного напыления – циклический характер подачи порошка на поверхность обрабатываемой детали со скоростью, превышающей скорость звука. Циклический процесс напыления получают с помощью детонационных установок, принципиальная схема которых представлена на рис. 2.13.

В общем виде детонационные установки состоят из блока (4) подачи напыляющего порошка, включающего порошок

питатель и дозирующее устройство; блока (1) образования требуемых газовых смесей и заполнения ими ствола детонационной установки с заданной скоростью; блока поджига (3) и воспламенителя (2) для инициирования взрыва рабочей смеси; ствола (5) диаметром 20–50 мм, длиной 1–2,5 м и предназначенного для направленного распространения взрывной волны в сторону открытого конца ствола.

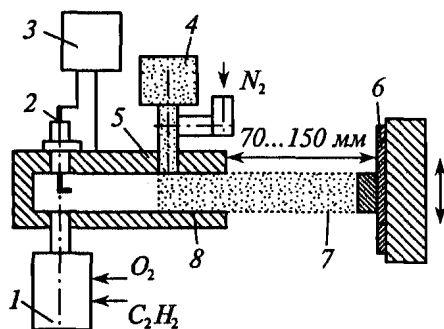


Рис. 2.13. Схема детонационных устройств

Принцип действия установки состоит в следующем. Из блока (1) газовая смесь подается в ствол (5). Одновременно из порошкового питателя через дозирующее устройство (блок 4) заданными порциями вдувают газом – азотом или воздухом – мелкодисперсный порошок в газовую смесь непосредственно перед ее зажиганием, затем воспламенителем (2) поджигают газовую смесь. В результате воспламенения и перемещения по каналу горючей смеси происходит ее взрыв с выделением значительного количества теплоты и образованием детонационной волны, которая ускоряет и переносит на поверхность детали 6 напыляемые частицы (7).

Процесс формирования покрытий детонационным напылением сложный и недостаточно изученный. Во многом он сходен с процессом плазменного напыления. Сходство заключается в том, что сцепление частиц с подложкой и между собой может происходить в расплавленном, оплавленном и твердом состоя-

ниях. Прочность сцепления обеспечивается главным образом за счет напыления расплавленными и оплавленными частицами, которые растекаются и кристаллизуются на поверхности подложки за счет химического взаимодействия. В то же время детонационный процесс напыления в отличие от непрерывного плазменного является циклическим, сообщаям частицам порошка более высокие скорости, что определяет особенности механизма формирования покрытий. При детонационном напылении скорость частиц достигает 400–1 000 м/с в отличие от плазменного напыления со скоростью частиц 100–200 м/с. Поэтому кроме термической активации существенное влияние на механизм и кинетику формирования напыленных слоев оказывает пластическая деформация в зоне соударения частиц и подложки. Однако основной вклад в формирование покрытий при напылении вносит термическая активация.

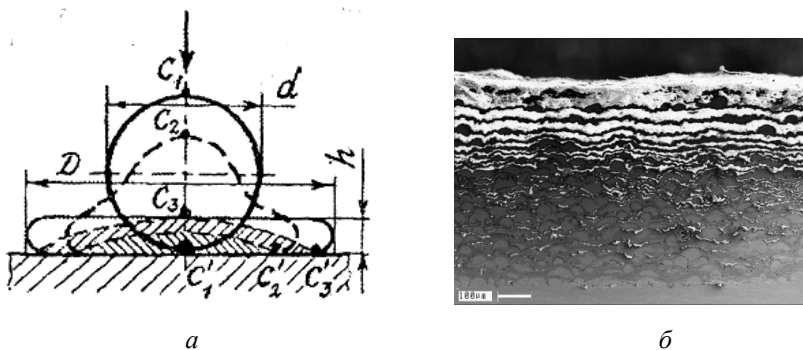


Рис. 2.14. Схема деформации и одновременного затвердевания (твердая фаза заштрихована) расплавленной частицы при ударе о плоскую поверхность (а) и градиентное покрытие «керамика–металл»

При напылении расплавленные частицы ударяются о более холодную поверхность с последующим растеканием, одновременным деформированием и затвердеванием (рис. 2.14, а). В начальный момент удара сферическая частица, сплющиваясь под действием сил инерции, растекается по поверхности от места первичного контакта. Вместе с круговым поверхностным

растеканием происходит теплоотдача от материала частицы в направлении, перпендикулярном поверхности основы, и в этом же направлении распространяется фронт затвердевания. Детонационное напыление обеспечивает формирование градиентных покрытий типа «керамика–металл».

Напыление покрытий плазменным способом – процесс нанесения покрытия на поверхность детали (изделия) с помощью плазменной струи. Плазменная струя – это частично или полностью ионизированный газ, обладающий свойством электропроводности и имеющий высокую температуру. Различают высоко- и низкотемпературную плазму. Первая практически ионизирована, и ее электронная температура оценивается в сотни тысяч и более градусов. Низкотемпературная плазма, с температурой в несколько тысяч или десятков тысяч градусов, ионизирована частично и содержит значительную часть нейтральных частиц. Низкотемпературная плазма – многокомпонентная система, состоящая из атомов или молекул в основном состоянии; молекул, атомов, радикалов в различных возбужденных квантовых состояниях; ионов, электронов. Для нанесения плазменных покрытий применяется низкотемпературная плазма.

Сущность плазменного напыления заключается в том, что в высокотемпературную плазменную струю подается расплаиваемый материал, который нагревается, плавится и в виде двухфазного потока направляется на подложку. При ударе и деформации происходит взаимодействие частиц с поверхностью основы или напыляемым материалом и формирование покрытия.

Плазменный процесс состоит из трех основных стадий: 1) генерация плазменной струи; 2) ввод расплаиваемого материала в плазменную струю, его нагрев и ускорение; 3) взаимодействие плазменной струи и расплавленных частиц с основанием.

Источником высокой температуры является плазменная струя, которая образуется в специальных горелках (плазмотронах – газоразрядных устройствах). К плазменной горелке подводят электрический ток от источника питания (рис. 2.15). При этом

через анод, выполненный в виде сопла, пропускают инертный газ (аргон).

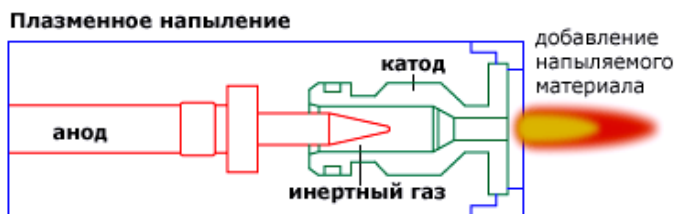


Рис. 2.15. Схема процесса плазменного напыления

При возбуждении дуги между катодом и анодом (соплом) происходит ионизация газа и образование плазменной струи. Скорость истечения ионизированного газа из сопла плазматрона составляет 350–400 м/сек, а температура достигает 5 500 °С. Напыляемый материал в виде порошка, размером частиц 40–100 мкм, вводится в струю плазмы при помощи транспортирующего газа (аргона) и дозатора – устройства дозированной подачи порошка. Скорость частиц напыляемого материала в струе, при подлете к напыляемой поверхности достигает 80–100 м/сек. Возможность регулирования тепловой мощности плазменной струи позволяет использовать её для напыления как тугоплавких, так и легкоплавких материалов. Отечественными предприятиями выпускается более 150 наименований порошковых материалов для напыления 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.

К достоинствам плазменно-дугового способа напыления покрытий относятся:

– возможность получения покрытий из большинства материалов, плавящихся без разложения;

– относительно малое тепловое воздействие на подложку (обычно нагрев последней в пределах 50–150 °С), что позволяет наносить покрытия на поверхность широкого круга материалов, включая пластмассы, дерево и т.п.;

– изменение толщины покрытия в пределах от 15 мкм до 6 мм и более со средней разнотолщинностью $\pm 10\%$;

– возможность использования для образования струи дуговой плазмы газов различного рода: инертных (аргона, гелия), восстановительных (водорода) и окислительных (воздуха, азота), а также аммиака, природного газа, водяного пара и других газообразных веществ, что в сочетании с применением камер с защитной средой (вакуумом) или защитных насадок позволяет регулировать свойства среды, в которой нагреваются и движутся частицы напыляемого материала;

– возможность гибкого регулирования электрического и газового режимов работы плазменной горелки, в т.ч. в течение самого процесса напыления (что позволяет управлять энергетическими характеристиками напыляемых частиц);

– высокая производительность процесса, составляющая 3–11 кг/ч для горелок с электрической мощностью 25–40 кВт и 11–25 кг/ч для горелок мощностью 80–120 кВт;

– возможность нанесения покрытия на открытые поверхности практически без ограничения их размеров при условии наличия необходимых средств механизации и обеспечения техники безопасности.

Недостатками плазменно-дугового способа напыления покрытий являются:

– недостаточный в некоторых случаях уровень значений прочности сцепления покрытий с подложкой (обычно 15–50 МПа при испытаниях на нормальный отрыв);

– наличие пористости (обычно в пределах 2–15%), которая без дополнительной обработки препятствует применению многих плазменных покрытий в коррозионных средах;

– невысокий коэффициент полезного использования энергии плазменной струи при нагреве порошка (2–8%).

Плазменные покрытия наносят обычно на воздухе в специальном шкафу с вытяжной вентиляцией или в герметичной камере с контролируемой атмосферой, чаще всего с нейтральной.

Для нанесения теплозащитных, жаростойких, электроизоляционных, износостойких и антикоррозионных покрытий из металлических порошков и керамики на внутренние и наружные поверхности тел вращения, а также на поверхности плоских изделий применяются такие установки, как УПУ-3Д, УМП-6 и др.

Установка для плазменного напыления покрытий включает: распылитель (плазмотрон), источник питания, газораспределительную систему, механизм подачи материала, система охлаждения, пульт управления и различные элементы оснастки. На рисунке 2.16 представлена принципиальная схема универсальной плазменной установки УПУ-3Д.

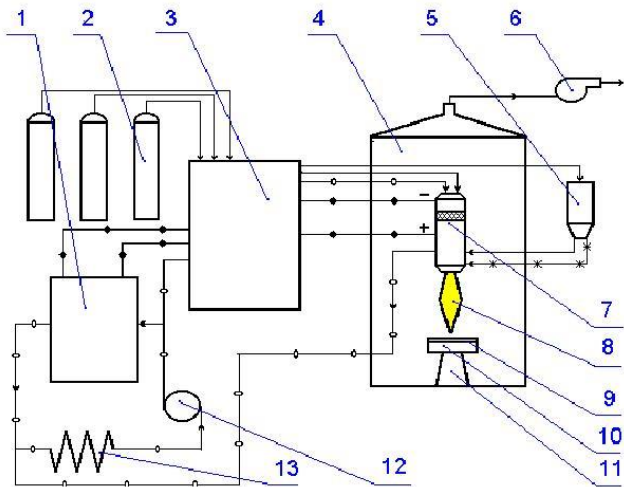


Рис. 2.16. Принципиальная схема плазменной установки УПУ-3Д:
 1 – источник питания; 2 – баллоны с газом; 3 – пульт управления;
 4 – камера напыления; 5 – порошковый дозатор; 6 – вытяжной вентилятор; 7 – плазмотрон; 8 – плазменная струя; 9 – напыляемое покрытие; 10 – изделие; 11 – уст ройство для перемещения изделия;
 12 – водяной насос; 13 – холодильник

Важной конструктивной особенностью плазмотрона является место ввода напыляемого порошка. Напыляемый материал может вводиться в стол дуги, в анодный сопловой узел и за срез плазмотрона (рис. 2.17). Выбор места ввода зависит от теплофизических свойств материала, его сыпучести, склонности к комкованию. Дистанционный пульт управления позволяет плавно и достаточно точно регулировать основные энергетические параметры плазменной струи (электрические параметры, расход плазмообразующего и транспортирующего газов).

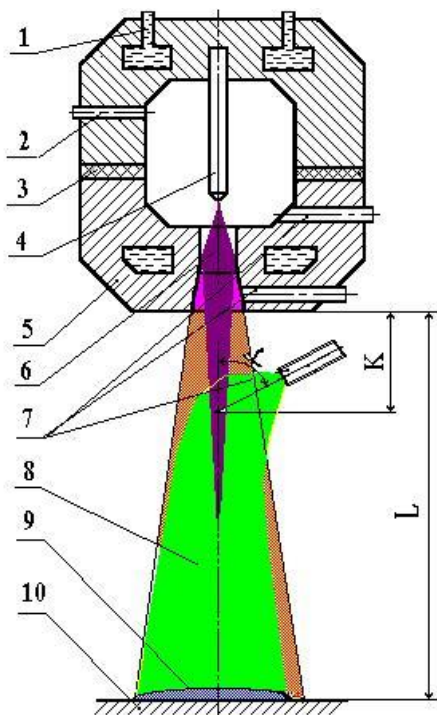


Рис. 2.17. Структура технологического процесса плазменного напыления покрытий: K – дистанция ввода полимера в плазменную струю; L – дистанция напыления; α – угол ввода полимера в плазменную струю; 1 – водяное охлаждение; 2 – ввод плазмообразующего газа; 3 – электроизоляционный блок; 4 – катод плазмотрона; 5 – анод плазмотрона; 6 – плазменная струя; 7 – ввод напыляемого порошка;

8 – плазменная струя с нагретым порошком; 9 – покрытие;
10 – напыляемое изделие

Основным материалом, применяемым для упрочнения и восстановления рабочей поверхности деталей изделий методом плазменного напыления, является порошок. Применяют порошковые материалы как однородные (металлы, сплавы, оксиды, бескислородные тугоплавкие соединения), так и сложной структуры (механические смеси, композиционные порошки, в том числе вступающие при нагревании в экзотермические реакции с выделением тепловой энергии) (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Состав порошковых материалов

Композиционные экзотермические порошки	Состав порошков
Интерметаллические	(Ni)-(Al); (Ni)-(Ti); (Co)-(Al); (NiCr)-(Al) и др.
Керамические	(Al)-(NiO); (Al)-(MoO ₃); (Al)-(WO ₃) и др.

Для напыления покрытий плазменным способом применяют порошки преимущественно грануляции 0,04–0,10 мм. За пределами этого диапазона грануляции процесс плазменного напыления не эффективен, поскольку частицы малого размера (менее 0,04 мм) испаряются, а частицы размера более 0,10 мм не расплавляются (частичное их оплавление не позволяет получить качественное покрытие). Основные конструкции композиционных порошков приведены на рис. 2.18.

Перед использованием напыляемые металлические материалы необходимо просушить или прокалить. Эту операцию следует проводить в сушильном шкафу или печи в течение 2–5 часов при температуре 200–600 °С. Порошки рассыпают на противнях тонким слоем (20–25 мм), периодически перемешивают. Просушка позволяет удалить из порошка гидратную и гигроскопическую влагу, источник диффузионного водорода, который

вызывает повышенную пористость покрытия и появление трещин в покрытии.

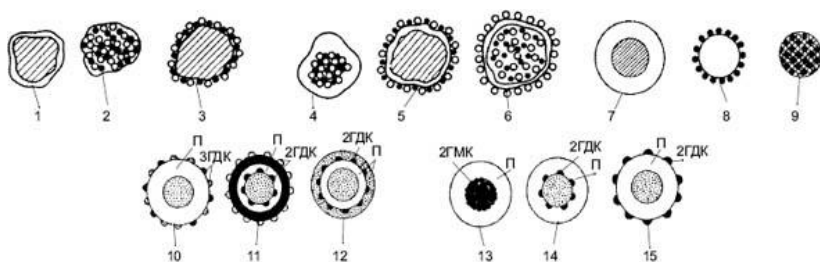


Рис. 2.18. Схемы конструкций порошковых композиционных частиц:

П – плакирование; 2ГДК, 3ГДК – двух- и трехкомпонентное гетеродисперсное конгломерирование, 2ГМК – двухкомпонентное гомодисперсное конгломерирование). 1, 3, 5, 7 – плакированные; 2, 8, 9 – конгломерированные; 4, 6, 10–15 – смешанные структуры

Основное преимущество плазменного напыления – отсутствие структурных превращений и деформаций металла. Напылением получают покрытия толщиной до 2,0 мм. Деталь при этом не нагревается более 200–300 °С.

Технологический процесс нанесения покрытий (рис. 2.19) включает следующие операции: предварительную подготовку поверхности изделия для обеспечения прочного сцепления напыляемого материала; подготовку материала; нанесение покрытия; механическую обработку покрытия после напыления.

Процесс нанесения покрытия следует начинать с настройки оборудования, устанавливая расходные характеристики рабочих газов и напыляемого материала. На предварительном этапе задаются энергетические характеристики, кинематические параметры (скорости перемещения распылителя и изделия), угол и дистанция напыления. Плазменный факел должен гореть ровно, без пульсации. Необходимо следить, чтобы при возбуждении дуги плазматрон был направлен в сторону от подготовленной поверхности.

Подготовка поверхности заключается в напылении подслоя, т.к. покрытие с подслоем является более распространенным. Подслоем имеет меньшую, относительно основного слоя покрытия, толщину, лежащую в пределах 0,025–0,1 мм. Назначение подслоя состоит в обеспечении крепкой связи покрытия с основой. Кроме того, подслоем часто используют как переходный слой между материалами основы и основного покрытия для уменьшения разности их коэффициентов термического расширения. Зачастую как подслоем используются никель-алюминиевые материалы в виде композиционных порошков или сплавов; при нанесении оксидных покрытий для этого пригодны так же никель-титановые сплавы. Напыление вышеуказанных материалов создает базовый слой, на который напыляют рабочее покрытие значительной толщины при высокой адгезии с подложкой.



Рис. 2.19. Технологический процесс плазменного нанесения покрытий

Нагретый алюминиевый порошок легко реагирует с воздухом, выделяя при этом большое количество тепла. При температуре 610–640 °С начинается взаимодействие никеля с алюминием, происходит образование интерметаллидов, также сопровождающееся существенным тепловым эффектом. При определенном техническом цикле в контакте «частица – подложка» происходит образование прочных связей, обусловленных процессами взаимодействия на атомарном уровне. За счет соединения свойств матрицы и переходного слоя можно получить напыленное покрытие с многокомпонентной структурой (рис. 2.20).

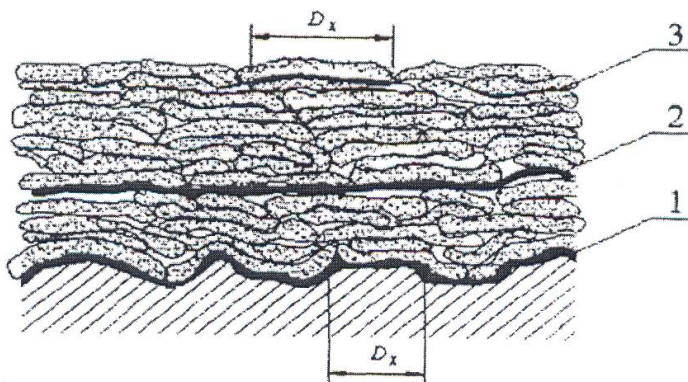


Рис. 2.20. Схема структуры покрытия [7]: 1 – граница между покрытием и основой; 2 – межслойная граница; 3 – граница между частицами; D_x – диаметр участка пятна контакта, на котором происходит «приваривание» частицы

Никель-алюминиевые покрытия являются многофазными и содержат $NiAl$, Ni_3Al и твердый раствор Ni в $NiAl$. Для получения оптимальной прочности сцепления толщина покрытия должна составлять 0,05–0,15 мм. Рекомендуется поддерживать следующие параметры при напылении: скорость вращения детали 10–15 об/мин; подача плазмотрона 6–15 мм/об. Нанесение

подслоя необходимо производить за один проход. Микроструктуры покрытий плазменного напыления порошком стали Р6М5, содержащих карбиды типа M_6C и карбиды типа MC , представлены на рис. 2.21, *a* и *б* соответственно [8].

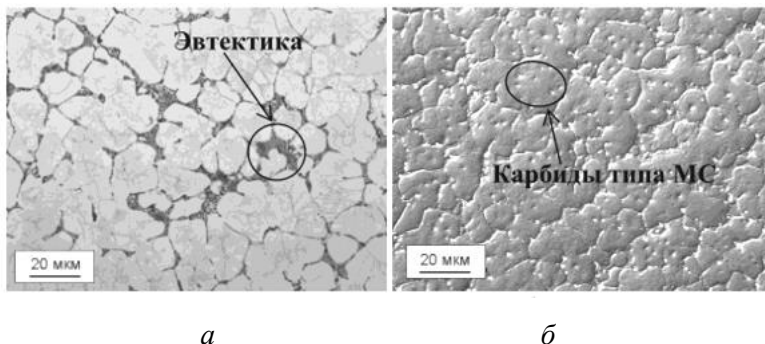


Рис. 2.21. Микроструктуры покрытий плазменного напыления порошком стали Р6М5[8]: *a* – эвтектика, содержащая карбиды типа M_6C и *б* – карбиды типа MC (б)

Процесс плазменного напыления применим для ремонта плоских деталей со сложной геометрической формой и нанесения износостойких покрытий на трущиеся поверхности тел вращения.

Широкое применение плазменная технология находит во многих отраслях промышленности:

– машиностроение (калибры, подшипники скольжения, подпятники упорных подшипников, гидроцилиндры, плунжера, направляющие и центры токарных станков, шпиндели и валы, шнеки экструзионных машин, детали перемоточных, ткацких, прядильных машин, вытяжные и гибочные штампы, матрицы для прессования тугоплавких металлов, кокили и т.п.);

– автомобильная промышленность (коленчатые валы, поворотные цапфы, втулки – шестерни коробки передач, оси коромысел, посадочные отверстия картера коробки передач, 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.);

– электротехническая и электронная промышленность (конденсаторы, поверхности антенн, вентиляционные лопасти турбогенераторов, торцовые уплотнения электрических машин, лентопротяжные механизмы, магнитные головки, механизмы перемещения перфокарт, ролики для подачи проволоки и сопла сварочных установок и т.п.).

Экономическая эффективность плазменного напыления определяется:

– повышением минимум в два раза надежности и долговечности выпускаемой и используемой продукции;

– сокращением затрат на изготовление запасных частей;

– экономией металла, расходуемого на изготовление запасных частей;

– высвобождением работников, занятых на изготовлении запасных частей и восстановлении деталей;

– увеличением выпуска продукции на существующем оборудовании, вследствие сокращения простоев для замены изношенных деталей и аварийных ремонтов оборудования.

Напыление покрытий электродуговым способом – один из наиболее экономичных методов напыления покрытий, характеризующийся низким энергопотреблением и высокими скоростями напыления. Источником нагрева, как и в случае плазменного напыления, является электрическая дуга. В данном случае дуга зажигается между двумя проволоками из напыляемого материала, которые подаются в зону распыления с постоянной скоростью. Температура в зоне дуги может превышать 5 000 °С. Диспергирование расплавленного материала и доставка его на обрабатываемую поверхность производится струей сжатого газа, как правило воздуха. Так как напыляемый материал выступает в роли электрода, этим методом можно распылять

только электропроводящие материалы (металлы и сплавы), его иногда называют электродуговой металлизацией.

Достоинства метода:

- низкие энергозатраты на получение покрытия;
- высокая производительность процесса (до 100 кг/ч и более по цинку) при достаточно эффективном использовании распыляемого материала (0,65–0,8);
- значительные толщины напыляемого покрытия (до 10–15 мм);
- относительно малое тепловое воздействие на основу (нагрев в пределах 80–200 °С);
- возможность нанесения покрытий на изделия практически без ограничения размеров;
- легкость и простота обслуживания оборудования, его высокая надежность;
- возможность автоматизации процесса с созданием автоматических линий;
- возможность восстановления изношенных узлов и деталей с продлением срока их эксплуатации без замены на новые изделия;
- обеспечение выпуска продукции с высокими эксплуатационными свойствами, отвечающими требованиям современных технологий, ресурсосбережению.

Основные недостатки метода:

- ограниченный круг материалов для напыления из-за требований электропроводности и поставки в виде проволоки;
- наличие значительного количества оксидов в покрытии, что снижает его ударную прочность;
- не во всех случаях достаточная прочность сцепления покрытий с основой (15–45 МПа);
- наличие пористости, что препятствует применению покрытий в коррозионных средах без дополнительной обработки.

Электродуговая металлизация – процесс напыления с высокой производительностью. Сущность способа заключается в

следующем: через два канала в горелке непрерывно подают две проволоки, между концами которых возбуждается дуга и происходит их расплавление (рис. 2.22). Расплавленный металл подхватывается струей сжатого воздуха, истекающего из центрального сопла электрометаллизатора, и в мелкораспыленном виде переносится на поверхность основного материала. Распыление и транспортирование расплавляемого металла осуществляются обычно сжатым воздухом, хотя при напылении коррозионно-стойкой сталью 308 и алюминиевыми сплавами используют азот. При дуговом напылении на постоянном токе процесс протекает стабильно, при высокой производительности процесса обеспечивая получение слоя покрытия с мелкозернистой структурой. Поэтому в настоящее время для дугового напыления применяют источники постоянного электрического тока со стабилизатором напряжения или источники со слегка возрастающей характеристикой.

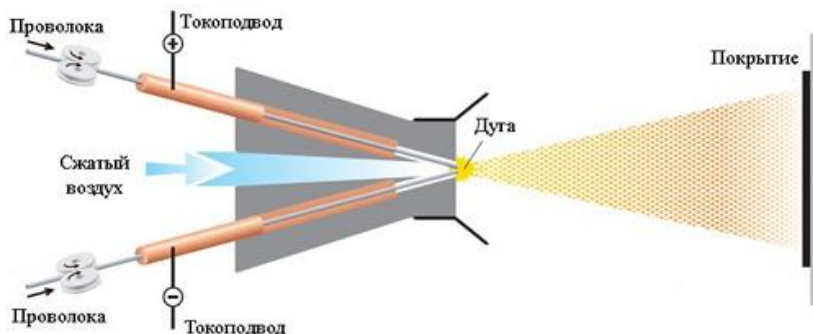


Рис. 2.22. Схема процесса электродуговой металлизации

Технические показатели процесса электродуговой металлизации приведены в таблице 2.4 [10]. Область применения – восстановление шеек всех видов коленчатых валов, в том числе и тяжело нагруженных дизельных двигателей. Восстановление таких деталей трамваев, троллейбусов и автомобилей, как:

– ось колесной пары;

- чулок редуктора колесной пары;
- посадочные места под подшипники корпуса редуктора;
- посадочные места вала якоря тягового двигателя трамваев;
- разжимной кулак и ось разжимного кулака тормозного механизма автомобилей семейства КамАЗ;
- шаровой палец шарнирного соединения деталей рулевого привода автомобилей;
- посадочные места под подшипники в щитах электродвигателей троллейбусов;
- опорные шейки и кулачки распределительного вала механизма газораспределения двигателей внутреннего сгорания автомобилей.

Таблица 2.4

Технические показатели процесса электродуговой металлизации

Показатель процесса	Значение
Температура дуги	~ 6000 К
Скорость частиц	50–150 м/с
Мощность	5–20 кВт
Сила тока	80–700 А
Напряжение	18 035 В
Пористость покрытия	1%
Толщина покрытия	0,08–1,5 мм

Никелирование – электрохимическое или химическое нанесение тонкого слоя никеля на поверхность изделий из стали и сплавов на основе *Cu*, *Zn*, *Al* для повышения коррозионной стойкости, а также в защитно-декоративных целях (рис. 2.23). Многослойное никелирование применяется для повышения коррозионной стойкости никелевых покрытий по сравнению с однослойными покрытиями. Это достигается последовательным осаждением слоев никеля из нескольких электролитов с различными физико-химическими свойствами покрытия. К многослойным никелевым покрытиям относятся: би-никель, три-

никель, сил-никель. Коррозионная стойкость би-никеля в 1,5–2 раза выше однослойных покрытий.



Рис. 2.23. Вид никелированных деталей автомобиля

Снятие никелевых покрытий производится анодным растворением никеля в электролите. Это происходит в случае реставрации старых деталей, в основном автомобильных. Электрохимическое никелирование используется как для декоративного покрытия изделий имеющих простые, несложные поверхности, так и для изделий промышленного назначения. Еще более эффективна, в коррозионном отношении, система двухслойного покрытия «медь–никель», где на изделие наносится сначала подслой меди. Химическое никелирование наиболее широко применяется для покрытия изделий со сложной поверхностью в т.ч. и развитой внутренней поверхностью. В отличие от электрохимического способа химический способ дает одинаковую толщину слоя по всей поверхности (внутренней и наружной). Наибольшая доля производимых покрытий приходится на машиностроение и приборостроение. Особенностью химического никелирования является непрерывное осаждение

слоя, что создает возможность образования покрытий любой толщины.

Свойства химического и гальванического покрытия никелем представлены в таблице 2.5.

В автомобильной промышленности применяют двухслойное никелирование типа сил-никель. Первый слой никеля наносится из электролита блестящего никелирования. Затем детали переносят во второй электролит, где происходит осаждение сил-никеля. В состав этого электролита вводят токонепроводящий высокодисперсный порошок каолина в количестве 0,3–2,0 г/л. Температура электролита 50–60 °С, необходимая плотность тока должна быть 3–4 А/дм². Процесс ведут без непрерывной фильтрации. Для обеспечения равномерного распределения частиц каолина по всему объему электролита при меняют интенсивное воздушное перемешивание. Слой сил-никеля повышает износостойкость покрытия и обладает высоко коррозионной стойкостью.

Таблица 2.5

Свойства химического и гальванического покрытия никелем

Параметр	Покрытие	
	химическое	гальваническое
Температура плавления, °С	890	1 450
Удельное сопротивление, Ом·м	$\sim 60 \cdot 10^{-5}$	$\sim 8,5 \cdot 10^{-5}$
Магнитная восприимчивость, %	4	37
Твердость по Виккерсу	550	250
Продольная деформация, %	3–6	10–30
Прочность сцепления с основой, кгс/мм ²	35–50	35–45

Нитроцементация – процесс насыщения поверхности металлических деталей одновременно углеродом и азотом при 700–950 °С в газовой среде, состоящей из науглероживающего (цементующего) газа и диссоциированного аммиака. Основное назначение нитроцементации – повышение твердости, износостойкости и предела выносливости стальных деталей. Техноло-

гическая схема нитроцементации аналогична схеме газовой цементации. Но процесс проводится при более низких температурах (800–850 °С). Цементирующий газ разлагается в печи с выделением атомарного углерода, а аммиак – с выделением атомарного азота. Длительность процесса от 1 до 6 часов. Глубина нитроцементированного (цианированного) слоя при этом составляет 0,4–0,6 мм. Глубина упрочненного слоя зависит от температуры и продолжительности выдержки. После нитроцементирования, как и после цементации, детали подвергают закалке и низкому отпуску.

Более высокая производительность процесса нитроцементирования позволяет сделать его более экономичным по сравнению с газовой цементацией.

Применяют этот процесс упрочнения для валов, осей, зубчатых колёс и других деталей, работающих при значительных знакопеременных нагрузках.

На ВАЗе 95% деталей подвергаются нитроцементации. Нитроцементация характеризуется безопасностью в работе, низкой стоимостью. Нитроцементации обычно подвергают детали сложной конфигурации, склонные коробиться.

Различают два вида цианирования: 1) высокотемпературное, проводимое при температуре выше A_{c3} ; 2) низкотемпературное при температуре ниже A_{c1} .

При высокотемпературном цианировании металл насыщается углеродом в бóльшей степени, чем азотом, а при низкотемпературном цианировании – в бóльшей степени азотом, чем углеродом.

Нитроцементация высокотемпературная проводится при температуре 830–950°С, для машиностроительных деталей из углеродистых и низколегированных сталей при повышенном содержании аммиака в газовой среде. Наилучшей по экономичности, технологичности и регулируемости является атмосфера газовой среды с пониженным содержанием водорода (20%), применяемая на Волжском, Минском и других автозаводах при

нитроцементации машиностроительных деталей. Пониженное содержание водорода в используемой при нитроцементации газовой среде, кроме того, способствует повышению эксплуатационных свойств деталей. Завершающей обработкой детали, прошедшей высокотемпературную нитроцементацию, обязательно является термическая обработка: закалка при температуре нагрева 760–780 °С с охлаждением в воде или масле, промывке и низкому отпуску при температуре 150–170 °С. Твердость поверхностного слоя достигает 56–62 HRC. Окончательная структура цианированного слоя состоит из тонкого слоя карбонитридов $Fe_2(C, N)$, а затем азотистого мартенсита, подповерхностного слоя (в переходной зоне) из мартенсита и троостита, в сердцевине обработанной детали находится троостит.

По сравнению с цементацией высокотемпературное цианирование происходит с большей скоростью, приводит к меньшей деформации деталей, обеспечивает большую твердость и сопротивление износу, большую теплоустойчивость и коррозионную стойкость. Кроме того, процесс нитроцементации имеет также и технологические преимущества. К ним относятся: 1) более высокая производительность, связанная с тем, что углерод и азот взаимно ускоряют диффузию; 2) меньшее коробление деталей при непосредственной закалке, так как она производится с более низкой температуры; 3) меньшее саже- и коксообразование под влиянием вводимого в печь аммиака.

Технологические режимы высокотемпературной нитроцементации стали приведены в таблице 2.6.

Нитроцементация низкотемпературная проводится при температуре 530–570 °С в газовой среде в течение 1,5–3 часов. Образуется поверхностный слой толщиной 0,02–0,004 мм с твердостью 900–1 200 HV. По окончании процесса проводится ускоренное охлаждение в масле или потоке защитного газа. Это предотвращает деазотирование. В целом этот процесс, как и низкотемпературное жидкостное цианирование, применяют для повышения стойкости инструмента и долговечности деталей

машин. Преимуществом его является отсутствие ядовитых цианистых солей и возможность обработки сравнительно крупных деталей. Нитроцементация дает более стабильный по глубине и свойствам упрочненный слой, однако по сравнению с жидкостным цианированием требует больше времени.

Процесс низкотемпературной нитроцементации получает в последние годы большое распространение в отечественной и зарубежной промышленности.

Таблица 2.6

Режимы высокотемпературной нитроцементации стали

Нитроцементующая среда	t среды, °С	Глубина слоя, мм	Примечание
Эндогаз (20% CO, 40% H ₂ , 40% N ₂), 3–5% природного газа, 3–5% аммиака	860	0,25–1,0	Процесс осуществляют в безмуфельных методических печах. Углеродный потенциал регулируется по точке росы или содержанию CO ₂ . Приборы для регулирования потенциала азота не разработаны
Маловодородный экзоэндогаз (20% CO, 20% H ₂ , 60% N ₂), 0,5–0,8% природного газа, 2–4% аммиака	860	0,5–0,8	То же. Применение маловодородной эндотермической атмосферы менее пожароопасно, а также устраняет возможность возникновения водородной хрупкости
Маловодородный эндогаз, 1,5% природного газа, 4–6% аммиака	820–86	0,2–0,5	устраняет возможность возникновения водородной хрупкости
Природный газ, 20–25% аммиака	860	0,6–0,9	Процесс ведется в вертикальных печах Ц-типа.
Триэтаноламин, 10% воды	860–930	0,2–1,0 0,8–1,5	Процесс осуществляется в вертикальных и ретортных шнековых печах. Дозированную подачу триэтанолamina в печь осуществляют с помощью топливного насоса
Синтин, керосин,	860–930	0,4–1,5	Процесс ведется в верти-

спирт и т.п., 5–50% аммиака общего объема			кальных печак
---	--	--	---------------

В России процесс низкотемпературной нитроцементации называют также низкотемпературным газовым цианированием и карбонитрированием. Зарубежные фирмы дают ему свои названия: в США – нитемпер, в ФРГ – никотирование и нитрок-процесс, в Японии – найтемпер и унините-процесс. Существование разных названий обусловлено разным составом применяемых смесей углеродосодержащего газа. Так, например, при никотировании в ФРГ используется смесь из равных частей аммиака и эндогаза, при нитемпер-процессе в США – смесь из равных частей пропана и аммиака и т.д. Американская фирма «Дженерал моторс» применяет низкотемпературную нитроцементацию для наиболее важных деталей автомобильного двигателя, в т.ч. и для коленчатого вала. В состав атмосферы, в которой проводится процесс нитроцементации, входят 15–40% аммиака, 5–15% науглероживанного газа, – эндогаз. При температуре 570 °С и продолжительности выдержки 5 ч получается слой толщиной 0,25 мм.

Наиболее типичная продолжительность низкотемпературной нитроцементации при 570 °С приведена в таблице 2.7.

Таблица 2.7

Продолжительность низкотемпературной нитроцементации при 570°С

Нитроцементующая среда	Продолжительность процесса, ч
Эндогаз (40% H ₂ , 20% CO, 40% N ₂) + 25% аммиака	0,5–3
Экзо- и эндогаз (20% H ₂ , 20% CO, 60% N ₂) + 50% аммиака	
Экзогаз (90% N ₂ , 10% CO ₂) + 50% аммиака, 50% продуктов пиролиза керосина, спирта или синтина + 50% аммиака	1–6

Примечание. Применение эндогаза при температуре ниже 700 °С может вызвать взрыв. Для предотвращения взрыва рекомендуется следу-

ющая технология: у передней дверцы создается пламенный затвор, печь нагревают до 800 °С, подают при этой температуре эндогаз и аммиак, далее снижают температуру до 620 °С, печь постоянно продувают газом, загружают детали и выполняют процесс при 570 °С.О

Осаждение из газовой фазы – взаимодействие газообразных веществ с твердыми (контактное осаждение) с целью получения твердых веществ (слоев, покрытий различной структуры: монокристаллических, аморфных, поликристаллических). Основные области применения данного процесса – нанесение (осаждение) разнообразных защитных и декоративных покрытий на детали машин и аппаратов, на инструменты. Высокая поверхностная подвижность адсорбированных металлсодержащих соединений позволяет получать покрытия с плотностью, близкой к теоретической, при температурах $\sim 0,15\text{--}0,3$ от температуры плавления материала, что недоступно для других методов нанесения покрытий. Адсорбция (от лат. *ad* – на, при и *sorbeo* – поглощаю) – одна из стадий процесса химико-термической обработки, при которой происходит сцепление активных атомов насыщающего элемента с обрабатываемой поверхностью. Следует отличать адсорбцию от абсорбции, при которой вещество диффундирует в объем твердого тела с модифицированием (изменением состава и структуры) его поверхностного слоя (рис. 2.24).

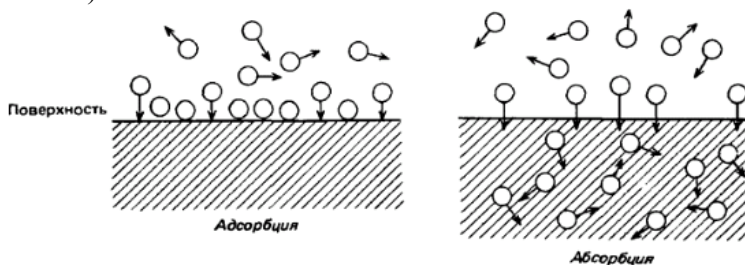


Рис. 2.24. Схема адсорбции и абсорбции

Термин сорбция объединяет оба понятия. Вещество, на поверхности которого происходит адсорбция, называется адсор-

бентом, а поглощаемое – адсорбатом. В зависимости от характера взаимодействия между молекулой адсорбата и адсорбентом адсорбцию принято подразделять на физическую адсорбцию (слабые взаимодействия) и химическую адсорбцию (химосорбцию – сильные взаимодействия). Четкой границы между физической адсорбцией и химосорбцией не существует.

Наиболее эффективно применение данного процесса для восстановления изношенных деталей и узлов, замена гальванических методов нанесения покрытий на «сухие» экологически чистые ионно-плазменные методы.

Осаждение покрытий – это методы нанесения защитных покрытий микронной толщины (<10 мкм), характеризующиеся конденсацией на поверхности изделий компонентов паровой или газовой фазы в условиях обработки частицами высоких энергий в вакууме или плазменными струями при атмосферном давлении (см. **Напыление покрытий**, см. **Осаждение из газовой фазы**). Отличительными свойствами методов осаждения покрытий является обеспечение высокой адгезионной прочности покрытия к основе за счет применения физических процессов подготовки и активации поверхности (нагрева и предварительной очистки поверхностей тлеющим разрядом, бомбардировкой ионами инертных газов). Процесс формирования покрытий осуществляется за счет обработки ионами в процессе конденсации, осаждения высокоэнергетических ионов, а также атомов и молекул с участием плазмохимических процессов.

Процессы осаждения подразделяются на:

– плазменные, заключающиеся в нанесении покрытий при атмосферном давлении и являющиеся продуктами плазмохимических реакций реагентов, прошедших через дуговой или высокочастотный плазмотрон;

– ионно-плазменные, происходящие в вакууме: необходимый для получения покрытий материал переводится из твердой в газовую фазу распылением мишени энергетическими ионами или испарением катода, добавкой реакционных газов;

– ионно-лучевые, аналогичные ионноплазменным, в которых дополнительно используются электроннолучевые пушки.

Назначение процессов осаждения – изготовление деталей машин и механизмов, технологической оснастки и инструмента, предусматривающее финишный способ нанесения тонкопленочных покрытий различного применения.

II

Плазменная закалка состоит в высокоскоростном нагреве потоком плазмы поверхностного слоя металла и быстром его охлаждении в результате передачи тепла в глубинные слои материала детали.

Цель плазменной закалки – упрочнение поверхностного слоя деталей и инструмента с обеспечением его толщины до нескольких миллиметров при неизменном общем химическом составе материала и сохранении во внутренних слоях первоначальных свойств исходного металла деталей и инструмента. Эффект от плазменной закалки определяется повышением эксплуатационных свойств детали, благодаря изменению физико-механических характеристик поверхностного слоя, вследствие образования специфической структуры и фазового состава металла с высокой твердостью и дисперсностью, а также полужесткости на поверхности сжимающих остаточных напряжений (рис. 2.25). Плазменная закалка не дает деформаций, благодаря чему закаленным деталям во многих случаях не требуется финишная шлифовка, что существенно снижает трудоемкость и себестоимость производства.

Материалы, подвергаемые плазменной закалке, – инструментальные стали, чугуны, твердые сплавы, цементированные и нитроцементированные стали, цветные сплавы и другие материалы.

Оборудование для плазменной закалки состоит из источника тока, блока аппаратуры, малогабаритного плазмотрона и механизма для перемещения плазмотрона или детали. Плазмотрон изготавливается по оригинальным конструкторским разра-

боткам. Механизмом для перемещения может служить серийное механическое, сварочное или наплавочное оборудование.

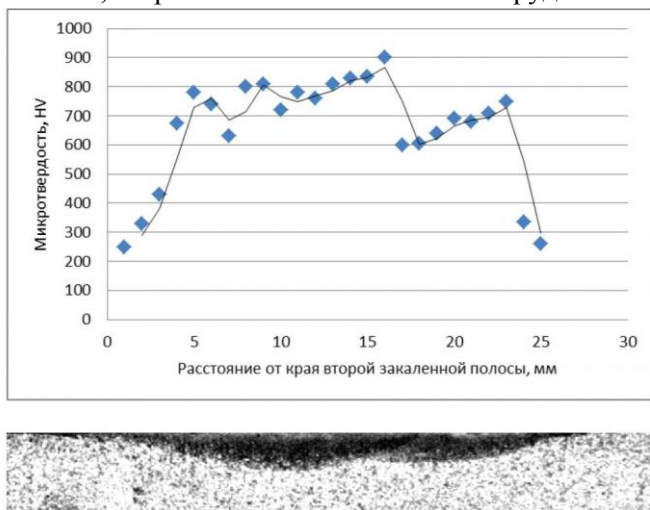


Рис. 2.25. Распределение микротвердости на глубине от поверхности 0,1 мм (вверху) в поперечном сечении образца (сталь 45) с двумя полосами закалки плазменной дугой (внизу) [11]

Технологический процесс плазменной закалки состоит из предварительной очистки (любым известным методом) и непосредственно плазменной закалки обрабатываемой поверхности путем перемещения изделия относительно плазмотрона или наоборот. Возможны следующие технологические варианты плазменной закалки: без оплавления и с оплавлением поверхности детали, с промежутками между упрочненными зонами или без них. Параметры процесса плазменной закалки: ток плазменной дуги (струи), расход плазмообразующего газа (аргон или его смеси с азотом, а также воздух), расстояние между плазмотроном и изделием, скорость перемещения, обеспечивающая получение оптимальных свойств в поверхностном слое упрочняемой детали. Интегральная температура нагрева в процессе плазменной закалки не превышает 150–200 °С. Средняя ширина закаленной зоны 6–13 мм (рис. 2.26).

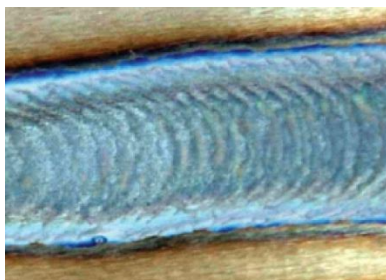


Рис. 2.26. Закаленная полоса с цветами побежалости [11]

Контроль качества плазменной закалки обработанной поверхности осуществляется визуально по наличию и сравнению цветовой окраски с эталоном, а также по увеличению твердости.

Основные требования безопасности при плазменной закалке определяются применением сварочных источников нагрева и требуют использования вытяжной вентиляционной системы и защиты органов зрения от излучения.

Отличительные особенности плазменной закалки. По сравнению с аналогами – способами поверхностного упрочнения, а именно токами высокой частоты; газовым пламенем; химико-термической обработкой; лазерным и электронно-лучевым упрочнением – данный процесс имеет следующие преимущества:

- низкие интегральные температуры нагрева деталей;
- большая глубина упрочненного слоя по сравнению, например, с лазерной закалкой;
- высокий эффективный КПД нагрева плазменной дугой (до 85%), для сравнения при лазерном упрочнении – 5%;
- отсутствие применения специальных дополнительных химических препаратов или веществ;
- возможность ведения процесса без применения охлаждающих сред, вакуума, специальных покрытий для повышения поглощательной способности упрочняемых поверхностей;

– простота, низкая стоимость, маневренность, малые габариты технологического оборудования;

– возможность автоматизации и роботизации технологического процесса.

Экономическая эффективность плазменной закалки определяется:

– повышением работоспособности и износостойкости деталей и инструмента;

– сокращением затрат на изготовление запасных деталей и дополнительного количества инструмента для выполнения заданной производственной программы;

– уменьшением объема заточных операций, времени и средств, связанных с настройкой прессов и металлообрабатывающих станков для инструмента, подвергнутого плазменной закалке;

– высвобождением работников, занятых на изготовлении запасных деталей и дополнительного количества инструмента;

– интенсификацией режимов работы инструмента;

– увеличением выпуска продукции на существующем оборудовании вследствие сокращения простоев для замены изношенных деталей и аварийных ремонтов оборудования.

Примеры применения плазменной закалки: режущий и мерительный инструмент, штампы, напильники; контуры резьбы ходовых винтов, шестерен, зубчатых колес, реек; рабочие профили кулачков, копиров, а также разнообразных пазов, канавок, отверстий; направляющие, шпиндели, валы, оси, штоки; детали текстильных машин, ножи для обработки дерева, бумаги, синтетических материалов; рамные и дисковые пилы, иглы, прокатные валки, коленчатые и распределительные валы, детали газораспределительных механизмов двигателей и т.д.

Плазменная модификация – процесс обработки материалов при помощи плазмы с целью изменения физических или химических свойств поверхности обрабатываемого объекта.

Сущность плазменной модификации состоит в осуществлении скоростных химико-термических реакций взаимодействия материала (металла, пластмасс и др.) с плазменной струей, генерируемой при атмосферном давлении воздушно-дуговым плазмотроном. Цель плазменной модификации – изготовление изделий со специальными свойствами поверхности: износостойкостью, антифрикционностью, коррозионностойкостью и др. Триботехнические испытания плазменно-модифицированных образцов, моделирующих работу пар трения колесо – рельс, показали в 4–10 раз меньшую интенсивность их изнашивания в сравнении с образцами, не подвергавшимися плазменной модификации.

Преимущества технологии плазменной модификации:

1. Многофункциональность – это использование для любых металлов и сплавов, для изделий практически любых габаритов по ширине и по толщине, использование в помещении и на открытом воздухе вне зависимости от сезона и уровня температуры окружающей среды; возможность одновременно провести термообработку изделия и очистку его поверхностного слоя, причем процесс очистки может быть совмещен с нанесением защитных и технологических покрытий, например нитрида и карбида титана.

2. Экономичность. Не требуются расходные материалы. Установки малогабаритны, не занимают много площади, монтируются без фундамента.

3. Высокое качество модификации. Отсутствует внедрение посторонних материалов и химических соединений в основной очищаемый материал. В процессе модификации выявляются поверхностные дефекты изделия. Поверхность приобретает высокую адгезионную способность, что особенно важно для последующего нанесения покрытий (особенно на пластмассы), волочения и прокатки. Устраняется межкристаллическая коррозия материала, коррозионная стойкость сохраняется в течение длительного времени (при хранении в складских условиях). Модификация

фикация на атомарном уровне (ионной составляющей плазмы) способствует улучшению потребительских свойств металлических изделий.

4. Экологичность. Результатом плазменной модификации являются безвредные газообразные соединения (углекислый газ и молекулы воды).

Избирательное воздействие лучом «холодной» плазмы вместо пламени заменяет компании *Peguform* полную маскировку при предварительной обработке приборных панелей кроссовера *Audi Q5*. Плазменная модификация (маскировка) лучом плазмы.

Плазменное упрочнение – см. **Плазменная закалка, Плазменная модификация.**

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) – вид отделочно-упрочняющей обработки, при котором не образуется стружка, а происходит упруго-пластическое деформирование поверхностного металлических деталей и изделий. Основное назначение методов механического упрочнения поверхности посредством наклепывание обкаткой роликами или дробеструйной обработкой шариками поверхностного слоя заготовок, металлических деталей и изделий на глубину 0,2–0,4 мм – повышение их усталостной прочности. Во многих случаях ППД позволяет повысить в 1,5–3 раза запас прочности деталей, работающих при знакопеременных нагрузках (осей, валов, зубчатых колёс, подшипников, поршней, цилиндров, сварных конструкций, инструментов и т.п.), и увеличить срок их службы в десятки раз.

Достоинством ППД является технологическая универсальность и экономичность метода. По характеру взаимодействия инструмента с деталью методы ППД подразделяется на статические и ударные.

Статическое ППД осуществляется перемещением инструмента (ролиka) вдоль обрабатываемой поверхности с постоян-

ной или закономерно изменяющейся силой деформирования P или глубиной внедрения h_d (рис. 2.27, а).

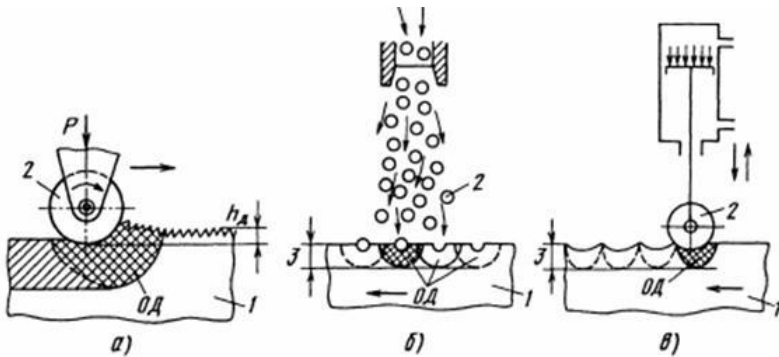


Рис. 2.27. Схемы статического ППД (а) и ударного ППД (б–в) [12]:

В зоне контакта инструмента с деталью образуется область пластического течения – очаг деформации $ОД$, размеры которого зависят от технологических факторов.

При перемещении инструмента последовательно деформируется поверхностный слой детали. Ударное ППД осуществляется нанесением инструментом случайно распределенных (рис. 2.27, б) или регулярных ударов (рис. 2.27, в) по детали. Размеры очага деформации зависят от кинетической энергии, сообщаемой деформирующему инструменту. Обработку ведут так, чтобы пластические отпечатки покрыли обрабатываемую поверхность с определенной степенью перекрытия.

Основным механизмом холодной пластической деформации металлов и сплавов является внутризеренное сдвиговое перемещение одних частей кристалла относительно других, осуществляемое с помощью многочисленных видов движения дислокации по плоскостям скольжения. С накоплением деформации дислокации размножаются, взаимодействуют между собой и другими дефектами кристаллического строения, в результате чего их движение затрудняется, а напряжение пласти-

ческого течения и твердость металла растут. ППД улучшает микрогеометрию поверхности обрабатываемых деталей и изделий. Создание остаточных напряжений сжатия повышает предел усталости и долговечность подвергаемых ППД деталей и изделий. ППД особенно эффективно для деталей, работающих в условиях знакопеременного нагружения (осей, валов, зубчатых колёс, подшипников, поршней, цилиндров, сварных конструкций, инструментов и т.п.).

С

Старение (дисперсионное твердение) [*aging*] – связанный с переменной растворимостью избыточной фазы вид термической обработки, при котором упрочнение происходит в результате дисперсных выделений при распаде пересыщенного твердого раствора и возникающих при этом внутренних напряжений. Распадом называют процесс, в результате которого из одной фазы (пересыщенный твердый раствор) образуются две фазы: твердый раствор, обедненный легирующими компонентами, и выделения интерметаллидов, отличающиеся от твердого раствора по составу и кристаллической решетке и отделенные от твердого раствора поверхностью раздела. Различают два основных механизма распада пересыщенного твердого раствора: непрерывный, который идет путем образования и роста отдельных зародышей (частиц фазы, содержащей избыточный компонент твердого раствора), и прерывистый (или ячеистый), при котором возникают и растут ячейки или колонии, состоящие обычно из равновесных фаз (новой фазы, обогащенной избыточным компонентом), и обедненного (равновесного) твердого раствора. В первом случае частицы образуются по всему объему и их рост сопровождается постепенным и непрерывным обеднением матричного твердого раствора. Во втором случае происходит движение границы раздела «колония – непревращенная область твердого раствора». Колонии имеют обычно пластинчатое строение, зарождаются на границе зерна, и их движущийся

фронт представляет собой подвижную высокоугловую границу с зерном исходного твёрдого раствора. В результате старения происходит изменение свойств закаленных сплавов. В отличие от отпуска после старения увеличиваются прочность и твердость, и уменьшается пластичность. Старение сплавов связано с переменной растворимостью избыточной фазы, а упрочнение при старении происходит в результате дисперсионных выделений при распаде пересыщенного твердого раствора и возникающих при этом внутренних напряжений. В стареющих сплавах выделения из твердых растворов встречаются в следующих основных формах: тонкопластинчатой (дискообразной); равноосной (сферической или кубической); игольчатой.

Форма выделений определяется конкурирующими факторами – поверхностной энергией и энергией упругой деформации, стремящимися к минимуму. Поверхностная энергия минимальна для равноосных выделений. Энергия упругих искажений минимальна для выделений в виде тонких пластин.

Основное назначение старения – повышение прочности и стабилизация свойств. Кроме высокой прочности, стареющие сплавы могут приобретать и другие ценные свойства, например высокую коэрцитивную силу. Термин старение принято применять только к тем сплавам, которые были подвергнуты закалке без полиморфного превращения: после такой закалки фиксируется пересыщенный твердый раствор.

Различают старение естественное, искусственное и после пластической деформации. Выдержку закаленных сплавов в естественных условиях (при температуре окружающей среды), которая приводит к определенным изменениям структуры и свойств (прочность, как правило, повышается), называют естественным старением. Нагрев закаленных сплавов до относительно невысоких температур (обычно в интервале 100–200 °С) и выдержку при этих температурах (в пределах от нескольких часов до нескольких десятков часов) называют искусственным старением.

Старение охватывает все процессы, происходящие в пересыщенном твердом растворе: процессы, подготавливающие выделение, и сами процессы выделения. Превращение, при котором происходят только процессы выделения, называется дисперсионным твердением. Для практики большое значение имеет инкубационный период – время, в течение которого в закаленном сплаве совершаются подготовительные процессы, когда сохраняется высокая пластичность. Это позволяет проводить холодную деформацию после закалки. После старения повышается прочность и снижается пластичность низкоуглеродистых сталей в результате дисперсных выделений в феррите цементита третичного и нитридов.

Старение является основным способом упрочнения алюминиевых и медных сплавов, а также многих жаропрочных сплавов.

Старение естественное [*natural aging*] – самопроизвольное повышение прочности и уменьшение пластичности закаленного сплава, происходящее в процессе его выдержки при нормальной температуре. Происходит только в сплавах у которых при комнатной температуре диффузионная подвижность атомов достаточно высокая. В дуралюминах, например, при естественном старении наблюдается сильное упрочнение, обусловленное образованием, зон Гинье – Престона (*pre precipitation zone*), которые представляют собой малые (субмикроскопические) объемы твердого раствора с резко повышенной концентрацией растворенного компонента, сохраняющие решетку растворителя (скопления (кластеры) растворенных элементов, образующиеся по определенным кристаллографическим плоскостям пересыщенного твердого раствора и предшествующие началу выделения новой фазы). Решетка матрицы вокруг зон Гинье–Престона испытывает очень большие упругие напряжения (рис. 2.28). С течением времени зоны Гинье – Престона превращаются в выделения самостоятельных фаз, но не равновесных, а промежуточных, метастабильных, отличающихся и по

структуре, и по составу от устойчивых равновесных фаз. При использовании электронной микроскопии данные зоны можно наблюдать в сплавах $Al-Ag$, которые имеют вид сферических частиц диаметром ~ 10 А. Сплавы $Al-Cu$ содержат зоны-пластины толщиной < 10 А. В закаленных сплавах на основе тугоплавких металлов, например Ni , диффузионная подвижность атомов при комнатной температуре настолько низкая, что естественное старение не развивается.

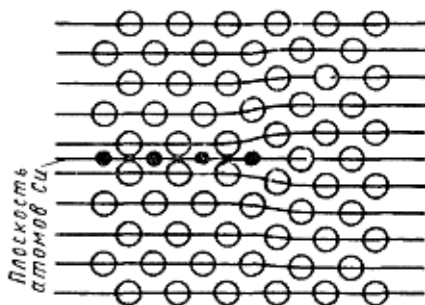


Рис. 2.28. Схема зоны Гинье – Престона (по Герольду):
белые кружки – атомы Al; черные – Cu

Старение искусственное [*artificial aging*] – старение при температуре выше комнатной. Нагрев сплава увеличивает подвижность атомов, что ускоряет процесс распада пересыщенного твердого раствора и одновременный рост в результате выдержки при повышенных температурах. Предел прочности, предел текучести и твердость сплава с увеличением продолжительности старения возрастают, достигают максимума и затем снижаются (явление перестаривания) (рис. 2.29). При естественном старении перестаривания не происходит. С повышением температуры стадия перестаривания достигается раньше.

Искусственное старение – основной вид упрочнения сплавов на основе цветных металлов термической обработкой.

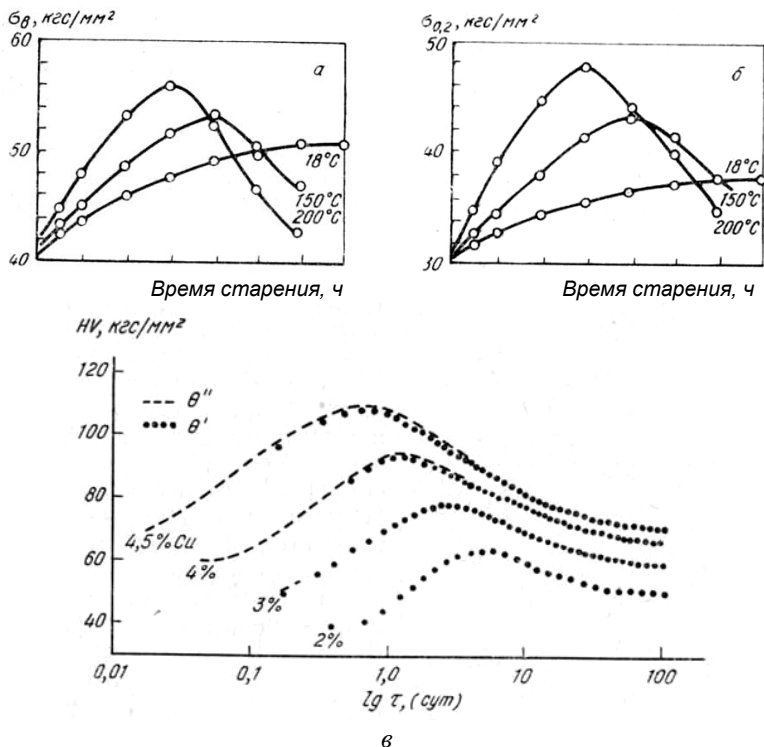


Рис. 2.29. Зависимость предела прочности (а), предел текучести (б) и твердости (в) Al-сплава Д16 (дуралюмин) от времени старения при различных температурах

Старение деформационное [*strain aging*] – старение, протекающее после или при пластической деформации в результате взаимодействия примесных атомов с дефектами кристаллической решетки. Пластическая деформация закаленных сплавов, имеющих структуру пересыщенного твердого раствора, ускоряет процессы, протекающие при старении. Это и есть деформационное старение. В настоящее время деформационное старение используется как метод управляющей механико-термической обработки для повышения комплекса механических свойств. Деформационному старению подвержена сталь, пластически

деформированная при температуре ниже температуры рекристаллизации. Деформационное старение объясняется теорией дислокаций. При холодной пластической деформации возрастает количество (плотность) дислокаций, увеличивающееся с повышением степени деформации. При старении атомы азота и углерода, находящиеся в α -растворе, перемещаются к дислокациям, образуя вокруг них скопления, называемые атмосферами Коттрелла (*Cottrell atmosphere* – область повышенной концентрации примесных атомов внедрения вокруг линии дислокации, рис. 2.30).

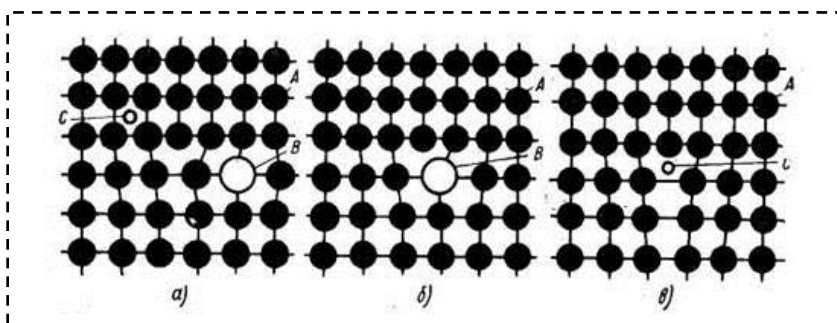


Рис. 2.30. Образование атмосферы Коттрелла:

а – атомы компонента В, образующие твердый раствор замещения, и атомы В и С, образующие твердый раствор внедрения, беспорядочно расположены в решетке компонента А; б и в – атомы компонентов В и С переместились к дислокации, вследствие чего энергия решетки понизилась

Эти скопления атомов блокируют дислокации, затрудняют их перемещение при пластической деформации, в связи с чем твердость и прочность стали повышаются, а пластичность понижается.

У

Упрочнение ВЧ-плазмой – в основе ВЧ-плазменного поверхностного упрочнения металлов лежит способность плазменной струи (дуги) создавать на небольшом участке

поверхности высокие плотности теплового потока, достаточные для нагрева, плавления или испарения практически любого металла. Основной физической характеристикой ВЧ-плазменного упрочнения является температурное поле, значение которого дает возможность оценить температуру в разных точках зоны термического воздействия (в разные моменты времени), скорость нагрева и охлаждения, а в конечном итоге структурное состояние и фазовый состав поверхностного слоя материала.

Процессы поверхностного упрочнения требуют применения концентрированного источника нагрева с плотностью теплового потока на поверхности материала $10^3\text{--}10^6$ Вт/см². Основным фактором, отличающим плазменный нагрев от лазерного нагрева, является механизм взаимодействия источника энергии с материалом. При лазерном нагреве световой поток излучения, направленный на поверхность материала, частично отражается от нее, а частично проходит вглубь материала. ВЧ-плазменное излучение, проникающее вглубь материала, практически полностью поглощается свободными электронами проводимости в приповерхностном слое толщиной 0,1–1,0 мкм.

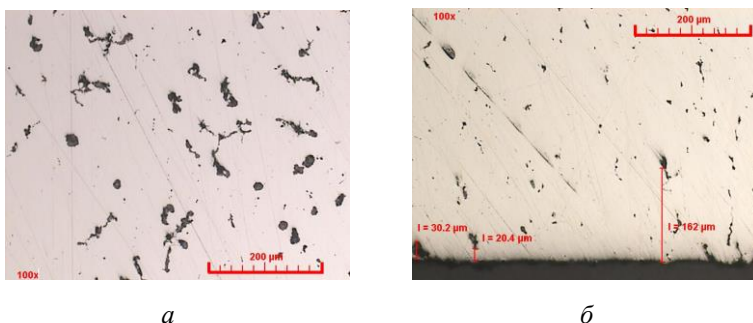


Рис. 2.31. Микроструктура высокопрочного чугуна (ВЧ 100) до (а) и после (б) поверхностной ВЧ-плазменной закалки, $\times 100$

Чугун высокопрочный марки ВЧ 100 по форме включения содержит графит шаровидный в сочетании с пластинчатым в виде мелких и средних включений (рис. 2.31, а), в результате

ВЧ-плазменной обработки происходит растворение шаровидного графита, а пластинчатый принимает вид мелких включений (рис. 2.31, б).

С помощью данной обработки были увеличены отбеленные слои «белый излом», характеризующиеся низкой вязкостью. На основании изучения фотографий микроструктур можно предположить, что это обуславливается выделением карбидов и других включений.

Упрочнение ТВЧ – наиболее распространенный способ поверхностной закалки – токами высокой частоты (ТВЧ). Возникновение новых концентрированных источников энергии (лазер, плазма, электронный луч) несколько снизили интерес к закалке ТВЧ. Дальнейшее совершенствование технологии ТВЧ привело к возникновению нового способа (высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты (ВЭНТВЧ) [13–14]), позволяющего реализовать удельные мощности нагрева при непрерывно-последовательном способе порядка 300 МВт/м^2 , при импульсном режиме – до 500 МВт/м^2 (рис. 2.32) [15].

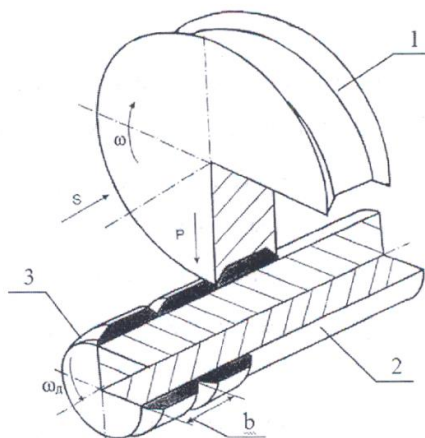


Рис. 2.32. Схема обработки при ВЭНТВЧ

Поскольку уровень удельных мощностей нагрева обрабатываемых деталей, свойственных ВЭНТВЧ, на порядок выше традиционной закалки ТВЧ (до 20 МВт/м^2), технологические возможности нового способа – ВЭНТВЧ, в отличие от традиционного метода ТВЧ (рис. 2.33), намного шире как в части типа формируемых структур поверхностного слоя обрабатываемых деталей, так и в отношении его глубины, твердости, знака и характера распределения величины остаточных напряжений вследствие значительных различий реализуемых параметров термических циклов: скорости нагрева при температурах фазовых переходов, скорости охлаждения в интервале температур наименьшей устойчивости аустенита и в интервале температур мартенситного образования, максимальной температуры и времени нахождения материала обрабатываемых деталей при температурах фазовых переходов.

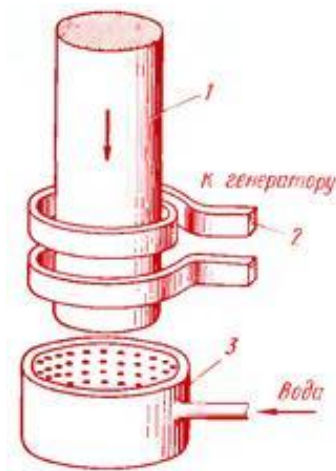


Рис. 2.33. Расположение индуктора, закаливаемой цилиндрической детали и спрейера при закалке с нагревом ТВЧ:
1 – деталь; 2 – индуктор; 3 – спрейер

Преимущества метода ТВЧ и его усовершенствованной разновидности ВЭНТВЧ:

- большая экономичность, нет необходимости нагревать все изделие;
- более высокие механические свойства;
- отсутствие обезуглероживания и окисления поверхности детали;
- снижение брака по короблению и образованию закалочных трещин;
- возможность автоматизации процесса;
- использование закалки ТВЧ и ВЭНТВЧ, что позволяет заменить легированные стали на более дешевые углеродистые;
- возможность закалки отдельных участков детали.

Основной недостаток метода – высокая стоимость индукционных установок и индукторов, что обуславливает целесообразность его использования преимущественно в серийном и массовом производстве.

Ф

Финишное плазменное упрочнение (ФПУ) – новая технология для многократного повышения работоспособности инструмента, штампов, пресс-форм и деталей машин. ФПУ подвергаются изделия из инструментальных сталей, твердых сплавов, а также из других сталей и сплавов. ФПУ является заключительной операцией и проводится после окончательной механической, термической и абразивной обработки изделий. ФПУ не подлежат изделия, имеющие на упрочняемых зонах следы окисления, прижоги, заусенцы, сколы, затупления, а также оксидные и органические покрытия. ФПУ позволяет улучшать при обработке инструмента, штампов, прессформ, ножей, фильер, подшипников и других деталей машин специальные свойства их поверхностного слоя: высокую износостойкость, антифрикционность, коррозионностойкость, жаростойкость, разгаростойкость, антисхватывание, стойкость против фреттинг-коррозии и др.

Сущность ФПУ состоит в нанесении износостойкого покрытия с одновременным осуществлением процесса повторной плазменной закалки приповерхностного слоя (на глубину нескольких микрометров). Покрытие является продуктом плазмохимических реакций реагентов, прошедших через дуговой плазмотрон. Закалка происходит за счет локального воздействия высококонцентрированной плазменной струи.

Эффект от ФПУ достигается за счет изменения физико-механических свойств поверхностного слоя: увеличения твердости, уменьшения коэффициента трения, создания сжимающих напряжений, залечивания микродефектов, образования на поверхности диэлектрического и коррозионностойкого пленочного покрытия с низким коэффициентом теплопроводности, химической инертностью и специфической топографией поверхности.

Оборудование ФПУ помимо переносного блока аппаратуры с жидкостным дозатором и источник питания включает в себя малогабаритный плазмотрон с плазмохимическим генератором (рис. 2.34). Дополнительно данное оборудование может комплектоваться манипулятором для вращения изделий, перемещения и позиционирования плазмотрона в процессе ФПУ блоком автономного охлаждения, мобильной вытяжной системой и прибором контроля качества нанесения покрытия.



Рис. 2.34. Плазмотрон с плазмохимическим генератором

Технологический процесс ФПУ проводится при атмосферном давлении в воздушной среде и состоит из операций предварительной очистки (любым известным методом) и непосредственно упрочнения обрабатываемой поверхности путем воздействия на неё плазменной струи при взаимном перемещении изделия и плазмотрона. Параметры процесса: относительная скорость перемещения 1–10 мм/с, расстояние между плазмотроном и изделием 10–15 мм, диаметр пятна упрочнения 12–15 мм, толщина покрытия 0,5–3 мкм. Температура нагрева деталей при ФПУ не превышает 100–150°C. Параметры шероховатости поверхности обрабатываемой детали после ФПУ не изменяются.

В качестве плазмообразующего газа используется аргон, исходным материалом для прохождения плазмохимических реакций и образования покрытия является специальный жидкий двухкомпонентный препарат сетол. Его расход не превышает 0,5 г/ч (не более 0,5 литра в год при определённой интенсивности работы).

По сравнению с аналогами – ионно-плазменным напылением, лазерным и электроискровым упрочнением, эпиламинированием, нанесением кластерных покрытий – ФПУ имеет следующие преимущества:

- возможность получения высокой воспроизводимости и стабильности упрочнения за счёт двойного эффекта (от нанесения износостойкого покрытия и структурных изменений в тонком приповерхностном слое);

- проведение процесса упрочнения на воздухе при температуре окружающей среды, не требует применения вакуумных или других камер и ванн, а также защитной среды;

- использование процесса упрочнения в качестве окончательной операции вследствие нанесения тонкоплёночного покрытия (толщиной < 3 мкм), укладываемого в допуски на размеры деталей;

- отсутствие изменений параметров шероховатости поверхности после процесса упрочнения;

– минимальный нагрев в процессе обработки (не более 100–120°С) не вызывает деформаций деталей, а также позволяет упрочнять инструментальные стали с низкой температурой отпуска;

– обеспечение возможности упрочнения локальных (по глубине и площади) объемов деталей в местах износа с сохранением исходных свойств материала в остальном объеме;

– получение тонкоплёночного покрытия, которое по микротвёрдости наиболее близко к алмазоподобным покрытиям;

– повышение усталостной прочности изделия за счет образования на поверхности упрочнения сжимающих остаточных напряжений при циклической нагрузке (для сравнения: после операции шлифования возникают растягивающие напряжения, ведущие к снижению усталостной прочности);

– максимальная сопротивляемость истиранию (в т.ч. при взаимодействии инструмента с обрабатываемым материалом) за счет высокой адгезионной прочности сцепления покрытия с основой;

– подавление процессов наростообразования при резании или налипания при штамповке и прессовании в связи с низким коэффициентом трения;

– формирование специфического микрорельефа поверхности, что способствует эффективному его заполнению смазочно-охлаждающей жидкостью при эксплуатации инструмента и деталей машин;

– образование на поверхности тонкоплёночного аморфного (стеклообразного) покрытия, которое защищает изделие от воздействия высокой температуры (испытания на высокотемпературную воздушную коррозию в течение 100 часов при температуре 800 °С);

– обеспечение простоты операций по очистке и обезжириванию перед упрочнением (отсутствие специальной предварительной подготовки);

- получение возможности упрочнения поверхностей деталей любых габаритов в ручном или автоматическом режимах;
- минимальное потребление и низкая стоимость расходных материалов;
- низкая потребляемая мощность установки для упрочнения – менее 6 кВт; – незначительная площадь, занимаемая оборудованием – 1–2 м²;
- возможность использования малогабаритного плазмотрона для упрочнения (массой около 1 кг) на манипуляторе, в руке робота, а также в ручной обработке;
- транспортабельность и маневренность оборудования (масса блока аппаратуры менее 15 кг, источника питания – 100–200 кг);
- экологическая чистота процесса в связи с отсутствием отходов при упрочнении;
- отсутствие в данной технологии особых требований к помещению, контактирования с токсичными материалами, затрат времени на выдержку в растворах и сушку обработанных деталей, в отличие от методов упрочнения с использованием поверхностно-активных веществ.

К недостаткам ФПУ следует отнести сравнительно невысокую производительность, повышенные уровни шума и ультразвукового излучения.

Экономическая эффективность ФПУ штампов, инструмента и других изделий – повышает стойкость упрочненных изделий в 2–10 раз.

X

Химико-термическая обработка (ХТО) – процесс изменения химического состава, микроструктуры и свойств поверхностного слоя обрабатываемой детали. Изменение химического состава поверхностных слоев достигается в результате их взаимодействия с окружающей средой (твердой, жидкой, газообразной, плазменной), в которой осуществляется нагрев. В результа-

те изменения химического состава поверхностного слоя изменяются его фазовый состав и микроструктура. Основными параметрами ХТО являются температура нагрева и продолжительность выдержки. В основе любой разновидности ХТО лежат процессы диссоциации, адсорбции, диффузии.

ХТО является основным способом поверхностного упрочнения деталей.

Основными разновидностями ХТО являются:

- цементация (насыщение поверхностного слоя углеродом);
- азотирование (насыщение поверхностного слоя азотом);
- нитроцементация или цианирование (насыщение поверхностного слоя одновременно углеродом и азотом);
- диффузионная металлизация (насыщение поверхностного слоя различными металлами).

Поверхностное упрочнение стальных изделий методами ХТО не решается одним процессом диффузионного насыщения. Этим достигается лишь выгодное распределение насыщаемого элемента по сечению изделия и получение требуемой глубины измененного состава слоя. Окончательное же формирование свойств обрабатываемых изделий осуществляется в результате термической обработки.

Хромирование – диффузионное насыщение поверхности стальных изделий хромом, либо процесс осаждения на поверхность детали слоя хрома из электролита под действием электрического тока. Слой хрома может наноситься для декоративных целей, для обеспечения защиты от коррозии или для увеличения твердости поверхности. Этот процесс обеспечивает повышенную устойчивость стали к газовой коррозии (окалиностойкость) при температуре до 800 °С, высокую коррозионную стойкость в таких средах, как вода, морская вода и азотная кислота. Хромирование сталей содержащих свыше 0,3–0,4% С, повышает также твердость и износостойкость деталей. Твердость хрома составляет от 66 HRC до 70 HRC. Толщина хромового покрытия обыч-

но составляет от 0,075 до 0,25 мм, но встречаются и более толстые, и более тонкие слои.

Технология хромирования методом напыления появилась достаточно давно и пришла на смену гальваническому хромированию из-за возрастающих экологических требований к изделиям. При этом хромирование методом напыления заменяет гальваническое хромирование не во всех сферах применения.

Хромовые покрытия применяют в следующих случаях:

1. Придание деталям защитно-декоративных свойств. Хромовое покрытие с подслоем меди и никеля хорошо защищает сталь от коррозии, одновременно придавая изделиям красивый внешний вид. Защитно-декоративному хромированию подвергаются детали автомобилей, велосипедов, приборов и т.п.

2. Повышают отражательную способность деталей. Отражательная способность хромового покрытия уступает лишь отражательной способности серебра и алюминия, однако вследствие более высокой стойкости против окисления отражательная способность хрома более стабильна. Хромовое покрытие поэтому широко используется в производстве зеркал, отражателей, прожекторов.

3. Увеличивают износостойчивость деталей. Хромирование с этой целью используется в инструментальном производстве при отделке мерильных инструментов, фильер для волочения металлов и т.п. Большой эффект дает хромирование штампов и матриц при изготовлении различных изделий из резины, пластмасс, кожи, стекла. В этом случае хромовое покрытие не только обеспечивает износостойкость, но также исключает налипание прессуемых материалов к поверхности матриц. Хромовое покрытие значительно снижает смачиваемость стенок форм расплавленным стеклом или металлом. Значительное повышение износостойкости трущихся поверхностей стенок цилиндров и поршневых колец двигателей внутреннего сгорания достигается при применении процессов пористого хромирования.

4. Восстановливают изношенные размеры деталей. Нарращивание слоя хрома на изношенные поверхности термообработанных валов, втулок позволяет восстановить размеры деталей и этим увеличить срок эксплуатации изделий. Толщина хромовых покрытий устанавливается в зависимости от условий эксплуатации и назначения покрытий по отраслевой нормативно-технической документации и имеет следующие значения, мкм:

а) защитно-декоративные хромовые покрытия:

– по никелевому подслою 0,5–1,5;

– для деталей из меди и ее сплавов 6,0– 9,0;

– повышающие износостойкость

пресс-форм, штампов и т.п 9–60;

б) хромовые покрытия, восстанавливающие

изношенные размеры деталей до 500.

Применение износостойких хромовых покрытий для восстановления изношенных деталей станков и двигателей внутреннего сгорания (ДВС) позволяет во много раз увеличить срок их службы. Примерами подобных деталей могут служить шейки коленчатых валов, распределительные валики, толкатели клапанов, поршневые пальцы, шейки валиков различных агрегатов и другие детали. Важной областью использования износостойких хромовых покрытий является хромирование цилиндров или поршневых колец ДВС. Однако для этих деталей, работающих в условиях ограниченной смазки и высоких удельных нагрузок, положительного эффекта от хромирования можно ждать лишь при покрытии пористым хромом.

Существенно изменившиеся технологии хромирования, позволяют придать хромированной поверхности любой оттенок. Технологический процесс позволяющий приобретать металлическим поверхностям зеркальный блеск любого цвета и оттенка, состоит из таких шагов как:

– предварительное нанесение на металлическую поверхность специального связующего состава, который потом сушится при температуре до 65 °С;

- нанесение с помощью распылительного пистолета специального вещества активатора СТ.2516;
- промывка обрабатываемой поверхности дистиллированной водой;
- нанесение сдвоенным пистолетом веществамодификатора «Метахром» и одновременно веществ восстановителей АВ 101/202;
- повторная промывка поверхностей дистиллированной водой и сдувание остатков воды сжатым воздухом;
- покрытие защитным лаком, который предотвращает порчу металлизации (хромированию) и придает ей любой желаемый оттенок в зависимости от цвета добавляемого в лак пигмента.

Таким образом, хромирование автомобиля может производиться в широкой гамме цветов. Это может быть классический серебристый и необычный золотой цвет, которые лучше всего подойдут для того чтобы произвести хромирование деталей в отдельности, а также динамичный красный и ультрасовременный электро, которые будут отлично смотреться на всем кузове автомобиля, и множество любых других цветов, сочетание которых в деталях позволит воплотить в реальность любую дизайнерскую идею.

Ц

Цементация – химико-термическая обработка, заключающаяся в диффузионном насыщении поверхностного слоя атомами углерода при нагреве до температуры 900–950 °С (рис. 2.35). Цементации подвергают стали с низким содержанием углерода (до 0,25%). Нагрев изделий осуществляют в среде, легко отдающей углерод.

Подобрав режимы обработки, поверхностный слой насыщают углеродом до требуемой глубины. Глубина цементации 1–2 мм, степень цементации (среднее содержание углерода в поверхностном слое) обычно не более 1,2%. Более высокое

содержание углерода приводит к образованию значительных количеств цементита вторичного, сообщающего слою повышенную хрупкость. Участки деталей, которые не подвергаются цементации, предварительно покрываются медью (электролитическим способом) или глиняной смесью.

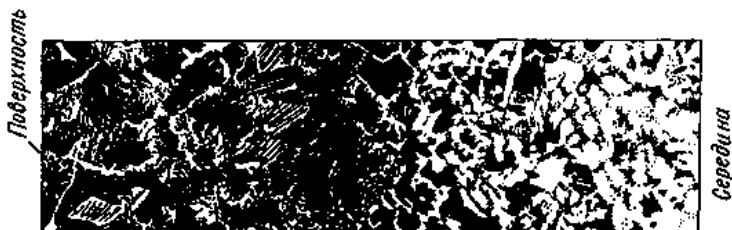


Рис. 2.35. Структура цементованного слоя

На практике применяют цементацию в твердом и газовом карбюризаторе (науглероживающей среде). Цементации подвергают разнообразные изделия: зубчатые колёса, пальцы, валы, оси, рычаги, червяки, детали подшипников (крупногабаритные кольца и ролики) и др.

Цементация в твердом карбюризаторе. Насыщающей средой является древесный уголь (дубовый или березовый) в зернах поперечником 3,5–10 мм или каменноугольный полукокс и торфяной кокс, к которым добавляют активизаторы: углекислый барий ($BaCO_3$) и кальцинированную соду (Na_2CO_2) в количестве 10–40% от массы угля. Широко применяемый карбюризатор состоит из древесного угля, 20–35% $BaCO_3$ и ~3,5% $CaCO_3$. Рабочую смесь, применяемую для цементации, составляют из 25–35% свежего карбюризатора и 65–75% отработанного. Содержание $BaCO_3$ в такой смеси 5–7%, что обеспечивает требуемую толщину слоя и исключает образование грубой цементитной сетки на поверхности.

Изделия, подлежащие цементации, после предварительной очистки укладывают в ящики: сварные стальные или режельные чугунные прямоугольной формы. При упаковке изделий на дно ящика насыпают и утрамбовывают слой карбюризатора

толщиной 20–30 мм, на который укладывают первый ряд деталей, выдерживая расстояние между деталями и до боковых стенок ящика 10–15 мм. Затем засыпают и утрамбовывают другой ряд деталей и т.д. Последний (верхний) ряд деталей засыпают слоем карбюризатора толщиной 35–40 мм, с тем, чтобы компенсировать возможную его усадку. Ящик накрывают крышкой, кромки которой обмазывают огнеупорной глиной или смесью глины и речного песка. После этого ящик помещают в печь.

Процесс цементации проводят в аустенитном состоянии, так как в α -железе углерод практически нерастворим. Нагрев до температуры цементации (910–930 °С) составляет 7–9 мин. на каждый сантиметр минимального размера ящика. Продолжительность выдержки при температуре цементации для составляет от 4 ч до 6 ч для слоя толщиной 0,4–0,6 мм (скорость цементации в твердом карбюризаторе ~0,1 мм/мин). Содержание углерода на поверхности цементируемого изделия составляет 0,8–1,0 %, а с углублением от поверхности оно уменьшается до исходного значения 0,2% (рис. 2.36, а).

Недостатками данного способа являются: значительные затраты времени (для цементации на глубину 0,1 мм затрачивается 1 час); низкая производительность процесса; громоздкое оборудование; сложность автоматизации процесса.

После цементации ящики охлаждают на воздухе до 400–500 °С и затем раскрывают. В процессе медленного охлаждения в поверхностном слое изделий заэвтектоидная зона, состоящая из перлита и карбидной сетки, глубже располагается эвтектоидная зона, со структурой пластинчатого перлита, а под ней доэвтектоидная перлитно-ферритная зона, количество перлита в которой уменьшается с удалением от поверхности к центру (рис. 2.36, б).

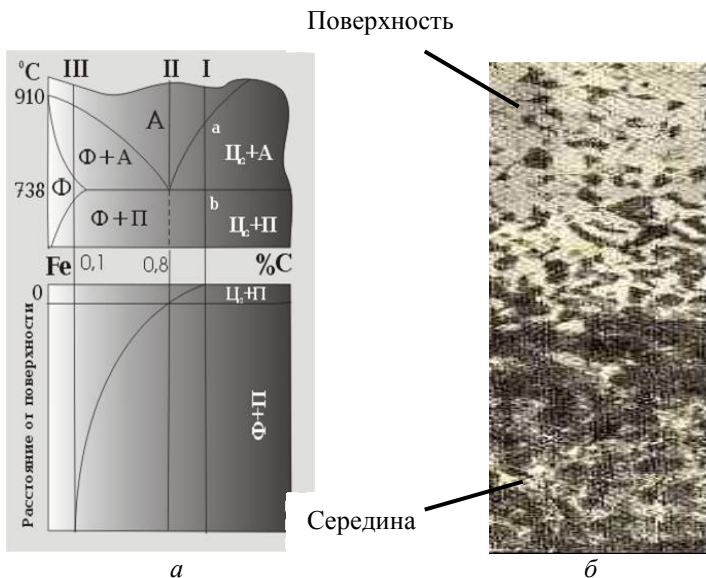
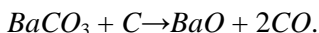


Рис. 2.36. Область температуры цементации (*a*, сверху), содержание углерода *C* на поверхности изделия и с углублением от поверхности (*a*, внизу), микроструктура диффузионной зоны после медленного охлаждения с температуры науглероживания железа

Цементацию стали проводят атомарным углеродом. При цементации твердым карбюризатором атомарный углерод образуется следующим образом. В цементированном ящике имеется воздух, кислород которого при высокой температуре взаимодействует с углеродом карбюризатора, образуя окись углерода. Окись углерода в присутствии железа диссоциирует по уравнению



Углерод выделяющийся в результате этой реакции в момент его образования, является атомарным и диффундирует в аустенит. Добавление углекислых солей (BaCO_3) активизирует карбюризатор, обогащая атмосферу в цементационном ящике окисью углерода:



Цементация газовая [*gas carburizing*] – это процесс, который осуществляется в печах с герметичной камерой, наполненной газовым карбюризатором. Атмосфера углеродосодержащих газов включает азот, водород, водяные пары, которые образуют газ-носитель, а также окись углерода, метан и другие углеводороды, которые являются активными газами. Глубина цементации определяется температурой нагрева и временем выдержки.

Карбюризатором при газовой цементации служит газ, содержащий углеводороды, т.е. соединения углерода и водорода, например метан – CH_4 . При высокой температуре такой газ разлагается (диссоциирует) и дает необходимый для цементации атомарный углерод.

Карбюризатором может служить, например, природный газ, который содержит 95–97% CH_4 . При отсутствии газа можно использовать жидкие карбюризаторы, также содержащие углеводороды, например керосин. Такая жидкость вводится в рабочее пространство печи и под действием высокой температуры, испаряясь, также превращается в газовый карбюризатор.

Разложение углеводородов может происходить таким образом, что наряду с атомарным углеродом образуется смола и сажа, которые оседают на поверхности деталей. При выделении из смолы водорода образуется кокс. Коксовая пленка, так же как смола и сажа, покрывая поверхность деталей, препятствует цементации.

Промышленностью выпускается специально для газовой цементации искусственный жидкий карбюризатор – синтин (от слова синтетический, искусственный). Он обладает высокой цементующей активностью и, главное, почти не дает закоксовывания, а получающееся небольшое количество сажи легко удаляется с деталей. Наилучшие результаты достигаются при использовании в качестве карбюризатора газовой смеси, состоящей из 5–10% природного газа и 90–95% эндогаза. Последнее время предпочтение отдают экзогазу, который содержит меньше водорода.

Газовая цементация деталей производится при той же температуре, при которой производится цементация в твердом карбюризаторе, т.е. при 900–950 °С. Но в связи с отсутствием малотеплопроводного карбюризатора время выдержки при газовой цементации по сравнению с временем выдержки при цементации в твердом карбюризаторе меньше. Сокращение времени выдержки уменьшает перегрев стали, и поэтому после окончания цементации детали, изготовленные из наследственно мелкозернистой стали можно закалять непосредственно из газовой цементационной печи. Обычно перед закалкой детали охлаждаются до более низкой температуры (820–840 °С), т.е. подстуживают и после этого закаляют. При непосредственной закалке с подстуживанием уменьшается коробление деталей, уменьшается количество остаточного аустенита и значительно сокращается технологический процесс. При газовой цементации удобно и легко регулировать количество и состав подаваемого газа. Процесс газовой цементации можно полностью механизировать и автоматизировать. В связи с указанными преимуществами газовая цементация получила широкое распространение на заводах.

Процесс газовой цементации обладает рядом преимуществ по сравнению с цементацией в твердом карбюризаторе:

- повышается производительность процесса по сравнению с цементацией в твердом карбюризаторе, так как не нужно затрачивать время на упаковку и прогрев ящиков;

- сокращается производственная площадь и количество рабочей силы, так как отпадает необходимость в упаковке и распаковке деталей, хранении и транспортировке ящиков и карбюризатора;

- сокращается потребность в жаростойком материале, так как расход его на муфели и приспособления при газовой цементации гораздо меньше, чем на ящики при цементации в твердом карбюризаторе;

- появляется возможность регулирования процесса для получения цементованного слоя заданной глубины и насыщенности;

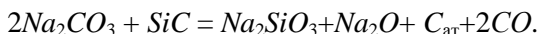
- уменьшается деформация деталей вследствие более равномерного нагрева до рабочей температуры;

- улучшаются санитарно-гигиенические условия труда;
- благодаря применению печей непрерывного действия полностью механизмуется и автоматизируется процесс, что дает возможность установить агрегат для термической обработки в поточной линии механического цеха.

Недостатки процесса газовой цементации: необходимость в более сложном и дорогом оборудовании; потребность в более квалифицированной рабочей силе; сложность эксплуатации оборудования вследствие необходимости обеспечения герметичности печи, равномерной циркуляции газов и др.; сложные требования по технике безопасности.

Для газовой цементации применяются печи непрерывного действия (муфельные и безмуфельные), стационарные печи (камерные, шахтные) и специальные агрегаты.

Цементация жидкостная [*liquid carburizing*, англ.; *salzbadaufkohlung*, нем.]. Для жидкостной цементации применяются ванны, содержащие жидкую среду из 75–85% углекислого натрия (Na_2CO_3), 10–15% хлористого натрия ($NaCl$) и 6–10% карбида кремния (SiC). В процессе цементации происходит следующая реакция:



При нагреве карбид кремния разлагается с выделением атомарного углерода, который и проникает в сталь. Жидкостная цементация применяется для обработки мелких деталей, для которых достаточен цементованный слой небольшой глубины, обычно 0,5–0,6 мм. Поэтому выдержка при жидкостной цементации обычно небольшая (45–90 мин), зерно стали за это время не успевает вырасти и поэтому возможна закалка непосредственно из цементационной ванны. Цементация в жидкой среде применяется очень редко.

Цианирование – химико-термическая обработка, при которой поверхность обрабатываемой детали или изделия насыщается одновременно углеродом и азотом. Цианирование производится в жидкой или газовой среде. Одновременное присутствие углерода и азота ускоряет их совместную диффузию в

поверхностные слои металла. Цианированию подвергают углеродистые и легированные стали. Различают два вида цианирования: высокотемпературное, проводимое при температуре, лежащей выше A_{c3} , низкотемпературное при температуре ниже A_{c1} (см. рис. 2.8). При высокотемпературном цианировании металл насыщается в большей степени углеродом, чем азотом, а при низкотемпературном цианировании – в большей степени азотом, чем углеродом.

Чаще всего цианирование применяют в автомобильной и тракторной промышленности для мелких деталей из среднеуглеродистых сталей, работающих при небольших удельных нагрузках, а также для режущего инструмента из быстрорежущей стали. Упрочнённый карбонитридный слой имеет повышенную твёрдость, износостойкость и усталостную прочность, что значительно увеличивает надёжность и долговечность деталей, работающих в различных эксплуатационных условиях.

Цианирование в газовой среде (нитроцементация) заключается в том, что изделия нагревают в смеси газов, содержащих углерод и азот. Для этой цели используют смесь окиси углерода CO и аммиака NH_3 . При химическом взаимодействии их образуются активный (атомарный) углерод и азот. Высокотемпературное газовое цианирование проводится при температурах $840\text{--}860\text{ }^\circ\text{C}$, выдержка зависит от глубины насыщаемого слоя и составляет $1\text{--}10$ ч. Толщина слоя колеблется от $0,1$ до 1 мм. После последующей закалки и отпуска твердость цианированного изделия составляет $60\text{--}64\text{ HRC}$. Применяется высокотемпературное цианирование для обработки шестерен и других деталей машин и станков. Низкотемпературное цианирование применяется для быстрорежущих сталей с целью повышения износостойкости инструмента и проводится после полного цикла термической обработки инструмента при $500\text{--}600\text{ }^\circ\text{C}$, это обеспечивает получение весьма высокой твердости и износостойкости.

Цианирование в жидкой среде – осуществляется в ваннах с расплавленными цианистыми солями, например $NaCN$ с добавками солей $NaCl$, $BaCl$ (25% $NaCN$, 60% $NaCl$ и 15%

Na_2CO_3) и др. Цианистые соли натрия $NaCN$ при химическом взаимодействии с поваренной солью $NaCl$ и содой Na_2CO_3 разлагаются с выделением активных (атомарных) углерода и азота. Высокотемпературное жидкостное цианирование производится при температурах 800–900 °С и дает при выдержке от 5 до 45 мин. глубину цианированного слоя до 0,075–0,10 мм. В связи с вредностью производства жидкостное цианирование заменяют газовым цианированием.

Э

Электроискровое упрочнение основано на использовании электрических разрядов для обработки рабочей поверхности изделия и создания поверхностного слоя (покрытия) с требуемыми эксплуатационными свойствами. Осуществляется воздействие на металлические поверхности в газовой среде короткими (до 1000 мкс) электрическими разрядами энергией от сотых долей до десятка и более джоулей и частотой не более 1 000 Гц (рис. 2.37).

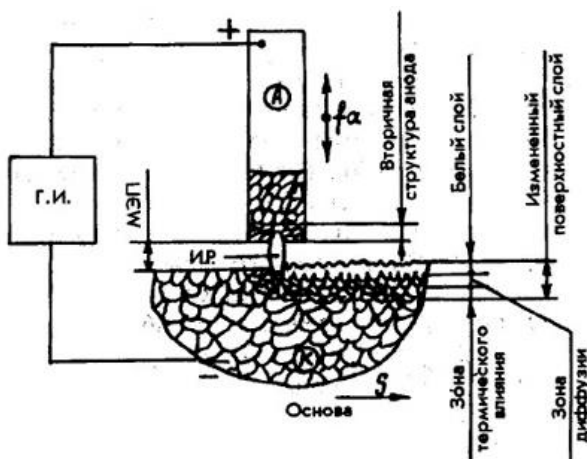


Рис. 2.37. Общая схема электроискрового процесса упрочнения: ГИ – генератор импульсов; МЭП – межэлектродный промежуток; ИР – искровой разряд; А – анод (компактный электрод); К – катод (деталь, инструмент); S – подача; f_a – частота вибрации электрода

При периодическом контакте электрода А (анода), (вибрирующего в межэлектродном промежутке с частотой f_a) с обрабатываемым изделием К (катодом) и его разрыве возникают создаваемые генератором импульсов ГИ электрические разряды.

В ходе процесса электроискрового упрочнения происходит следующее: идут процессы преимущественного разрушения материала электрода (анода) и образования вторичных структур в рабочей его части; осуществляется перенос продуктов эрозии электрода на деталь (катод); на поверхности обрабатываемого изделия протекают микрометаллургические процессы; элементы материала электрода диффундируют в поверхностный слой изделия; поверхность изделия приобретает новый специфичный рельеф (рис. 2.38, *а*); образуется на поверхности изделия измененный слой (рис. 2.38, *б*), включающий белый слой, диффузионную зону и зону термического влияния, при этом изменяются свойства поверхностного слоя; формируется поверхностный слой мелкодисперсного состава, вплоть до наноуровня (рис. 2.38, *в*); происходит изменение размера изделия.

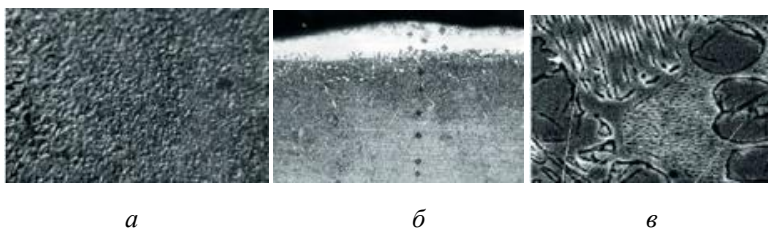


Рис. 2.38. Изменение рельефа поверхности (*а*) и микроструктуры поверхностного слоя (*б* и *в*): *а* – вид поверхности, $\times 10$; *б* – микроструктура поверхностного слоя, $\times 470$; *в* – микроструктура белого слоя, $\times 5000$

Образующийся на поверхности обрабатываемой детали новый слой имеет отличающиеся от исходного состояния свойства в зависимости от параметров искрового разряда, состава электродного материала, материала обрабатываемой детали и других факторов. Эти свойства управляются в широких пределах (табл. 2.8) и обеспечивают требуемые качества: повышенные микротвердость, износостойкость, жаростойкость и другие.

Наряду с возможностью формирования покрытий с характеристиками широкого диапазона значений, метод электроискрового упрочнения обладает рядом достоинств, определяющих его успешное использование для решения производственных проблем.

Таблица 2.8

Характеристики образующихся на поверхности обрабатываемой детали слоев в процессе электроискрового упрочнения

Характеристики образующихся слоев	Значение
Толщина (мкм):	
– поверхностного слоя	5–1 000
– белого слоя	до 600
– переходного слоя	до 700
Микротвердость (МПа):	
– белого слоя	6 000–22 000
– переходного слоя	3 000–8 000
Параметры рельефа поверхности:	
– характер рельефа поверхности	Выпукло-вогнутый
– высота микронеровностей (мкм)	Ra 1,6–Rz 360
– относительная высота выступов h_b/r_b	0,06–0,19
– относительное расстояние между выступами S_m/H_{max}	5–9
Теплопроводность электродных материалов (Вт/м К) . .	10–400

Достоинства метода электроискрового упрочнения:

- возможность локального формирования покрытий в строго указанных местах радиусом от долей миллиметра и более (без защиты остальной поверхности);
- высокая адгезия электроискрового покрытия с основным материалом;
- отсутствие нагрева и деформаций изделия в процессе обработки;
- возможность использования в качестве электродов большинства токопроводящих материалов как из чистых металлов, так и их сплавов, композиций;

- сравнительная простота технологии, не требуется специальной предварительной обработки поверхности;
- высокая надежность оборудования и простота его обслуживания (малогабаритность и ремонтпригодность оборудования);
- низкая энергоемкость ручных и механизированных процессов электроискрового упрочнения (0,3–2,0 кВт);
- высокий коэффициент переноса электродного материала (60–80%).

Широкие технологические возможности и достоинства электроискрового упрочнения являются основой его эффективного успешного применения в различных отраслях при упрочнении объектов из металлических материалов или восстановлении размеров, утраченных в процессе эксплуатации. Это в полной мере относится к машиностроительным предприятиям. Здесь электроискровые технологии применяются для увеличения износостойкости режущих инструментов заготовительного и основного производства, различной технологической оснастки, включая штампы для холодной и горячей обработки металлов и неметаллических материалов, деталей машин.

Электроконтактное и индукционное припекание порошков – технологический процесс получения покрытий, заключающийся в нанесении на поверхность детали слоя порошка и электроконтактном или индукционном нагреве их до температуры, обеспечивающей спекание порошкового материала и образование прочной диффузионной связи с деталью. Данный технологический процесс представляет собой интенсивный металлургический процесс, протекающий в сравнительно малом объеме. Наличие концентрированного источника тепла, температура которого близка к температуре плавления металла покрытия, давление электрода, высокая скорость нагрева и интенсивный теплоотвод в электрод приводят к структурным изменениям и упругопластическим деформациям как в покрытиях, так и в самих деталях. Это создает условия для возникновения остаточных напряжений, эпюра которых зависит от расположения зоны упрочнения, ее формы и размеров. Величина остаточных

напряжений существенно зависит от давления электрода и от самой технологической схемы процесса. Увеличение давления при нанесении покрытий приводит к снижению остаточных напряжений более чем в два раза. Положительные результаты получены при использовании дополнительной термомеханической обработки – горячей обкатки (электроконтактная обработка) после припекания. В этом случае величина остаточных напряжений не превышала 200 МПа. Детали, прошедшие горячую обкатку, характеризуются плавным изменением твердости от покрытия до металла основы и увеличенной диффузионной зоной.

Недостатком технологии является краевой эффект, который при использовании цилиндрического электрода не обеспечивает равномерности температуры и давления по его ширине. Следствием этого является неоднородная пористость покрытия, максимальная в зонах кромки электрода, а также неравномерность адгезионной прочности со снижением ее в зоне кромки покрытия. Для устранения этого недостатка разработан электрод с трапецевидной формой сечения. Схема электроконтактного припекания порошковых покрытий фасонным роликовым электродом приведена на рис. 2.39 [16].

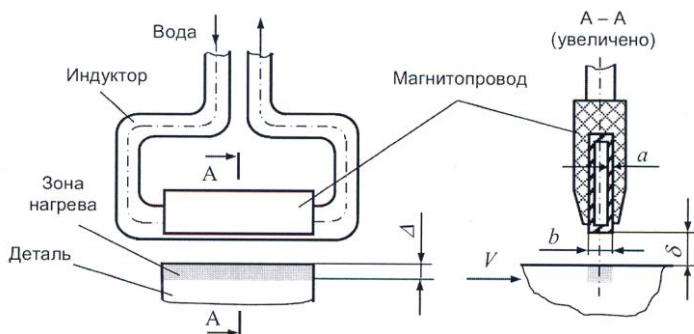


Рис. 2.39. Схема электроконтактного припекания порошковых покрытий

При упрочнении плоской поверхности точечным электродом с фасонной торцевой поверхностью образуется покрытие с классической дискретной структурой островкового типа.

ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В процессе эксплуатации автотранспортных средств наибольшему износу подвергаются детали узлов и агрегатов двигателя, что обуславливает наибольший интерес к технологиям именно их восстановления в процессах текущего и капитального ремонтов.

При ремонте изношенных или поврежденных деталей двигателя необходимо придерживаться определенных общих правил. Это позволяет избежать ошибок, обеспечить качество ремонта, а в целом снизить вероятность неисправностей и отказов после ремонта и исключить затраты времени и повреждениям в эксплуатации.

Изношенные или поврежденные детали двигателя можно условно разделить на две группы.

Первая группа – изнашиваемые детали, непосредственно контактирующие по рабочим поверхностям с ответными изнашиваемыми деталями. Такие детали могут обрабатываться в ремонтные (увеличенные для отверстий и фланцев и уменьшенные для валов) размеры для сопряжения с ответными заменяемыми деталями. Примером может служить шлифование коленчатого вала под вкладыши увеличенной толщины или хонингование цилиндров под поршни увеличенного диаметра.

Вторая группа – поврежденные детали, непосредственно не работающие на износ в контакте с другими, но в некоторых случаях получающие те или иные повреждения при разрушении сопряженных деталей. К ним можно отнести шатуны, блоки цилиндров (постели коленчатого вала) и т.п. В отличие от деталей первой группы, неизнашиваемые детали следует ремонтировать преимущественно с восстановлением в прежний размер. Если

при ремонте это условие нарушается, то, как правило, требуются нестандартные комплектующие. При этом не исключено, что надежность двигателя будет снижена, а последующий ремонт (если он потребуется) будет затруднен или невозможен без замены этих деталей.

Исходя из вышеизложенного, целесообразно придерживаться следующих подходов при выборе и назначении технологии восстановления работоспособности деталей узлов и агрегатов двигателя при выполнении ремонтных работ:

1. Не следует без необходимости изменять конструкцию ремонтируемых деталей, особенно, если речь идет об относительно недорогих деталях. Так, например, протачивание канавок на поршне под более высокие («толстые») кольца всегда ослабляет поршень и в последующем может привести к его поломке. Установка «сухих» гильз в блок цилиндров с последующей их расточкой и хонингованием под изношенные поршни для восстановления зазоров в цилиндрах – также изменение конструкции, причем совершенно неоправданное. Для ремонта блоков цилиндров практически всегда существуют поршни увеличенных (ремонтных) размеров. Другое дело, когда в цилиндре обнаружено глубокое повреждение или трещина, либо цилиндры уже имеют последний ремонтный размер. В таких случаях установка гильз оправдана, поскольку является единственным способом восстановить дорогостоящую деталь цилиндров блок цилиндров.

2. При проведении ремонта двигателя, особенно сложно, не стоит экономить на мелочах: лучше один раз заменить или отремонтировать все изношенные и «подозрительные» детали. Это оказывается дешевле, чем несколько раз затем частично разбирать двигатель и устранять «недоделки». Например, можно оставить без замены сальник коленчатого вала, ошибочно посчитав его еще хорошим по его внешнему виду. Однако при этом сильно возрастает риск повторного снятия и установки

двигателя или коробки передач для замены этого сальника, что может привести к повторным разборкам и сборкам двигателя.

3. Отремонтированная деталь должна иметь следующие геометрические характеристики: перпендикулярность, параллельность, взаимное биение рабочих и базовых поверхностей на уровне новой детали. Чем выше качество ремонта, тем меньше отклонения формы, расположения и размеров поверхностей. Эти параметры должны быть, с одной стороны, заложены в технологию ремонта, а с другой – тщательно проконтролированы перед сборкой двигателя. Ошибки, допущенные при ремонте и пропущенные при контроле, ведут обычно к ускоренному износу самой детали и деталей, сопряженных с ней.

4. При ремонте деталей не следует забывать о возможности последующего ремонта. Это значит, что должен быть обеспечен по возможности минимальный съем металла на изношенных поверхностях. Кроме того, не стоит произвольно дорабатывать детали и изменять их посадочные размеры под имеющиеся на ремонтном предприятии дешёвые комплектующие. Например, растачивание крышки блока и/или шлифование вала под имеющийся в наличии нестандартный сальник при последующем ремонте может создать проблемы с поиском такого же сальника. Еще хуже, когда дорабатывается отверстие шатуна под нестандартные шатунные вкладыши: «вернуть» размер обратно к номинальному практически невозможно. Следует отметить, что некачественный ремонт – это в определенной степени бумеранг для недобросовестного ремонтника. Достаточно велика вероятность того, что именно ему и придется устранять недоделки и у него самого могут возникнуть проблемы с повторным ремонтом.

5. При ремонте двигателей не следует использовать запасные части и комплектующие низкого или сомнительного качества. Как правило, их можно отличить по низкой цене и внешнему виду, который нередко отличается от внешнего вида детали, снятой с двигателя. Детали и комплектующие низкого

качества могут привести к необходимости проведения повторного ремонта уже через несколько тысяч километров пробега. Поэтому разного рода «нестандартные» запасные части и комплектующие лучше использовать только для того двигателя, для которого они и предназначены. Если всё же другого выхода нет, замену комплектующих на нестандартные следует проводить крайне осторожно. Установка оригинальных деталей и комплектующих с маркировкой фирмы-изготовителя автомобиля далеко не всегда оправдана из-за их высокой цены. Таким образом, соотношение цены и качества запасных частей должно быть оптимальным, иначе ремонт двигателя становится нерентабельным.

6. В практике ремонта двигателя следует использовать несколько основных способов восстановления зазоров и поверхностей сопряженных и изношенных деталей:

а) одна из изношенных деталей обрабатывается в ближайший ремонтный размер – увеличенный (для отверстия) или уменьшенный (для вала). Другая деталь заменяется на новую, имеющую увеличенный (уменьшенный) ремонтный размер. Это наиболее распространенный и дешевый способ ремонта ЦПГ и КШМ;

б) одна из изношенных деталей не обрабатывается (если износ небольшой) или обрабатывается до восстановления правильной геометрической формы. На рабочие поверхности ответной детали наносится слой металла (наплавка, наварка, напыление, гальваническое покрытие). После этого деталь обрабатывается (шлифуется) в размер, больший стандартного (вал), но обеспечивающий требуемый зазор в сопряжении. Данный способ может быть использован, например, при ремонте деталей распределительного механизма (сопряжения распределительного вала с головкой блока, клапанов с клапанными втулками);

в) на одну из изношенных деталей наносится слой металла, после чего деталь обрабатывается в размер, равный стандартному (если износ мал) или меньше его (если износ велик). Ответная деталь заменяется на новую соответственно стандарт-

ного или ремонтного размера. Данный способ является основным для ремонта подшипников распределительных, вспомогательных и балансирных валов, если они вращаются в подшипниках скольжения. Кроме того, способ часто используется для ремонта сильно изношенных коленчатых валов, когда величина износа отдельных поверхностей больше 0,75–1,0 мм;

г) изношенная деталь, имеющая отъемную (разъемную) часть, обрабатывается по поверхности разъема, после чего деталь соединяется, а изношенная поверхность обрабатывается в стандартный размер. Это основной способ восстановления постелей подшипников в блоке цилиндров, шатунах и головке блока с разъемными крышками опор;

д) обе ответные детали заменяются на новые, но одна из деталей дополнительно обрабатывается для обеспечения рабочего зазора. Данный способ характерен для ремонта головок блоков с заменой изношенных клапанов и клапанных втулок, верхних головок шатунов при замене втулок поршневого пальца;

е) обе ответные детали заменяются на новые с «автоматическим» обеспечением рабочего зазора. Такая ситуация встречается при замене коленчатого вала с вкладышами, распределительного или вспомогательного валов в комплексе с новыми втулками подшипников, а также при замене блока цилиндров с поршнями и кольцами. Этот способ наиболее дорогой и применяется тогда, когда другие способы ремонта невозможны из-за сильного повреждения деталей.

Номенклатура восстанавливаемых деталей автотранспортной техники весьма обширна и насчитывает сотни наименований. Для создания более рациональной организации технологических процессов восстановления деталей и оценки их качества существует несколько классификаций деталей, из которых наиболее широкое практическое применение получили классификации, предусматривающие объединение деталей в группы по типовым соединениям и по конструктивно-технологическим признакам (табл. 3.1). К конструктивно-техно-

гическим признакам, на основании которых детали объединены в родственные группы, относятся: вид материала, масса и размер детали, вид и величина износа, точность изготовления, общность дефектов и их сочетание, а также способы восстановления.

Особенности классификации деталей – возможность разработки технологической документации не на одну деталь, а на весь технологический процесс восстановления группы деталей. Это важное преимущество классификации позволяет обеспечить восстановление деталей как узкой номенклатуры ремонтных программ, так и широкой номенклатуры небольших ремонтных программ. Таким образом, классификация деталей является первым этапом рационального выбора способа восстановления изношенных и поврежденных деталей. Существенное влияние на технико-экономические показатели способа восстановления деталей оказывает программа восстановления группы деталей.

Таблица 3.1

Классификация восстанавливаемых деталей автотранспортной техники по конструктивно-технологическим признакам

Номер группы	Наименование группы деталей
I	Корпусные детали дизельных автомобильных двигателей
II	Корпусные детали бензиновых автомобильных двигателей
III	Корпусные детали компрессоров и турбокомпрессоров
IV	Валы коленчатые и распределительные
V	Гильзы (цилиндры), шатуны, пальцы поршневые, валы, оси двигателей
VI	Шкивы, маховики, диски сцеплений двигателей
VII	Корпусные детали трансмиссий дизельных автомобилей
VIII	Корпусные детали трансмиссий бензиновых автомобилей
IX	Стаканы, ступицы колес, шкивов, вариаторов
X	Валы, оси трансмиссий, валы карданные
XI	Детали кареток подвески
XII	Звенья гусениц, колеса, ролики, шкивы, барабаны шасси

XIII	Рамы, передние брусья, оси, цапфы ходовой части
XIV	Плунжерные пары, клапаны нагнетательные, распылители

Наиболее выгодно централизованное восстановление деталей на специализированных предприятиях с большой программой, позволяющей применять механизированные и автоматические линии, передовую технологию восстановления. При значительных программах наиболее рационально используется оборудование, повышается производительность и качество восстановления деталей, снижается себестоимость. Однако снижение себестоимости восстановления деталей происходит до определенного уровня. При значительном росте программы возникает потребность в сборе ремонтного фонда с более обширных территорий, что приводит к росту затрат на транспортные расходы и, как следствие, к росту себестоимости. Поэтому при организации восстановления деталей на поточных линиях в цехах следует выбирать оптимальные программы. Себестоимость деталей, восстановленных различными способами, в зависимости от размера производственной программы будет неодинакова.

Соблюдение вышеизложенных целесообразных подходов при выборе и назначении технологии восстановления работоспособности деталей узлов и агрегатов двигателя в большинстве случаев (до 75%) связано с выполнением сварочно-наплавочных работ, вследствие чего именно их технологиям при рассмотрении придается большее значение.

При восстановлении деталей небольших программ, присущих мелкосерийному производству, наиболее выгодно применять универсальные способы наплавки (под слоем флюса, порошковой проволокой, вибродугую, в среде защитных газов, плазменную), которые позволяют в широких пределах регулировать толщину слоя и состав наплавляемого металла. Например, используя две наплавочные установки (под слоем флюса и в среде углекислого газа) можно восстанавливать широкую но-

менклатуру деталей практически любых размеров с различными износами.

При больших программах, характерных для серийного и поточного производства, экономически целесообразно применять способы нанесения покрытий, отличающиеся высокой производительностью и минимальным припуском на последующую обработку (осталивание, хромирование, электроконтактная приварка ленты, плазменная наплавка, плазменное и газопламенное напыление).

Для восстановления деталей XI–XII групп (см. табл. 3.1) с износом 2 мм и более, крупногабаритных деталей типа вал (опорные катки, направляющие колеса, поддерживающие ролики и др.) применяют наплавку под слоем флюса, порошковой проволокой, электрошлаковую, заливку жидким металлом.

При восстановлении деталей типа «вал» IV, IX, XIII групп (коленчатые валы, оси, шкивы, распределительные валы и др.) с износом 0,6–2 мм применяют наплавку под слоем флюса, порошковой проволокой, в среде углекислого газа, вибродугую, плазменную, осталивание и др.

Детали с износом до 0,6 мм, главным образом посадочные места цилиндрических деталей V, X, XIV групп, наиболее целесообразно восстанавливать электроконтактной приваркой ленты, плазменной наплавкой, осталиванием, хромированием, плазменным напылением и др.

Корпусные стальные и чугунные детали с износом до 0,6 мм I, III, VIII групп восстанавливают плазменным и газопламенным напылением, проточным (местным) осталиванием, электронатиранием.

Корпусные алюминиевые детали (группа II) и поршни восстанавливают аргонодуговой и плазменной сваркой (наплавкой).

Для выбора рационального способа применительно к восстановлению конкретной детали или группе деталей следует знать технологические возможности различных технологий вос-

становления работоспособности деталей узлов и агрегатов двигателей, преимущественно сварочно-наплавочных работ, а также их характерные особенности.

А

Автоматическая вибродуговая наплавка – это дуговая наплавка плавящимся электродом, который вибрирует, вследствие чего дуговые разряды чередуются с короткими замыканиями. Подача и перемещение электрода вдоль наплавляемой поверхности детали механизированы. Этот вид наплавки прост, не требует дефицитных материалов, позволяет наплавлять на детали диаметром от 8 мм и выше слой металла толщиной 0,5–3,5 мм. При этом деталь не испытывает деформаций, а твердость слоя может быть доведена до 50–58 HRC без последующей термической обработки.

Автоматическая дуговая наплавка под флюсом – это дуговая наплавка, при которой дуга горит под слоем сварочного флюса, а подача плавящегося электрода и перемещение дуги вдоль наплавляемой поверхности детали механизированы.

Автоматическая дуговая наплавка под слоем флюса впервые создана в институте электросварки имени Е.О. Патона. Она применяется для восстановления поверхности деталей диаметром более 50 мм и плоских деталей с величиной износа от 1 мм до 15 мм. Детали с большой величиной износа наплавляют в несколько слоев. Для наплавки используют переоборудованные токарновинторезные станки с частотой вращения шпинделя от 0,25 об/мин до 4 об/мин, на суппорте которых установлены наплавочные головки или установки. Источником тока являются сварочные преобразователи или выпрямители.

Сущность дуговой наплавки под слоем флюса (рис. 3.1) состоит в том, что в зону горения дуги автоматически подается сыпучий флюс в гранулах размером от 1 мм до 4 мм и электродная проволока 5. Под действием высоких температур часть

флюса плавится, образуя вокруг дуги эластичную оболочку 3 из жидкого флюса, которая защищает расплавленный металл от окисления, поглощения азота и других элементов. Вследствие этого наплавленный металл 8 приобретает высокую пластичность, так как в нем оказывается примерно в 20 раз меньше кислорода и в 3 раза меньше азота, чем при ручной дуговой наплавке. Потери металла на разбрызгивание, угар, огарки не превышают при этом 2–4%, в то время как при ручной дуговой наплавке они в 10 раз больше.

Наплавка ведется постоянным током напряжением 25–40 В при прямой полярности. Для предотвращения стекания жидкого металла и флюса при наплавке круглых деталей электрод смещают в сторону, противоположную направлению вращения, на величину эксцентриситета e (см. рис. 3.1).

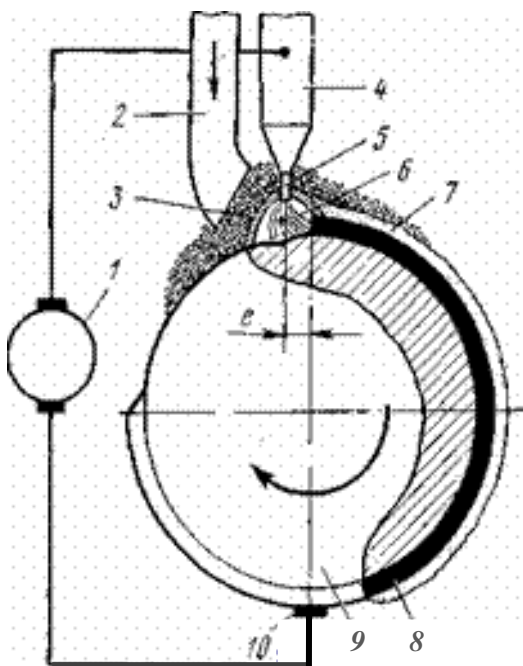


Рис. 3.1. Схема горения дуги под слоем флюса [17]:

1 – источник тока; 2 – устройство для подачи флюса; 3 – оболочка из жидкого флюса; 4 – мунштук; 5 – электродная проволока; 6 – электрическая дуга; 7 – шлаковая корка; 8 – наплавленный слой; 9 – деталь; 10 – подвод тока к детали

Преимущества автоматической наплавки перед ручной: высокая производительность (больше в 5–10 раз), меньшая стоимость (в 5–8 раз), высокое качество наплавленного слоя.

Для улучшения качества наплавленного металла, сохранения первоначальной твердости и структуры закаленных деталей, уменьшения коробления наплавленной детали и повышения износостойкости Ташкентским институтом железнодорожного транспорта предложен прогрессивный способ наплавки деталей под слоем флюса с принудительным охлаждением водой и разработана для этого установка, схема которой представлена на рис. 3.2.

На продольном суппорте токарно-винторезного станка смонтирована автоматическая наплавочная головка с бункером для флюса, с флюсоудерживающим устройством, подъемником флюсоудерживающего устройства и мундштуком наплавочной головки. На поперечном суппорте смонтированы распределитель охлаждения, душевое устройство и резец. В центрах станка закрепляется наплаваемая деталь.

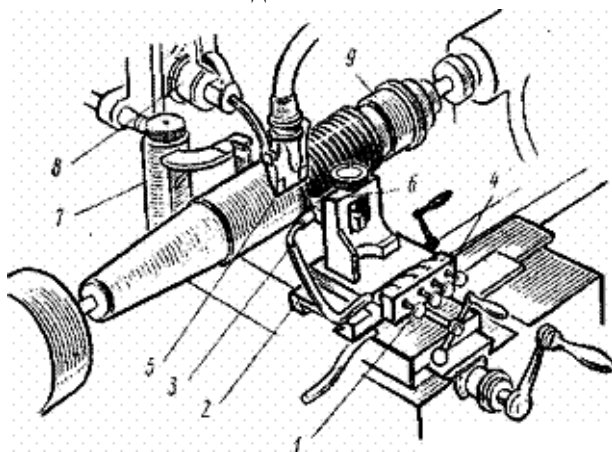


Рис. 3.2. Схема установки для наплавки под слоем флюса с принудительным охлаждением деталей водой

При наплавке одновременно производится охлаждение наплавляемого слоя металла и удаление резцом шлаковой корки. Себестоимость восстановления деталей этим способом снижается за счет того, что не нужно производить работу по устранению коробления и термообработки. При автоматической дуговой наплавке под флюсом твердость и износостойкость наплавленного слоя в основном зависит от применяемой электродной проволоки и марки флюса. Для наплавки малоуглеродистых и низколегированных сталей применяют проволоку из малоуглеродистых (Св-0,8, Св-08А, Св-15), марганцовистых (Св-08Г, Св-08ГА, Св-15Г) и кремнемарганцовистых (Св-ЮГС) сталей. Для наплавки высоколегированных и высокоуглеродистых сталей применяют проволоку Нп-65Г, Нп-3ОХГСА и Нп-3Х13. В зависимости от марки стали, подвергающейся наплавке, марки электродной проволоки, необходимой твердости и износостойкости наплавленного слоя флюсы делятся на плавленые, керамические и флюсы-смеси. Плавленые флюсы содержат стабилизирующие и шлакообразующие элементы, но в них не входят легирующие добавки, поэтому они не могут придавать слою, наплавленному малоуглеродистой, марганцовистой и кремнемарганцовистой проволоками, высокую твердость и износостойкость. Из плавленых флюсов наибольшее распространение получили флюсы марок АН-348А, АН-60, ОСЦ-45, АН-20, АН-28. Керамические флюсы марок АНК-18, АНК-19, ЖСН-1 и другие, кроме стабилизирующих и шлакообразующих элементов, содержат легирующие добавки, главным образом в виде ферросплавов (феррохрома, ферротитана и др.). Легирующие добавки дают слою, наплавленному малоуглеродистой проволокой, высокую твердость без термообработки и износостойкость. Флюсы-смеси (АНЛ-1) представляют собой механическую смесь, состоящую из 93% плавленого флюса марки АН-10 и 7% лигатуры алюминия с железом (15% железа+ 85% алюминия). Твердость покрытия деталей, наплавленных этим флюсом, достигает 380–400 НВ. Иногда во флюсы-смеси добавляют маг-

нитный железный порошок. В процессе наплавки детали под действием магнитного поля железный порошок притягивается к зоне наплавки, что способствует повышению производительности процесса.

Режим наплавки оказывает существенное влияние на стабильность процесса, толщину наплавленного металла и его физико-механические свойства.

Для деталей диаметром от 50 мм до 300 мм режим наплавки можно подобрать по приведенным в табл. 3.2 параметрам [15].

Таблица 3.2

Параметры режима наплавки

Диаметр детали, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Смещение с зенита e , мм	Шаг наплавки, мм	Сила тока, А	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Скорость наплавки, мм/с
50–60	1,6	2–4	2,5–3,0	140–150	75–80	4,4–6,6
61–75	1,6	3–4	3,5	170–180	110–115	4,4–7,9
76–100	2,0	5–7	4,5	180–200	125–130	4,4–8,5
101–200	2–3	8–10	5–6	220–250	160–170	4,4–8,5
201–300	2–3	10–15	6–7	250–280	180–190	4,4–10,0

Технология наплавки. Для подготовки наплавочной установки (рис. 3.3) к наплавке цилиндрических деталей выполняют следующие операции.

В центрах станка закрепляют деталь, ставят кассету, заправленную электродной проволокой, на ось сварочной головки и протягивают проволоку через ролики в мундштук. Устанавливают необходимую скорость подачи электродной проволоки при помощи сменных шестерен подающего механизма. Корректором наклоняют мундштук на требуемый угол (примерно 6–8° в сторону вращения детали). Вращая рукоятку механизма подъема, подводят сварочную головку к наплавляемой детали. Устанавливают смещение и вылет электрода. Наплавку ведут в таком порядке: устанавливают реостатом генератора рассчитанную

величину сварочного тока; пускают флюс из бункера 5 по патрубку 11, открыв шиберную задвижку 8; пускают сварочный преобразователь, нажимают кнопку «Пуск», расположенную на пульте управления 6. Наплавка производится по винтовой линии. Наплавляемые валики накладывают так, чтобы каждый последующий валик примерно на 1/3 перекрывал предыдущий. Во время наплавки молотком удаляют шлаковую корку, следят за показаниями контрольных приборов и равномерностью подачи флюса в зону наплавки. Первый и последний кольцевые валики наплавляют при выключенной продольной подаче наплавочной головки. Прекращают процесс наплавки путем нажатия кнопок «Вниз–Стоп 1» и «Вверх–Стоп 2», после чего закрывают шиберную задвижку и выключают сварочный преобразователь.

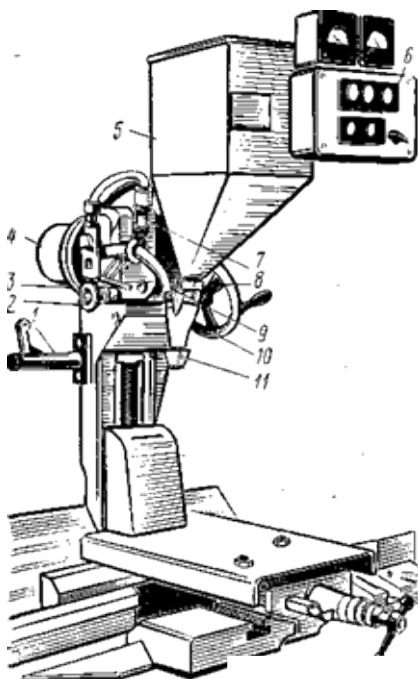


Рис. 3.3. Автомат А-409 для наплавки цилиндрических деталей под слоем флюса [17]

На ремонтных предприятиях дорожных машин широкое распространение для автоматической наплавки деталей получили автоматические аппараты типов А-384МК, А-409, А-508М, А-874Н, АБС, А-929, А-1030, ОКС, А-1031Б в сочетании со сварочными преобразователями (ПС-300, ПСУ-300, ПСГ-500, ПСУ-500) и со сварочными выпрямителями (ВСУ-300, ВСУ-500, ВСС-300, ИПП-300, ВДГ-1001, ВДУ-1001 и др.), а также токарно-винторезными станками (1А62, 1А64, 1Д62Г, 1К62, 1А616, 1А665, 1А680 и др.).

Все большее применение в ремонтном производстве находит автоматическая дуговая наплавка изношенных деталей трубчатыми электродами марок ИЗ-1, ИЗ-2, ТЗ-3, ЭТН-1, ЭТН-2, ЭТН-3, ЭТН-4, ЭТН-5, порошковой проволокой марок ПП-АН-124, ПП-АН-105, ПП-АН-170 и порошковыми лентами марок ПЛ-У40Х38ГЗТЮ, ПЛ-628, ПЛ-634. Трубчатые электроды, порошковые проволоки и ленты применяют для наплавки зубьев экскаваторов, щек камнедробилок, козырьков ковшей, ножей бульдозеров, опорных катков и гусеничных звеньев экскаваторов. Трубчатый электрод представляет собой трубку, свернутую из стальной ленты толщиной 0,68–0,80 мм и наполненную порошкообразной смесью из сталинита, ферромарганца или других материалов. Смесью защищена от воздействия воздуха как самой трубкой, так и ее наружной обмазкой. Наплавленный слой обладает большой износостойкостью и имеет твердость 55–58 HRC.

Порошковая проволока представляет собой металлическую оболочку, плотно наполненную порошкообразными легирующими элементами – шихтой. Шихту применяют разную. Простейшей и наиболее дешевой является мелкая чугунная стружка с добавлением до 20% доменного ферромарганца. Наплавленный слой обладает хорошей износостойкостью и имеет твердость 40–60 HRC в зависимости от примененной шихты. Порошковые ленты состоят из двух лент (изготовленных из полосовой стали 0,8 толщиной 0,6 мм и шириной 50 мм) и порош-

ковой легирующей смеси, расположенной в ячейках одной из лент (рис. 3.4, *a*). В качестве легирующей смеси применяют различные компоненты, состоящие из ферросплавов. Физико-механические свойства наплавленного металла определяются составом легирующих смесей и режимами наплавки. Наплавленный слой обладает хорошей износостойкостью и имеет твердость 48–54 HRC.

Разработана установка, в которой совмещены процессы изготовления порошковой ленты и наплавки (рис. 3.4, *б*). Процесс изготовления порошковой ленты сводится к следующему: ленту пропускают между формирующими роликами, которые придают ей П-образную и гофрированную ячейкообразную форму; наполняют ячейки нижней ленты легирующей смесью и обжимают ленту роликами. При наплавке дуга горит под слоем флюса.

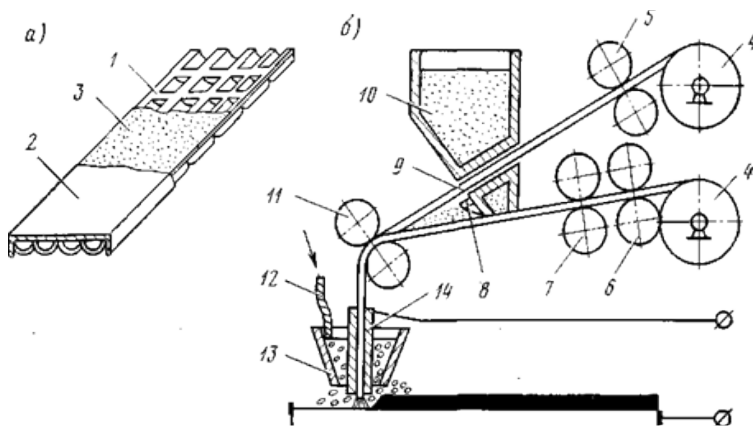
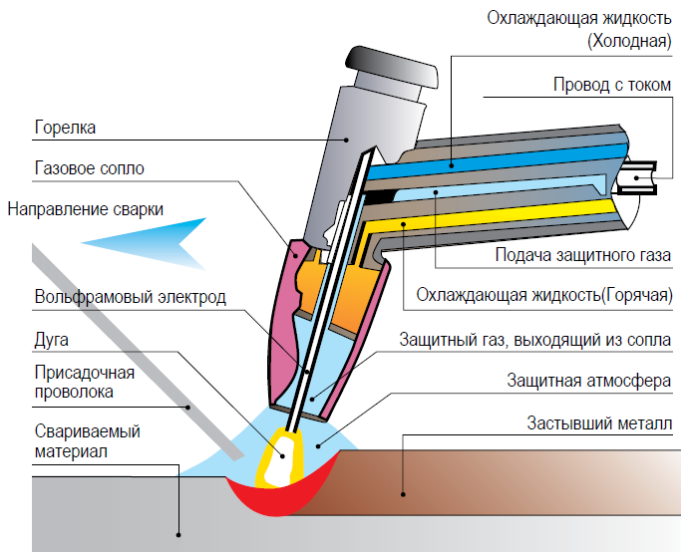


Рис. 3.4. Наплавка порошковой лентой: *a* – порошковая лента; *б* – схема автоматической установки для наплавки под флюсом: 1, 2 – ленты; 3 – порошковая шихта; 4 – бухты с лентой; 5, 6 – формирующие ролики; 7 – подающие ролики; 8 – дозатор шихты; 9 – щелевой паз; 10 – бункер с порошком; 11 – обжимные ролики; 12 – шланг для флюса; 13 – бункер для флюса; 14 – токоподвод

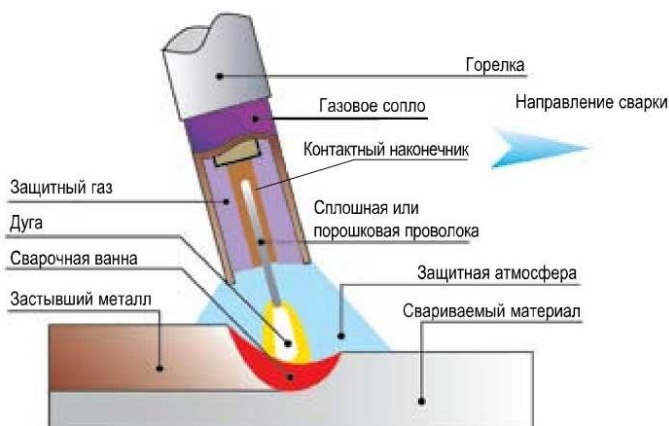
Аргонно-дуговая сварка и наплавка – дуговая сварка и/или наплавка, при которой в качестве защитного газа используется аргон. Свойства некоторых металлов и сплавов заметно ухудшаются при воздействии на них при высоких температурах кислорода, а в отдельных случаях азота и водорода. Для исключения такого вредного воздействия применяют сварку в инертных газах. Защиту реакционного сварочного пространства в этих случаях осуществляют либо струей защитного инертного газа, оттесняющего воздух из зоны горения дуги, либо проведением сварки в специальных камерах с созданием в них атмосферы требуемого состава. Наплавка в защитных газах предпочтительнее наплавки под флюсом во многих случаях, например: при восстановлении валов малого диаметра, внутренних поверхностей втулок и др.

Наиболее универсальным защитным газом является аргон. В ряде случаев к инертному газу для улучшения устойчивости дугового разряда, формирования шва, повышения производительности добавляют различные активные газы. Благодаря надежной защите расплавленного металла от вредного воздействия кислорода и азота воздуха при аргонно-дуговой сварке появляется возможность восстановления деталей из трудносвариваемых материалов, в том числе алюминия и его сплавов, бронзы, латуни, нержавеющей стали и прочих материалов.

Аргонно-дуговая сварка осуществляется неплавящимся или плавящимся электродами (рис. 3.5) [18]. При восстановлении используется в основном сварка неплавящимся вольфрамовым электродом с ручной или механической подачей присадочного материала в зону горения дуги (рис. 3.5, *a*). Сварочные материалы, используемые при этом виде сварки, – это вольфрамовые электроды, присадочный материал и газ. При сварке неплавящимся электродом последний не должен участвовать в формировании состава наплавленного металла или металла шва. Основной задачей неплавящихся электродов является обеспечение устойчивого горения дуги при минимальном их расходе.



a



б

Рис. 3.5. Схема аргоно-дуговой сварки неплавящимся (*a*) и плавящимся (*б*) электродами

Ориентировочные нормы расхода вольфрамовых электродов при аргонно-дуговой сварке приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Ориентировочные нормы расхода вольфрама при аргонно-дуговой сварке

Свариваемые материалы	Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр электрода, мм	Расход вольфрама на 100 м шва, г	
			Ручная сварка	Механизированная сварка
Алюминиевые и магнитные сплавы	1,0	1,5	8,3	3,9
	2,0	2,0	23,0	11,0
	4,0	3,6	88,0	39,0
	6,0	4,0	132,0	125,0
Конструкционные, нержавеющие и жаропрочные стали	0,5	1,0	6,0	2,8
	1,0	1,5	8,0	3,9
	2,0	2,0	23,0	11,0
	4,0	4,0	132,0	125,0

В качестве присадочного материала используют прутки, проволоку, полосу из того же алюминиевого сплава, что и свариваемый (наплавляемый) материал, либо применяют электродную проволоку, содержащую кремний Св-АК5, Св-АК10, Св-АК12 и др. (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Составы электродных проволок для сварки (наплавки) деталей из алюминия и его сплавов

Марка проволоки	Химический состав, %								
	Основные элементы		Примеси						
	Al	Si	Zr	Fe	Zn	Cu	Mg	Прочие примеси	Сумма примесей
Св-А97	≥99,97	–	–	0,015	–	0,005	–	0,01	0,03
Св-АК	остальное	4,5–6,0	–	0,6	–	0,2	–	0,1	1,0
Св-АК	–"	7,0–10,0	–	0,6	0,2	0,1	0,1	0,1	1,1
Св-АК	–"	11,5–13,5	0,05–0,25	0,3	–	0,2	–	0,1	0,6

Инертный газ аргон получают из воздуха методом ректификации в специальных разделительных колонках. Полученный таким образом сырой аргон содержит значительное количество примесей, в частности кислорода. Дальнейшая его очистка осуществляется беспламенным соединением кислорода с добавляемым водородом в присутствии катализаторов. В чистом аргоне в качестве примесей остается небольшое количество азота, кислорода и влаги. В табл. 3.5 приведены составы различных сортов аргона (А, Б, В), поставляемых для сварки.

Таблица 3.5

Химический состав различных марок аргона

Составляющие газа	Объемное содержание компонентов по маркам, %		
	А	Б	В
Аргон	≥99,99	≥99,96	≥99,90
Азот	≤0,01	≤0,04	≤0,10
Кислород	≤0,003	≤0,005	≤0,005
Влага (для не-сжатого газа), г/м ³ , не более	0,03	0,03	0,03

Аргон сорта А предназначен для сварки химически активных металлов (титана, циркония, ниобия), сплавов на их основе, а также для сварки алюминиевых сплавов плавящимся электродом. Аргон сорта Б используется для сварки неплавящимся электродом сплавов алюминия, магния и других материалов, чувствительных к примесям кислорода и азота. Аргон сорта В применяют для сварки нержавеющей сталей различных классов. Аргон, являясь более тяжелым, чем воздух, своей струей лучше защищает металл при сварке в нижнем положении. Растекаясь по поверхности свариваемого изделия, он защищает достаточно длительное время широкую и протяженную зону как расплавленного, так и нагретого при сварке металла.

Аргон поставляется в баллонах, в которые он нагнетается под давлением 15 МПа. Для исключения попадания воздуха и

влаги в баллоны их запрещается использовать до полного снижения избыточного давления. При наличии остаточного давления, равного 0,3–0,5 МПа, попадание в баллон влаги и воздуха маловероятно, и при последующем наполнении аргон будет иметь требуемую чистоту. Оборудование, режимы и техника сварки, применяемые при аргонно-дуговой сварке, во многом определяют качество восстановленных деталей. Для восстановления автомобильных деталей из алюминия и его сплавов используют специальные установки УДГ-301, УДГ-501, УДАР-500, работающие на переменном токе. Техническая характеристика первых двух установок приведена в табл. 3.6.

Таблица 3.6

**Техническая характеристика установок
аргонно-дуговой сварки и наплавки УДГ-301, УДГ-501**

Параметры установки	УДГ-301	УДГ-501
Род сварочного тока	Переменный	Переменный
Пределы регулирования напряжения дуги, В	8–20	8–20
Номинальный сварочный ток, А	300	500
Номинальный режим работы (повторность включения ПВ), %	60	60
Длительность цикла сварки, мин	10	10
Пределы регулирования сварочного тока, А	15–300	40–500
Диаметр неплавящихся электродов, мм	0,8–6	2–10
Расход аргона, дм ³ /мин	0,5–10	4–15

Для аргонно-дуговой сварки в зависимости от силы сварочного тока, диаметра неплавящегося электрода используют различные горелки с водяным и естественным охлаждением (табл. 3.7). Режимы аргонно-дуговой сварки алюминия и его сплавов определяются в первую очередь толщиной соединяемых металлов. При выборе режимов сварки можно руководствоваться данными табл. 3.8.

Таблица 3.7

Характеристика горелок аргонно-дуговой сварки *Al* и его сплавов

Тип горелки	Допустимый ток, А	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Масса горелки, кг
УДАР-300 (малая)	200	2–4	0,68
УДАР-300 (большая)	400	3–6	0,87
ГРАД-200	250	2–4	0,20
ГРАД-400	400	3–7	0,40
ЭЗР-3-58	200	2–4	0,68
АР-10 №1	120	1–3	0,35
АР-10 №2	200	2–4	0,40
АР-10 №3	400	3–8	0,50

Таблица 3.8

Режимы аргонно-дуговой сварки *Al* вольфрамовым электродом

Толщина детали, мм	Диаметр электрода, мм	Диаметр выходного отверстия сопла, мм	Сила сварочного тока, А	Расход аргона, л/мин	Напряжение, В
1	1	5	45–55	4–5	22–24
2	1–2	5–7	70–85	7–8	22–24
3	3	5–9	100–120	8–9	22–24
4	4	12–16	170–200	8–9	22–24
5	5	14–18	180–220	9–10	22–24
6	5	14–18	220–240	9–10	20–22
7–10	5	14–18	260–280	10–12	20–22

Аргонно-дуговую сварку выполняют наклонной горелкой углом вперед, угол наклона к поверхности изделия составляет 70–80°, а присадочную проволоку (см. табл. 3.4) подают под углом 10–30°. Дуга возбуждается замыканием электрода и металла угольным стержнем или кратковременным разрядом высокой частоты при помощи осциллятора. Диаметр отверстия сопла горелки должен соответствовать диаметру вольфрамового электрода. По окончании сварки дугу обрывают постепенно для за-

варки кратера. Это осуществляют при ручной сварке постепенным растяжением дуги, а при автоматической – специальным устройством заварки кратера, обеспечивающим плавное уменьшение сварочного тока. Длина сварочной дуги при сварке алюминия должна быть в пределах 1,5–3 мм, а ее диаметр должен составлять 0,8–1,5 диаметра электрода.

В ремонтном производстве используют для восстановления алюминиевых деталей аргоно-дуговую сварку плавящимся электродом (рис. 3.5, б). Сварка происходит с капельным и струйным переносом. С повышением тока капельный перенос металла электродной проволоки сменяется струйным и глубина проплавления увеличивается. Критическое значение тока, при котором капельный перенос сменяется струйным, составляет при сварке алюминия 70 А. Наиболее высокое качество сварки и наплавки плавящимся электродом обеспечивают универсальные сварочные полуавтоматы «Варио-Стар» производства СП «Фрониус-Факел». Компактные сварочные полуавтоматы обеспечивают высококачественную сварку как стальных (с использованием CO_2 ацидного газа), так и алюминиевых (с использованием аргона в качестве защитного газа) автомобильных деталей (рис. 3.6).



a

б

Рис. 3.6. Автомобильные диски: дефектный (*a*) и восстановленный наплавкой (*б*)

Техническая характеристика полуавтоматов «Варио-Стар» для сварки и наплавки плавящимся электродом приведена в табл. 3.9. Полуавтоматы «Варио-Стар» имеют широкий диапазон регулирования сварочного тока, напряжения и скорости подачи электродной проволоки (1–22 м/мин) и надежное электронное управление.

Сварку и наплавку в среде аргона используют при восстановлении блоков цилиндров из алюминиевых сплавов двигателей автомобилей ГАЗ-24-10, УАЗ-469А, ГАЗ-53, картера сцеплений и других деталей.

Таблица 3.9

**Техническая характеристика полуавтоматов
для сварки и наплавки**

Параметры установки	«Варио-Стар» 240	«Варио-Стар» 304	«Варио-Стар» 404
Напряжение питания, В	3×380/415	3×380/415	3×380/415
Сварочный ток, А	40–240		
ПВ, %	60		
Сварочное напряжение, В	16–17		
Число ступеней регулирования	10		
Диаметр электродной проволоки, мм	0,6; 1,0; 1,2	0,8; 1,0; 1,2	0,6; 1,0; 1,2; 1,6

При поступлении в ремонт блок цилиндров (материал – алюминиевый сплав АЛ-4) часто имеет дефекты в виде пробоин и трещин на стенках, обломы на фланцах крепления картера сцепления, масляного картера и на плоскости крепления головки блока, которые устраняются аргонно-дуговой сваркой.

Пробоины на стенках, не захватывающие перегородки, ребра жесткости и масляные каналы устраняют постановкой заплат, которые вырезают из листового алюминия АМЦ толщиной 1,5–2 мм. Приваривают заплату в четырех–пяти точках, после чего приваривают по всему периметру на установке Удар-500, Удар-300 или УДГ-301 для аргонно-дуговой сварки деталей.

Для сварки используют вольфрамовый электрод марки ВА-1А или ВП-1 диаметром 4–5 мм, применяют выходное сопло для аргона диаметром 9–12 мм, присадочный пруток из проволоки АЛ-4 выбирают диаметром 4–5 мм.

Режим работы следующий: сила тока – 180–250 А, расход аргона – 8–11 л/мин, давление – 0,02–0,04 МПа, полярность – обратная. Шов зачищают металлической щеткой, промывают горячей водой или содовым раствором. Качество сварки проверяют внешним осмотром и при наличии раковин или пор места, имеющие дефекты, переваривают. Испытание блока на герметичность проводят на стенде АКТБ-169 под давлением 0,2–0,3 МПа в течение 2 мин; при этом не допускают течи и отпотевания сварных швов. При приварке заплат и заварке пробоин, не захватывающих рубашку охлаждения, проверять герметичность можно керосином. При этом появление пятен керосина на поверхностях, покрытых меловым раствором, не допускается.

Трещины на стенках блоков цилиндров, не проходящие через масляные каналы и не выходящие на резьбовые отверстия шпилек поршневых подшипников, заваривают. Для этого разделяют трещину под углом 90° на глубину 3–4 мм по всей длине, применяя пневматическую шлифовальную машинку ИП-2009А и торцовую фрезу. Затем поворачивают блок в удобное для сварки положение, зачищают металлической щеткой поверхность вдоль трещины по ширине 25–30 мм, обезжиривают зачищенную поверхность уйат-спиритом или ацетоном и заваривают по всей длине аргонно-дуговой сваркой, ведя ее от середины к концам трещины. Заварку отверстий на концах трещины осуществляют после заварки трещины с усилением шва на 2–3 мм. При сварке блок поворачивают, обеспечивая нижнее положение сварочного шва. Способ сварки, режим очистки шва и проверка на герметичность, а также используемое оборудование те же, что для устранения пробоин.

Обломы на фланцах крепления картера сцепления масляного картера и на плоскости крепления головки блока устраняют двумя способами.

Первый способ удаления обломов – это приварка приставок, отрезанных из списанных блоков. Для определения формы и размера приставки обрубает зубилом неровные края облома. Отрезают ножовочным станком приставку из части списанного блока и подгоняют ее при помощи напильника к блоку с обломом для приварки встык. Зазор между приставкой и краями облома не должен превышать 2–3 мм. С наружной стороны облома и приставки под углом 45° делают фаски на глубину 3–4 мм и зачищают металлической щеткой поверхность вдоль краев облома и приставки по ширине. Обезжиривают зачищенную поверхность уайтспиритом или ацетоном. Прихватывают приставку в трех–четырех местах и приваривают аргоно-дуговой сваркой, начиная с мест, наиболее доступных для работы, с усилением шва на 3–4 мм. В процессе сварки блок поворачивают, обеспечивая нижнее положение сварочного шва. Используемое оборудование, режим сварки, очистки шва и проверка на герметичность указаны в дефекте для устранения пробоев на стенках блока.

Второй способ заключается в наплавке обломов по формующим шаблонам. Для наплавки наиболее часто встречающихся обломов изготавливаются стальные формующие шаблоны, восполняющие обломанную часть блока. Устанавливают шаблон на блок и наплавляют по нему место облома. Выдерживают блок до полного охлаждения наплавленного металла и снимают шаблон. Используемое оборудование, режим сварки, очистки шва и проверка на герметичность аналогичны первому способу.

Плюсы аргоно-дуговой сварки:

- отличное качество шва;
- можно пользоваться без присадок;
- выдерживание глубины проплавки;

- работа с неповоротными агрегатами;
- увеличение продолжительности работы готовых изделий.

Основным недостатком можно считать низкую производительность, которая характерна для ручного режима работы. Автоматическая сварка плохо применима на небольшой площади изделия и при создании швов в различных направлениях. Идеальным является комбинирование восстановления деталей ручной сваркой на начальных этапах процесса и автоматической (на конечных).

Для обозначения аргонно-дуговой сварки применяются следующие названия: РАД – ручная аргонно-дуговая сварка неплавящимся электродом; ААД – автоматическая аргонно-дуговая сварка неплавящимся электродом; ААДП – автоматическая аргонно-дуговая сварка плавящимся электродом; TIG (*Tungsten Inert Gas (Welding)*) – сварка вольфрамовым электродом в среде инертных газов; GTAW (*Gas Tungsten Arc (Welding)*) – газовая дуговая сварка вольфрамовым электродом.

В

Вибродуговая наплавка – разновидность дуговой наплавки, позволяющая за счет использования вибрации электрода и подачи в зону дуги охлаждающей жидкости (рис. 3.7) дополнительно воздействовать на свойства наплавляемого металла. Может проводиться в жидкой среде, среде защитных газов (аргон, углекислый газ и др.) и под флюсом.

При осуществлении процесса вибродуговой наплавки амплитуду колебаний (0,5–3 мм) электрода вдоль его оси и расстояние между электродом и наплавляемой поверхностью выбирают таким образом, чтобы при вибрации наблюдались короткие замыкания электрода на деталь. При коротком замыкании происходит принудительный перенос электродного металла на поверхность наплавляемого металла. Это стабилизирует процесс наплавки.

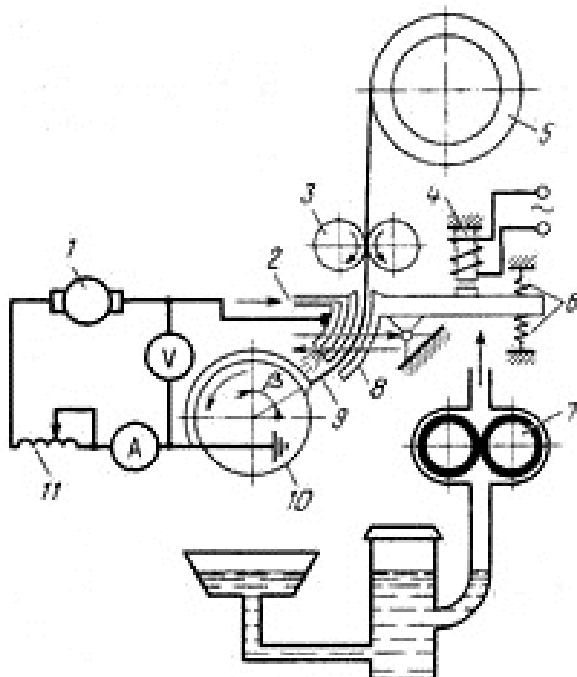


Рис. 3.7. Схема установки для вибродуговой наплавки:

1 – источник сварочного тока; 2 – штуцер для подачи охлаждающей жидкости; 3 – механизм подачи электродной проволоки; 4 – электро-вibrator; 5 – кассета с электродной проволокой; 6 – уравнивающие пружины; 7 – насос для по дачи охлаждающей жидкости; 8 – мундштук; 9 – электрод; 10 – наплавляемая деталь; 11 – дроссель

В зависимости от напряжения источника тока, индуктивности цепи, амплитуды колебаний в процессе наплавки можно выделить этап короткого замыкания, возбуждения и горения дуги и холостого хода, когда дуга гаснет, если напряжение на дуге оказывается недостаточным при данной длине дуги. При холостом ходе, когда в зоне наплавки теплота не выделяется, может произойти несплавление электродного металла в основном в момент короткого замыкания, т.е. нарушение процесса наплавки. По этой причине параметры процесса вибродуговой наплав-

ки подбирают таким образом, чтобы исключался холостой ход или чтобы его длительность позволяла на наплавляемой поверхности металла сохранить ванночку жидкого металла. Подобное ведение процесса создает условия для образования сварочной ванны между основным металлом и наплавляемым. Обычно идут по первому пути – исключают период холостого хода.

В процессе наплавки по концентрично расположенному относительно электрода соплу в зону дуги подается охлаждающая жидкость. Помимо этого, жидкость через дополнительное сопло подается и на наплавленный валик. В охлаждающую жидкость, как правило, вводят компоненты, повышающие стабильность горения дуги. Обычно используют 3–4-процентный водный раствор кальцинированной соды (Na_2CO_3). Применительно к сталям щелочной раствор в известной мере предохраняет наплавляемую деталь от коррозии. Охлаждающая жидкость в зоне наплавки защищает металл от атмосферы воздуха, но сама обладает окислительными свойствами. Это снижает коэффициент перехода элементов. Например, коэффициент перехода для углерода составляет 40–60%, для марганца 50–70%.

Особые условия формирования наплавленного слоя путем последовательного наложения валиков в условиях интенсивного охлаждения приводят к получению наплавленного металла со значительной структурной и механической неоднородностью. При наплавке проволокой из стали 60 твердость наплавленного металла изменяется в пределах 20–60 HRC.

Опыт эксплуатации показывает, что разброс твердости оказывает незначительное влияние на износостойкость соприкасающихся поверхностей. С помощью вибродуговой наплавки обычно осуществляют наплавку слоя металла толщиной 0,5–3 мм, в зависимости от величины которой с учетом силы тока выбирают диаметр электродной проволоки. Чем толще наплавляемый слой, тем берут больший диаметр проволоки. Так для наплавки слоя толщиной до 1 мм применяют проволоку диамет-

ром 1–1,6 мм, для слоя 2 мм нужен диаметр до 2,5 мм, а для слоя толщиной больше 2 мм диаметр 2–3 мм.

Преимуществом способа является возможность наплавки на детали диаметром 8–10 мм.

Режимы наплавки. Наплавку ведут постоянным током при обратной полярности. Сила тока определяется диаметром электродной проволоки и скоростью ее подачи при наплавке. Для проволоки диаметром 1,3–1,8 мм рекомендуется сила тока 100–200 А. На практике силу тока выбирают по величине его плотности. Так при диаметре электродной проволоки до 2 мм плотность тока принимается 60–75 А/мм², для проволоки большего диаметра – 50–70 А/мм². Наиболее рациональное напряжение при наплавке слоя толщиной до 1 мм – 12–15 В, при большей толщине – 15–28 В. Расход охлаждающей жидкости составляет для средне- и высокоуглеродистых, а также легированных сталей 0,3–0,5 л/мин, для малоуглеродистых – 1 л/мин. При наплавке тонких деталей из низкоуглеродистых сталей обычно расходуется 3–5 л/мин. Наплавка ведется по винтовой линии. После наплавки поверхность обрабатывают шлифованием, первоначально грубым (обдирочным), а затем чистовым под требуемый размер. При наплавке проволокой Св-08 поверхность легко обрабатывается резцами.

Оборудование для наплавки. Широкое распространение получили автоматические наплавочные головки типов УАНЖ-5, УАНЖ-6, ГМВК-2, ВГ-4, ВГ-8М и другие в сочетании со сварочными преобразователями (ПСО-300, ПСУ-300, ПСУ-500) и выпрямителями (ВС-400, ИПП-500, ВАГГ-15-600), а также токарно-винторезными станками типов 1А62, 1А64, 1Д63А и др. Для подачи охлаждающей жидкости используют систему охлаждения токарного станка или устанавливают насос с подачей 6–10 л/мин и бачок вместимостью охлаждающей жидкости до 100 м³. Токарные станки переоборудуют для того, чтобы получить частоту вращения детали в пределах от 0,5 об/мин до 20 об/мин.

Г

Газопламенная наплавка – на предварительно нагретую поверхность направляют пламя ацетиленовой горелки, но не доводят основной металл до расплавления, затем дают присадку и, расплавляя ее, наплавляют металл, добиваясь его растекания по нагретой поверхности. Основной металл обрабатываемой детали расплавляется на небольшую глубину. Для очистки наплавляемой поверхности от окислов применяют флюсы, как при сварке и пайке. Схема газопламенной наплавки представлена на (рис. 3.8.).

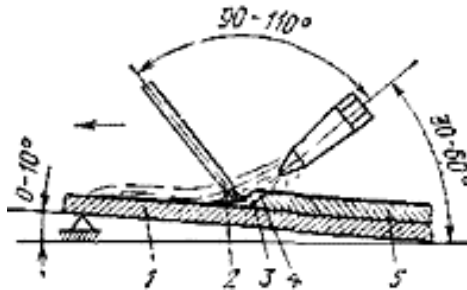


Рис. 3.8. Схема газопламенной наплавки: 1 – основной металл; 2 – присадочный пруток; 3 – жидкая ванна; 4 – пленка флюса; 5 – наплавленное покрытие

Газопламенную наплавку применяют в тех случаях, когда:

- обрабатываются детали небольших размеров;
- наплавляются металлы или сплавы с повышенной летучестью компонентов (преимущественно сплавов типа латуней).

Обработка больших деталей газопламенным способом применяется редко вследствие достаточно низкой производительности и большой зоны нагрева, из-за чего возможно коробление металла. Однако только этот метод позволяет получить однородную поверхность при наплавлении сплавов типа латуней. Кроме этого, у газопламенной наплавки существует такое преимущество, как большая регулируемость степени нагрева,

что позволяет легко изменять глубину наплавления. Наплавление меди и бронзы лучше всего производить электродуговыми методами. При наплавке газопламенным способом латуней на черные металлы, как правило, требуется применение флюсов. Наилучшие результаты при наплавке латуни на сталь и чугун достигаются при использовании газообразного флюса БМ-1. Обычно газопламенная наплавка выполняется левым способом в нижнем положении. Для уменьшения испарения цинка при наплавке латуни используется науглероживающее пламя. В качестве горючего газа применяется ацетилен, пропан-бутан и природные газы. В качестве наплавочного материала применяют все марки латуней, в которых содержание свинца не превышает 0,1%.

Поверхности наплавляемых деталей перед наплавкой зачищают до металлического блеска. Присадочный металл также очищается от загрязнений и окислов. При наплавке на крупногабаритные детали их подогревают до температуры 500 °С. Мощность ацетиленового пламени и диаметр присадочного прутка выбирают в зависимости от толщины наплавляемого слоя (табл. 3.10).

Таблица 3.10

Мощность ацетиленового пламени и диаметр присадочного прутка

Толщина слоя наплавки, мм	Диаметр присадочного прутка, мм	Мощность ацетиленового пламени, м ³ /ч
3–4	4–6	400–700
5–6	8–10	600–1100
6–7	10–12	1050–1750

Виды газопламенной наплавки. Наплавка бывает как однослойная, так и многослойная. При наложении последующих слоев оплавляется предыдущий слой на глубину около 30% его толщины. Флюс вводится в наплавочную ванну вручную. Поверхность металла перед нанесением флюса нагревают до температуры 900–950 °С. После нанесения флюса производят наплавку, первый слой наплавляют толщиной 0,3–0,5 мм.

Техника газопламенной наплавки латуни. Техника газопламенной наплавки латуни на сталь и чугун в основном одинакова. При наплавке чугуна необходимо учитывать, что при нагреве до температуры 900–950 °С на его поверхности происходит выгорание графита, продукты сгорания которого затрудняют смачивание. Поэтому графит вначале выжигают с поверхности наплавки. Выжигание производят окислительным пламенем горелки. Затем наплавляемую поверхность тщательно зачищают металлической щеткой. При наплавке чугуна латунью возможно также его отбеливание. Наплавка чугуна латунью с применением порошковых флюсов применяется в ограниченных случаях. При газопорошковой наплавке чугуна и стали деталь нагревают горелкой до температуры около 700 °С. Нагрев до 500 °С производится без подачи флюса в пламя горелки, далее только с флюсом. При газопорошковой наплавке флюс БМ-1 вводится в пламя горелки автоматически с помощью установки КГФ-371 (см. рис. 3.8).

Наплавляемую поверхность располагают под углом 8–10° к горизонтали. Наплавка выполняется левым способом снизу вверх. Угол наклона мундштука горелки к горизонтали составляет 30–60°, угол между мундштуком горелки и прутком – 90–110°. Конец прутка погружается в ванну жидкого металла. При нормальном процессе наплавки испарение цинка отсутствует, наплавляемый валик ложится компактно, часть ванны, не подвергающаяся воздействию пламени, закрыта сплошной пленкой шлака. Поверхность наплавленного металла должна быть гладкой и покрыта сплошной коркой шлаков. При наплавке последующих слоев процедура проводится по той же схеме, только может быть увеличен угол наклона между мундштуком и основным металлом. Так как наплавка с применением газообразного флюса ведется при низких температурах, то графит при наплавке чугуна не выгорает. При наплавке последующих слоев не требуется очистка и проковка предыдущих.

Газопламенная наплавка отличается от газопламенной резки или газопламенной сварки только наличием наплавляемого металла.

Газопламенная сварка – процесс, при котором плавление основного и присадочного материалов происходит в пламени открытой газопламенной горелки. Поддержание пламени горелки осуществляют подачей одного или нескольких горючих газов или жидкостей в смеси с кислородом. И хотя газопламенная сварка не позволяет достичь той же скорости и простоты, что и дуговая сварка, многие отдают ей предпочтение из-за больше мобильности и универсальности. При газовой сварке происходит сплавление двух заготовок с образованием сварного шва, который после остывания имеет такую же прочность, как исходный металл. Металл, соприкасаясь с пламенем и окружающим воздухом, подвергается структурным изменениям, характер которых зависит от свойств самого металла и режимов газопламенной обработки. При газопламенной обработке происходит изменение структуры металла, содержания в нем примесей и легирующих добавок, обогащение кислородом и другими газами, что, в свою очередь, может вызывать окислительные процессы.

В результате плавления металла под воздействием пламени образуется жидкая сварочная ванна, внутри которой происходят сложные физические и химические процессы. Одним из таких процессов является образование оксида железа (FeO), который реагирует с примесями, содержащимися в металле, и в первую очередь с кремнием и марганцем. При этом вредные примеси, содержащиеся в сварочной ванне, частично выводятся в сварочный шлак, а частично испаряются в атмосферу в виде газов. Для защиты сварочной ванны от атмосферного воздействия применяют те же методы, что и при дуговой сварке, – в первую очередь флюсы. Расплавленные флюсы вместе с вредными примесями образуют на поверхности сварочной ванны пленку, которая предохраняет жидкий металл от контакта с атмосферным воздухом и газами, содержащимися в пламени горелки, а остывая, превращается в корку шлака.

Газопламенная обработка металла, выполняемая при газовой сварке, способствует повышению температуры основного и присадочного материалов, достаточной для плавления металлов

в пределах границ раздела со сварочной ванной. В результате этого в сварочной ванне присутствуют два вида металлов (основной и присадочный), которые перемешиваются между собой, а под действием флюсов и газов, содержащихся в пламени и атмосферном воздухе, взаимодействуют с ними, изменяя свои свойства и состав. По мере удаления от эпицентра пламени температура металла снижается и возникают процессы кристаллизации, образуя сварочный шов. При этом структура шва имеет вытянутые укрупненные и направленные к центру кристаллы (рис. 3.9).

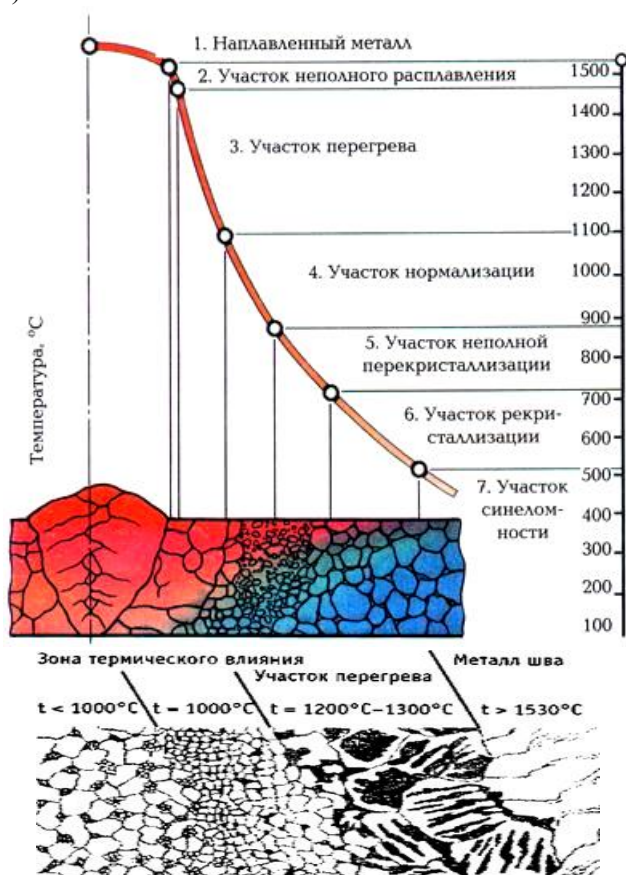


Рис. 3.9. Структура сварочного шва

Сварочное пламя образуется в результате сгорания горючих газов или паров горючих жидкостей в смеси с техническим кислородом. При этом пламя имеет сложную структуру, которая показана на рис. 3.10, *a*.

Качество газовой сварки во многом зависит от правильности регулировки пламени, которое сварщик по форме и цвету выставляет приблизительно («на глаз»). Поэтому очень важно знать строение пламени газовой горелки, чтобы учитывать это в повседневной работе. Форму, цвет и структуру пламени горелки меняют соотношением ацетилена и кислорода, подаваемых в зону горения.

Ядро ацетилено-кислородного пламени имеет форму цилиндра с заостренным концом, вокруг которого расположена ярко светящаяся оболочка. Длина ядра пламени регулируется скоростью подачи газовой смеси и ее качественным составом. Диаметр ядра зависит от размеров мундштука и расхода горючей смеси. Строение пламени меняется при изменении соотношения смеси и бывает: нормальным, науглероженным и окислительным (рис. 3.10).

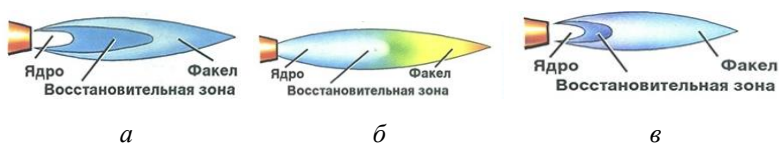
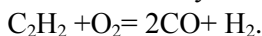


Рис. 3.10. Разновидности ацетилено-кислородного пламени: *a* – нормальное; *б* – науглероживающее; *в* – окислительное

Нормальное пламя (рис. 3.10, *a*) получается, когда на один объем горючего газа подается один объем кислорода. Если в качестве горючего газа принят ацетилен, то процесс его нормального сгорания можно записать в следующем виде:



При этом продукты неполного сгорания догорают за счет кислорода, присутствующего в атмосфере.

Так как абсолютно чистых веществ в природе не бывает и кислород содержит в себе некоторое количество примесей, то

нормальное пламя получается при соотношении ацетилена и кислорода, равном 1,1–1,2. Ядро нормального пламени светлое со слегка затемненной восстановительной зоной и факелом. По форме ядро пламени напоминает цилиндр с четкими очертаниями и закругленным концом. Диаметр цилиндра зависит от размера мундштука сварочной горелки, а его длина определяется скоростью истечения газовой смеси. Вокруг ядра пламени размещается светлая оболочка, в которой происходит сгорание раскаленных частиц углерода. При высокой скорости подачи газа пламя способствует сгоранию металла и выдуванию его из сварочной ванны. Малая скорость подачи газов чревата обратными ударами и хлопками.

Восстановительная зона пламени более темного цвета и располагается в пространстве в пределах 20 мм от конца ядра. Температура пламени в этой зоне может достигать 3 150 °С (при сгорании ацетилена). Размер восстановительной зоны зависит от номера сварочного мундштука. При помощи этой зоны пламени нагревают металл, плавят его и ведут сварку. Остальная часть пламени, расположенная за восстановительной зоной, состоящая из углекислого газа, паров воды и азота, имеет значительно меньшую температуру.

Науглероживающее пламя получается, когда соотношение ацетилена и кислорода становится больше значения 1,1 (рис. 3.10, б). Теоретически науглероживающее пламя получается, когда в горелку подается кислород объемом 0,95 и менее. В этом случае ядро пламени увеличивается в объеме и теряет свои очертания. Недостаток кислорода приводит к неполному сгоранию ацетилена в пламени и оно начинает коптить. Избыток ацетилена способствует его разложению в пламени на углерод и водород. Углерод из пламени переходит в металл, науглероживая его. Обычно науглероживающее пламя применяют для сварки алюминия и для наплавки твердых сплавов.

Восстановительная зона науглероживающего пламени светлая и практически сливается с ядром. Температура такого пламени ниже, поэтому работать с ним более тяжело. Для перевода пламени в нормальное состояние увеличивают подачу кислорода или снижают подачу ацетилена.

Окислительное пламя получается при недостатке ацетилена, т.е. соотношение ацетилен–кислород становится меньше 1,1 (рис. 3.10, б). Практически окислительное пламя получается при объеме кислорода, превышающем в 1,3 объем ацетилена. Ядро такого пламени укорачивается и заостряется, а его края становятся расплывчатыми, цвет бледнеет. Температура такого пламени выше температуры обычного. Избыточный кислород окисляет железо и примеси, находящиеся в стали, что в конечном итоге приводит к хрупкости сварочного шва, пористости его структуры, обедненной марганцем и кремнием. Поэтому при сварке сталей окислительным пламенем пользуются присадочной проволокой с повышенным содержанием этих элементов, являющихся раскислителями. Самая высокая температура нормального пламени достигается в восстановительной зоне.

Газовое сварочное ацетилено-кислородное нормальное пламя имеет форму и распределение температуры в нем, схематически показанные на рис. 3.11, а. Изменения температуры окислительного и науглероживающего пламени относительно нормального пламени представлено на рис. 3.11, б.

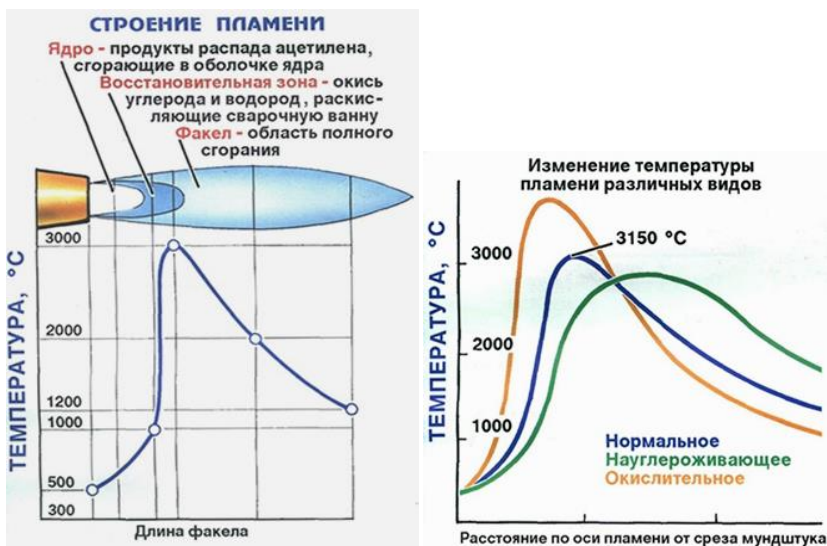


Рис. 3.11. Распределение температуры по оси нормального газового пламени

Во внутренней части ядра пламени 1 происходит подогрев до температуры воспламенения газовой смеси, поступающей из сопла. В наружной оболочке ядра происходит частичный распад ацетилена. Выделяющиеся частицы углерода раскалены, ярко светятся, четко выделяя очертания оболочки ядра (температура газов в ядре невелика и не превышает 1 500 °С). Зона 2 является наиболее важной частью сварочного пламени (сварочной зоной). В ней происходит первая стадия сгорания ацетилена за счет кислорода, поступающего в сопло из баллона, в результате чего здесь развивается максимальная температура. Содержащиеся в сварочной зоне газы по отношению к оксидам многих металлов, в т.ч. и к оксидам железа, обладают восстановительными свойствами. Поэтому сварочную зону можно назвать восстановительной. Содержание углерода в металле шва изменяется незначительно. В зоне 3 или факеле пламени протекает догорание газов за счет кислорода воздуха, что отражает состав газов в факеле. Содержащиеся в факеле газы и продукты их диссоциации окисляют металлы, т.е. эта зона является окислительной. Вид ацетилено-кислородного пламени зависит от соотношения в газовой смеси подаваемой в горелку O_2 и ацетилена, которое называется коэффициентом β .

Ввод тепла в изделие при газовой сварке происходит по большей площади пятна нагрева. Источник тепла менее сконцентрирован, чем при других способах сварки плавлением. В результате обширной площади разогрева основного металла околошовная зона (зона термического влияния) имеет большие размеры, что приводит к образованию повышенных деформаций сварных соединений (коробление).

При газовой сварке на металл сварочной ванны активно воздействует газовая фаза всего пламени и особенно сварочной зоны, содержащей в основном $CO + H_2$ и частично пары воды, а также CO_2 , H_2 , O_2 и N_2 и некоторое количество свободного углерода. Состав газовой фазы определяется соотношением кислорода и горючего газа в газовой смеси, температурой пламени и

различен в ее различных зонах. От этого зависят металлургические взаимодействия газовой фазы с металлом сварочной ванны. Основные реакции при сварке – это окисление и восстановление. Направление реакции зависит от концентрации кислорода в газовой фазе (окислительное и науглероживающее пламя), температуры взаимодействия и свойств оксида. При сварке сталей основное взаимодействие газовой фазы происходит с железом – это процессы образования оксидов железа или процессы его восстановления. Элементы, имеющие большее, чем железо сродство с кислородом (*Al, Si, Mn, Cr* и т.д.) могут интенсивно окисляться тогда, когда реакций окисления железа не проходит, и легко окисляются не только в чистом виде, но и находясь в виде легирующих добавок, причем чем выше их содержание, тем окисление интенсивнее. Окисление таких элементов, как *Al, Ti, Mg, Si* и некоторые другие, вообще исключить не удастся. И для уменьшения их угара следует помимо регулирования состава газовой смеси использовать флюсы.

Ввиду относительно невысокого защитного и восстановительного действия пламени раскисление металла в сварочной ванне при сварке сталей достигается введением в нее через присадочную проволоку марганца, кремния и других раскислителей. Их действие основано на образовании жидкотекучих шлаков, способствующих самофлюсованию сварочной ванны. Образующиеся на поверхности сварочной ванны шлаки защищают расплавленный металл от кислорода, водорода и азота, газовой среды пламени и подсосываемого воздуха. Содержащийся в пламени водород может растворяться в расплавленном металле сварочной ванны. При кристаллизации металла часть не успевшего выделиться водорода может образовать поры. Азот, попадающий в расплавленный металл из воздуха образует в нем нитриды. Структурные превращения в металле шва и околошовной зоне при газовой сварке имеют такой же характер, как и при других способах сварки плавлением. Однако вследствие медленного нагрева и охлаждения металл шва имеет крупнокристаллическую структуру с равновесными, неправильной формы

зернами (см. рис. 3.9). При сварке сталей с содержанием 0,15–0,3 углерода в сварочном шве при быстром его охлаждении может образовываться видманштеттовая структура. Чем выше скорость охлаждения металла, тем мельче в сварочном шве зерно и тем выше механические свойства металла шва. Поэтому сварку следует производить с максимально возможной скоростью.

Зона термического влияния состоит из тех же характерных участков, что и при дуговой сварке. Однако ширина этой зоны значительно больше (при сварке стали больших толщин до 30 мм) и зависит от режима газовой сварки.

В процессе сварки происходит расплавление основного и присадочного металлов. Регулирование степени их расплавления определяется мощностью горелки, толщиной металла и его теплофизическими свойствами. Газовой сваркой выполняют сварные соединения различного типа.

Металл толщиной < 2 мм соединяют встык без разделки кромок и без зазора или, что лучше, с отбортовкой кромок без присадочного металла. Металл толщиной 2–5 мм с присадочным металлом сваривают встык без разделки кромок с зазором между кромками (рис. 3.12).

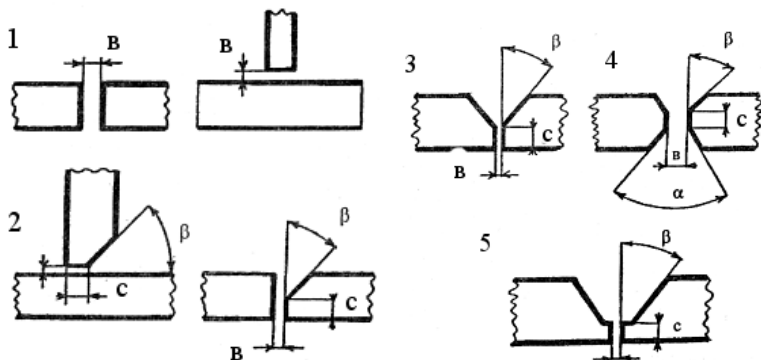


Рис. 3.12. Конструктивные элементы разделки кромок под сварку: в – зазор; с – притупление; β – угол скоса кромок; α – угол разделки кромок; 1 – без разделки кромок; 2 – с разделкой кромок одной детали; 3 – V-образная разделка; 4 – X-образная разделка; 5 – U-образная разделка

При сварке металла толщиной > 5 мм используется V- или X-образная разделка кромок, тогда как тавровые и нахлесточные соединения допустимы только для металла толщиной < 3 мм (рис. 3.13). При большой толщине неравномерный разогрев приводит к существенным деформациям, остаточным напряжениям и возможности образования трещин. Свариваемые кромки зачищают механическими способами или газовым пламенем от загрязнений на 30–50 мм. Перед сваркой детали сварного соединения закрепляются в сборочно-сварочном приспособлении или собираются с помощью коротких швов прихваток.

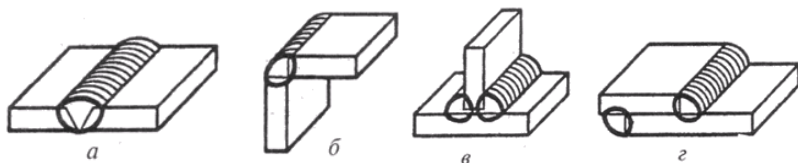


Рис. 3.13. Типы сварочных соединений: стыковые (а), угловые (б), тавровые (в) и нахлесточные (г)

Направление движения горелки и наклон ее к поверхности металла оказывает большое влияние на эффективность нагрева металла, производительность сварки и качество шва. Различают два способа сварки: правый и левый (рис. 3.14).

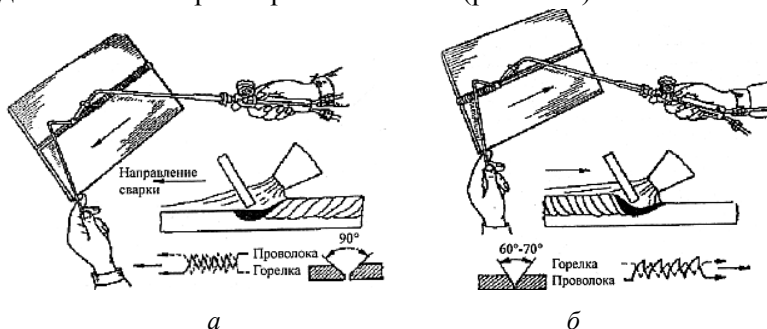


Рис. 3.14. Левый (а) и правый (б) способ сварки:
 для а: 1 – заготовка; 2 – присадочный пруток; 3 – газовая горелка; 4 – газовое пламя; 5 – сварной шов; для б: 1 – газовое пламя; 2 – сварной шов; 3 – присадочный пруток; 4 – газовая горелка; 5 – заготовка

Внешний вид шва лучше при левом способе сварки, т.к. сварщик видит процесс образования шва. При толщине металла до 3 мм более производительным является левый способ сварки ввиду предварительного подогрева кромок. Однако при большой толщине металла при сварке с разделкой кромок угол скоса кромок при правом способе сварки на 10–15° меньше, чем при левом. Угол наклона мундштука также может быть на 10–15° меньше. В результате повышается производительность сварки.

Тепловое воздействие пламени на металл зависит от угла наклона оси пламени к поверхности металла (рис. 3.15). Угол наклона мундштука сварочной горелки увеличивают с увеличением толщины свариваемого металла. При этом диаметры пятен нагрева сварочного пламени с увеличением толщины свариваемого металла резко уменьшается. Если сваривают цветные металлы, теплопроводность которых выше стали, то угол наклона мундштука немного увеличивают.

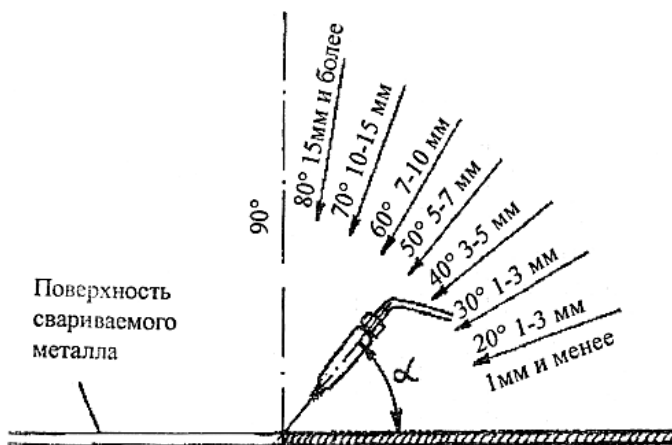


Рис. 3.15. Применяемые углы наклона газовой горелки в зависимости от толщины металла

В процессе сварки горелке сообщаются колебательные движения и конец мундштука описывает зигзагообразный путь.

Горелку сварщик держит в правой руке. При использовании присадочного металла присадочный пруток держится в левой руке. Присадочный пруток располагается под углом 45° к поверхности металла. Оплавляемому концу присадочного прутка сообщают зигзагообразные колебания в направлении, противоположном движению мундштука (рис. 3.16). Газовая сварка может производиться в нижнем, вертикальном и потолочном положениях. При сварке вертикальных швов «на подъем» процесс удобнее вести левым способом, при сварке горизонтальных и потолочных – правым способом.

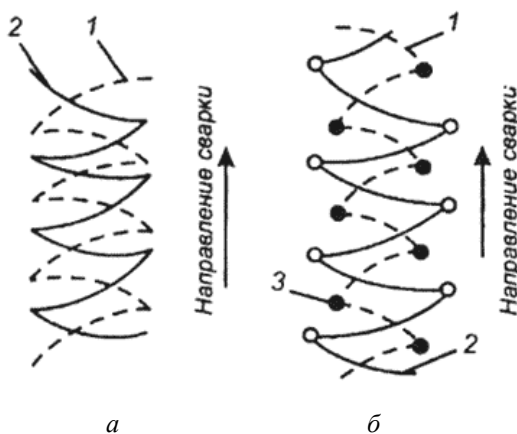


Рис. 3.16. Движения горелки и проволоки:

- а* – при сварке стали толщиной >3 мм в нижнем положении;
- б* – при сварке угловых валиковых швов; 1 – движение проволоки;
- 2 – движение горелки; 3 – места задержек движения

При необходимости использования флюса он наносится на свариваемые кромки или вносится в сварочную ванну оплавляемым концом присадочного прутка (налипающим на него при погружении во флюс). Флюсы могут использоваться и в газообразном виде при подаче их в зону сварки с горючим газом.

Д

Дуговая сварка и наплавка ручная применяются для заварки трещин в блоках и головках цилиндров, картерах, для восстановления сварных швов в рамах и корпусах, заварки отверстий, приварки отломанных частей и добавочных деталей. Ручная дуговая наплавка применяется для наплавки изношенных поверхностей отверстий, валов, осей, ножей отвалов, щек дробилок, звездочек и т. д. Ручная дуговая сварка и наплавка осуществляются неплавящимися (угольными, графитовыми или вольфрамовыми) и плавящимися (металлическими) электродами. Сварка и наплавка неплавящимися электродами имеют ограниченное применение, используются только при сварке цветных металлов и наплавке изношенных поверхностей твердыми сплавами. В ремонтном производстве широко применяется дуговая сварка и наплавка плавящимися металлическими электродами.

Для повышения производительности труда и снижения расхода электроэнергии в ремонтном производстве применяются высокопроизводительные методы ручной дуговой сварки и наплавки пучком электродов и трехфазной дугой. Сварка и наплавка пучком электродов применяется тогда, когда требуется наплавлять большое количество металла. Сущность этого метода состоит в следующем. Несколько обычных, с качественным покрытием-обмазкой электродов складывают вместе и скрепляют проволокой. Контактные концы сваривают и вставляют в электродержатель. В этом случае получается блуждающая дуга, так как горит она попеременно между отдельными электродами и поверхностью детали (рис. 3.17).

Дуга возбуждается на том электроде, который ближе к свариваемому изделию. По мере проплавления дуга переходит от одного электрода к другому. При таком методе электрод нагревается значительно меньше, что позволяет работать при больших токах. Например, при трех электродах диаметром 3 мм допустимый сварочный ток достигает 300 А. Сварка и наплавка

пучком электродов может выполняться на повышенном токе и увеличивает производительность в 1,5–2 раза. Коэффициент наплавки электродов увеличивается, так как стержни электродов все время подогреваются теплотой дуги. Однако пучком электродов невозможно обеспечить хороший провар корня шва. Поэтому приходится предварительно одиночным электродом проваривать корень разделки и затем производить сварку шва пучком электродов. Этот метод дает высокую производительность при наплавочных работах, на 20–30% снижает расход электроэнергии за счет лучшего использования тепла дуги. Кроме того, значительно уменьшается местный нагрев детали, вследствие чего деталь меньше подвергается короблению.

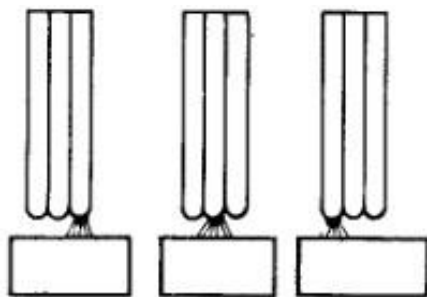


Рис. 3.17. Схема горения дуги в пучке электродов

Если требуется наплавлять большой объем металла применяется сварка и наплавка трехфазной дугой. Этим методом сваривают детали из низколегированных и легированных сталей большой и средней толщины, а также ведут наплавку твердых сплавов. Сварка трехфазной дугой осуществляется двумя электродами, изолированными друг от друга (рис. 3.18, *a*). К электрододержателю подводят две фазы источника тока, а третью фазу подводят к свариваемому изделию. Возбуждаются и одновременно горят три сварочные дуги: по одной между каждым электродом и изделием и третья между электродами. Такая схема значительно повышает устойчивость горения дуги, улучшает степень использования теплоты дуги и позволяет снизить

напряжение холостого хода. Для сварки применяют электроды марок ЦМ-7, ОММ-5, УОНИ-13.

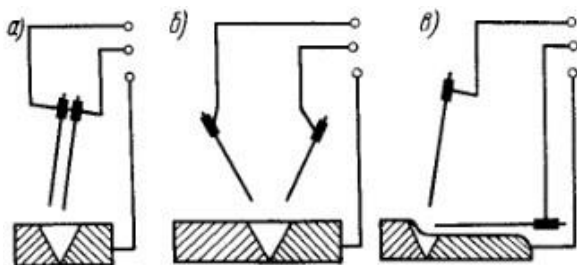


Рис. 3.18. Схемы дуговой сварки трехфазной дугой [17]

При дуговой сварке трехфазной дугой применяют также следующие схемы: сварку двумя одинарными электрододержателями (рис. 3.18, б); сварку одним одинарным электрододержателем и вторым электродом, уложенным в разделку шва изолированно от свариваемого изделия (рис. 3.18, в); сварку пучком электродов, из которых только два токоведущие, а остальные холостые (т. е. не включены в сварочную цепь и расплавляются от теплоты дуги). Сварка трехфазной дугой применима при любых соединениях в нижнем и наклонном положениях. Такой метод особенно можно рекомендовать для сварки в нижнем положении и «в лодочку» угловых и тавровых соединений. Вследствие выделения большого количества тепла производительность сварки (наплавки) трехфазной дугой по сравнению с однофазной увеличивается в 2–3 раза. При диаметре стержней электрода 6 мм и трехфазной дуге можно наплавить до 8 кг металла в час. Питание дуги производится от специальных трансформаторов типа 3-СТ и ТТС-400.

Процесс сварки и наплавки металла состоит из трех этапов: подготовки деталей, сварки (наплавки), зачистки.

Подготовка деталей. Если поверхности, подлежащие сварке или наплавке, загрязнены или покрыты ржавчиной, в

наплавленном металле будут образовываться шлаковые включения, непровар, трещины. Газовые поры появляются в наплавленном металле, если поверхность покрыта маслом или влагой. Эти дефекты значительно ухудшают качество сварки (наплавки) или приводят к браку. Поэтому все детали, поступающие на сварку или наплавку, тщательно очищают от грязи, ржавчины и других загрязнений. Затем детали обезжиривают в горячих растворах, моют в горячей воде и сушат. Наплавляемую или свариваемую поверхность желателно очистить до металлического блеска пескоструйной обработкой, стальными щетками, абразивными кругами или резцом. Если поверхности отверстий или валов имеют неравномерный износ, превышающий 0,5 мм на сторону, то такие поверхности протачивают резцом. Это связано с тем, что рабочая поверхность детали с небольшим износом, если ее предварительно механически не обработать, после наплавки может оказаться в переходном слое, который имеет пониженные механические свойства. Изношенные или поврежденные резьбы (внутренние и наружные) перед наплавкой необходимо срезать для того, чтобы в углубления старой резьбы не попадал шлак, т.к. загрязнения между гребнями резьбы трудно очистить. В противном случае при наплавке могут образовываться шлаковые включения или поры, снижающие качество наплавленного металла. Имеющиеся на наплавленной поверхности отверстия, шпоночные пазы и канавки заделывают медными графитовыми вставками, которые после наплавки удаляют. Трещины подготавливают к сварке путем разделки кромок при помощи шлифовального круга на гибком валу. Для этого может быть использовано зубило. При толщине стенок детали до 5 мм разделку можно не производить, а ограничиться зачисткой, прилегающей к трещине с каждой стороны поверхности шириной 15–20 мм. При большой толщине стенок (до 12 мм) трещины разделяют V-образно. Если толщина стенок свариваемой детали более 12 мм, трещину разделяют с двух сторон X-образно. Концы трещин рекомендуется засверливать, чтобы при сварке они не распространялись дальше.

Сварка и наплавка металла. Для получения доброкачественного сварного соединения или заданного качества наплавленного слоя при восстановлении деталей первостепенное значение имеет правильный выбор типа и марки электрода, а также режимов сварки (наплавки). Выбор электрода зависит от характера устраняемого дефекта, марки материала (сталь, чугун, алюминий), из которого изготовлена деталь, и требований к наплавленному слою.

При заварке трещин или поломок обычно применяют сварочные электроды. Они подразделяются на ряд типов от Э-34 до Э-145. Основной характеристикой каждого типа является временное сопротивление разрыву сварного соединения. Оно указывается в наименовании типа электрода. Например, электроды типа Э-42 дают сварное соединение, имеющее временное сопротивление разрыву, равное 4,2 МПа. К каждому типу может относиться несколько марок электродов. Например, к типу Э-42 относятся электроды марок ОЗЦ-1,0ММ-5; к типу Э-42А – электроды ЦМ-8, УОНИ-13/45П, ОЗС-3; к типу Э-46 – ОЗС-4, АНО-3, АНО-4; к типу Э-50А – электрод УОНИ-13/55 и др. Перечисленные типы электродов применяются для сварки мало- и среднеуглеродистых сталей. Стержни всех электродов изготовлены из проволоки Св-08 диаметром от 1,6 мм до 12 мм. Типы и марки электродов отличаются друг от друга покрытием (обмазкой). Электроды с меловой обмазкой, состоящей из 70–80% молотого мела и 20–30% жидкого стекла, относятся к типу Э-34. Меловая обмазка является только стабилизирующей, т.е. способствующей устойчивому горению дуги. Остальные типы и марки электродов имеют качественную обмазку. Эта обмазка, кроме стабилизирующих, содержит защитные, шлакообразующие и газообразующие, а иногда раскисляющие и легирующие элементы. Условное обозначение типов составов покрытий: Р – руднокислое, Т – рутиловое, Ф – фтористо-кальциевое, О – органическое. Полное условное обозначение электрода по ГОСТу содержит последовательно марку и тип электрода, его диаметр, состав по-

крытия и номер ГОСТа. Например, электрод ЦМ-7 диаметром 5 мм, относящийся к типу Э-42 и имеющий руднокислое покрытие, обозначают как ЦМ-7-Э-42-5-Р-ГОСТ 9467-75.

Сварка малоуглеродистых (с содержанием углерода до 0,20%), а также низколегированных сталей, например: марок 15Х, 20ХНА, 20Х, 30Х не встречает трудностей.

Углеродистые и легированные стали со средним и высоким содержанием углерода свариваются труднее и склонны к образованию пор и трещин, поэтому при сварке и наплавке средне-, высокоуглеродистых и легированных сталей требуется предварительный подогрев деталей. При содержании углерода от 0,2% до 0,3% детали рекомендуется подогревать до температуры 100–150 °С, от 0,3% до 0,45% – до 150–250 °С, от 0,45 до 0,80% – до 250–400 °С. При восстановлении изношенных деталей дуговой наплавкой выбор электродов зависит от марки стали наплавляемой детали с необходимой твердостью и износостойкостью наплавленного слоя.

Наплавку изношенных поверхностей деталей, которые изготовлены из малоуглеродистой стали и не подвергаются термической или химико-термической обработке, можно проводить сварочными электродами. При наплавке деталей из среднеуглеродистых и легированных сталей (например, сталей марок 30, 35, 45, 30Х, 40Х), закаленных, а также из малоуглеродистой стали, но с цементированной поверхностью, должны применяться специальные наплавочные электроды или твердые сплавы. ГОСТ 10051-75 устанавливает ряд типов наплавочных электродов, различаемых по химическому составу наплавленного слоя. Обозначение типа электрода расшифровывается следующим образом: аббревиатура «ЭН» означает «электрод наплавочный», затем указываются основные химические элементы, входящие в состав наплавленного слоя, и их среднее содержание в процентах. Обозначение химических элементов общепринятое: У – углерод, С – кремний, Г – марганец, Н – никель и т.д. Сначала указывается содержание углерода. При этом если в обозна-

чении типа электрода имеется буква «У», то содержание углерода дано в десятых долях процента, а если она отсутствует – в сотых долях.

Последние цифры указывают твердость слоя (HRC). Например, обозначение типа электрода ЭН-14Г2Х-30 означает: электрод наплавочный, в наплавленном слое содержится 0,14% углерода, 2% марганца, 1% хрома, твердость слоя – 30 HRC.

Указания на твердость наплавленного слоя (НВ) содержатся иногда и в обозначениях марки электрода, например, электрод ОЗН-300, Т-590 и др. Типам электродов соответствуют определенные марки электродов. Полное условное обозначение наплавочного электрода содержит его марку, тип, диаметр и ГОСТ. Например, электрод марки ОЗН-300 типа ЭН-15ГЗ-25 диаметром 5 мм будет иметь обозначение: ОЗН-300-ЭН-15ГЗ-25,5,0 – ГОСТ 10051-75 и ГОСТ 9466-75. Стержни наплавочных электродов изготовливают как из углеродистой, так и из легированной сварочной проволоки. Легирующие элементы вводят в наплавленный слой как из материала покрытия и материала стержня, так и только из материала покрытия.

Наиболее широкое применение для наплавки деталей дорожных машин нашли электроды марок ОЗН-300 (тип ЭН-15ГЗ-25), ОЗН-400 (тип ЭН-20Г4-40); для наплавки деталей из высокомарганцовистой стали ПЗ – электроды ОМГ-Н (тип ЭН-70ХН-25); для наплавки быстроизнашивающихся деталей, которые работают в условиях абразивного изнашивания, – электроды марок Т-590, Т-620, ЦС-1, ЦС-2 и др. В последние годы для получения наплавленных слоев высокой твердости применяют трубчатые наплавочные электроды ЭТН-1, ЭТН-2, ЭТН-3, ЭТН-4. В качестве наполнителя используют твердые сплавы, чаще всего сормайт, ферросплавы, карбид вольфрама. Для холодной сварки (наплавки) деталей из чугуна применяют электроды марок ОМЧ-1, МСТ, МНЧ-1 ЦНИИВТ, ЦЧ-3А, АНЧ-1 и др. Для сварки чистого алюминия применяют электроды марки ОЗА-1, а для сварки его сплавов – ОЗА-2.

Основными параметрами режимов сварки и наплавки являются: род тока и полярность, диаметр электродной проволоки, величина сварочного тока и напряжение дуги. Дуговая сварка и наплавка металла может производиться постоянным или переменным током. На постоянном токе дуга горит более устойчиво. Сварку (наплавку) на постоянном токе можно вести на прямой и обратной полярности. При сварке (наплавке) на прямой полярности к детали присоединяют «плюс» источника тока, а к электроду – «минус». На обратной полярности наоборот. Тепло электрической дуги распределяется (примерно) следующим образом: положительный полюс – 43%, отрицательный полюс – 36% и электрическая дуга – 21%. Это необходимо учитывать при выборе полярности. Обычно к детали подключают положительный полюс в тех случаях, когда она имеет большую массу и требует значительного количества тепла для нагрева. Детали, имеющие небольшую массу или толщину (<3 мм), сваривают при обратной полярности. При сварке переменным током на электродах выделяется примерно одинаковое количество тепла.

Диаметр электрода при сварке выбирают в зависимости от толщины свариваемого материала (табл. 3.11). Величина тока устанавливается в зависимости от диаметра электрода. Для сварки стали в нижнем положении необходимую величину тока можно выбрать по данным табл. 3.11. При сварке вертикальных и потолочных швов величина сварочного тока принимается на 10–20% меньше, чем при сварке в нижнем положении.

Таблица 3.11

Выбор величины тока для сварки стали в нижнем положении

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А
1	2	20–30	8–12	5	210–230
2	2–3	40–70	16–20	5–6	240–280
3	3	70–120	>20	6	260–300
4–6	4	140–150			

Диаметр электрода при наплавке подбирают в зависимости от толщины наплавляемого слоя. Величину тока принимают в зависимости от выбранного диаметра электрода примерно такую же, как и при сварке, ближе к нижнему значению. Наплавку следует вести короткой дугой с перекрытием соседних валиков на 30–50%, причем электрод должен быть наклонен под углом 15–20° к вертикали по направлению движения. Наплавку рекомендуется проводить, сочетая перемещение электрода в направлении наплавки с поперечным колебанием его таким образом, чтобы ширина валика равнялась примерно 2,5 диаметра электрода. Устойчивое горение дуги при сварке (наплавке) металлическим электродом происходит при напряжении 18–28 В, а угольным или графитовым – при 30–35 В.

Зачистка сварных швов и наплавленных поверхностей производится металлическими щетками с целью удаления с их поверхностей шлака и металлической брызги.

Оборудование для сварки и наплавки. В качестве источников питания электроэнергией при ведении дуговой сварки и наплавки применяют сварочные трансформаторы переменного тока, преобразователи и выпрямители постоянного тока. Наибольшее распространение получили сварочные трансформаторы типов ТС-120, ТС-300, ТС-500, ТСК-300, ТСК-500 (число обозначает величину номинального сварочного тока). Сварочный преобразователь представляет собой агрегат, состоящий из сварочного генератора постоянного тока и двигателя, вращающего генератор. Наибольшее распространение имеют преобразователи типов ПСО-120, ПСО-300, ПСО-500, ПСО-800. Для ручной дуговой сварки (наплавки) в последнее время применяют выпрямители ВСС-120-4, ВСС-300-3 (селеновые), ВКС-120, ВКС-300, ВКС-500 (кремниевые).

М

Металлизация заключается в нанесении струей воздуха или сжатого инертного газа на специально подготовленную по-

верхность детали частиц расплавленного металла размером от 3 мкм до 300 мкм и со скоростью 100–300 м/с. Напылять частицы металла можно на поверхность детали любой конфигурации. Металлизация позволяет получить слой металла толщиной от 0,03 мм до 10 мм и более (обычно 1–1,5 мм для тугоплавких и 2,5–3 мм для легкоплавких металлов). Нанесенное покрытие представляет собой пористый, хрупкий слой металла сравнительно высокой твердости и низкой механической прочности. Слой хорошо пропитывается смазкой и в условиях небольших нагрузок имеет высокую износостойкость. Но при больших нагрузках на сдвиг и сжатие (зубья шестерен, шлицы, кулачки распределительных валов, шпоночные канавки, резьбы), а также в условиях полного отсутствия смазки (поверхности сцепления, тормозные барабаны, ковши экскаваторов, ножи бульдозеров) металлизационное покрытие быстро разрушается. Поэтому восстанавливать такие детали металлизацией нельзя. Рекомендуется восстанавливать металлизацией сильно изношенные стальные валы, работающие в условиях хорошей смазки при безударной нагрузке (тормозные валы, валы вентиляторов, коренные шейки коленчатых валов), изношенные места поверхности деталей под неподвижные посадки шариковых и роликовых подшипников. Металлизацией можно также заделывать трещины на ненагруженных элементах чугунных деталей (в рубашках охлаждения, головках цилиндров (рис. 3.19) и т.п.).

Технологический процесс металлизации состоит из нескольких этапов.

1. Подготовка детали к металлизации: очистка поверхности (щеткой, шкуркой, пескоструйным аппаратом); обезжиривание (бензином, керосином, растворителем); механическая обработка поверхности с целью придания ей правильной геометрической формы; сохранение буртиков на концах цилиндрических поверхностей и протачивание замков в виде кольцевых канавок, предохраняющих покрытие от разрушения с торца; придание шероховатости поверхности для лучшего сцепления покрытия с

основным металлом (дробеструйная обработка; нарезание рваной резьбы шагом 0,75–1,25 мм резцом, установленным на 3–6 мм ниже оси детали; обработка драчевым напильником; насекание зубилом; для деталей с твердостью $> 350\text{ HB}$ – электроискровая или анодно-механической обработка); защита поверхностей деталей, не подлежащих металлизации (картоном, жостью, изоляционной лентой), пазов и отверстий (деревянными пробками).



Рис. 3.19. Трещины в головке цилиндров

2. Нанесение слоя металла производится не позже чем через 1 ч после подготовки детали. Положение сопла металлатора на расстоянии до детали 100–150 мм должно обеспечивать перпендикулярность струи наносимого металла к поверхности детали. Вначале металл напыляется на участки, имеющие резкие переходы (углы, галтели, уступы), а затем равномерно на всю поверхность. Толщина покрытия должна обеспечить устранение износа и припуск на обработку: 0,6–1 мм – под обтачивание и 0,4–0,6 мм – под шлифование.

3. Механическая обработка напыленных покрытий включает обтачивание резцами из сплава Т15К6 с охлаждением (глубина резания от 0,1 мм до 0,3 мм при подаче от 0,1 мм/оборот до 0,15 мм/оборот и скорость резания 10–30 м/мин; шлифование корундовыми кругами средней мягкости (скорость резания 25–30 м/с). Покрытия высокой твердости шлифуют алмазными кругами на вулканитовой основе.

Металлизация цилиндрических деталей выполняется на токарном станке при соблюдении технологических параметров, приведенных в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Технологические параметры металлизации цилиндрических деталей на токарном станке

Наименование параметра	Значения параметра				
	10–30	30–60	60–100	100–200	200–300
Диаметр изделия, мм	10–30	30–60	60–100	100–200	200–300
Частота вращения изделия, об/мин	160	80	60	30	15
Подача суппорта вместе с металлизатором, мм/об	2,5	1,5	1,5	1,2	1,2

В зависимости от способа (источника) расплавления наносимого металла металлизация подразделяется на электрическую (электрической дугой или токами высокой частоты), газовую (газовым пламенем) и плазменную (плазменной струей). Основные сведения о видах металлизации приведены в табл. 3.13.

Твердость металлизационного покрытия определяется качеством наносимого материала. Материалы электродной проволоки при металлизации сведены в табл. 3.14.

Таблица 3.13

Основные сведения о видах металлизации

Виды металлизации	Металлизаторы	Присадочный материал	Преимущества	Недостатки
Газопламенная	Ручные: МГИ-2, МГИ-5	Электродная проволока диаметром 1,5–2,5 мм (для МГИ-2) и 5–6 мм (для МГИ-5)	Малое окисление металла и выгорание легирующих элементов	Сложность установки и низкая производительность
Дуговая	Станочные: ЭМ-6, ЭМ-12, МЭС-1. Ручные: ЭМ-3, ЭМ-3А, ЭМ-9, ЭМ-10	Электродная проволока диаметром 1–2 мм	Относительно высокая производительность и простота установки	Повышенное окисление металла и выгорание легирующих элементов
Высокочастотная	МВЧ-1; МВЧ-2	Электродная проволока диаметром 3–6 мм	Малое выгорание легирующих элементов, однородное и прочное покрытие, высокая производительность	Сложность оборудования
Плазменная	Универсальные плазменные установки УПУ-3, УПУ-4, УМП-4, УМП-5	Порошковые сплавы ПГ-ХН80СР2, ПГ-ХН80СР3, 30Х28Н4С4, КХБ	Возможность получения покрытия из тугоплавких и высокопрочных материалов, в т.ч. из твердых сплавов.	Дефицитность присадочных материалов, относительно высокая стоимость

Таблица 3.14

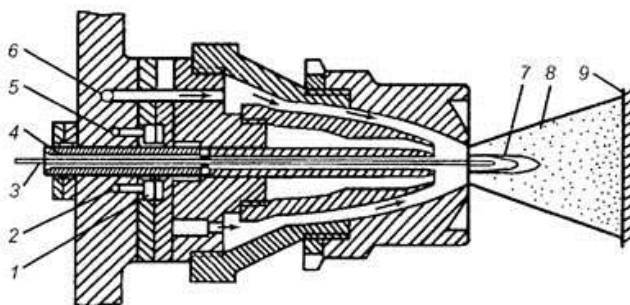
Материалы электродной проволоки при металлизации

Назначение операции	Материал или марка проволоки
Восстановление поверхности под неподвижные посадки	Стали 8, 10, 15, 20
Получение износостойких поверхностей	Стали 45, У7, У7А, У8, У8А, У10; проволока типа Нп-40, Нп-30ХГСА, Нп-3Х13
Металлизация деталей, работающих при высоких температурах	Хромникелевые стали
Восстановление подшипников скольжения	Антифрикционные сплавы составов: алюминий 50%, свинец 50%; сталь 75%, медь 25%; сталь 75%, латунь 25%; медь 75%, свинец 25%;
Нанесение антифрикционных покрытий	Латунь ЛС59-1
Заделка трещин, раковин и нанесение антикоррозионных покрытий в чугунных деталях	Цинк Ц-1, Ц-2
Заделка трещин в деталях из алюминиевых сплавов	Сплавы АД, АМЦ, АМГ

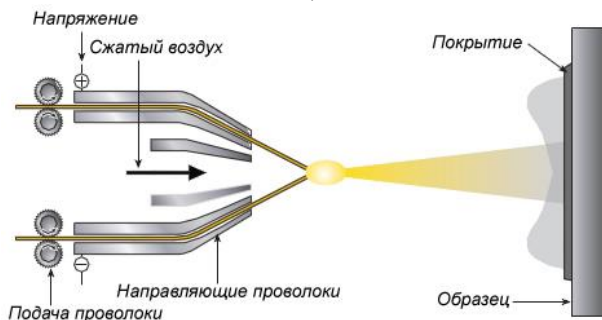
Область применения: восстановление размеров поверхностей тел вращения, посадочных отверстий, устранение дефектов в корпусах (пор, раковин, трещин, задиров), нанесение износоустойчивых антифрикционных, жаропрочных, антикоррозионных и декоративных покрытий. Способом металлизации восстанавливают размеры посадочных мест для подшипников качения, зубчатых колес, муфт, шеек коленчатых валов и т.п. Наиболее распространенные виды металлизации деталей автомобилей приведены на рис. 3.20.

Описанные способы металлизация применяют для восстановления начальных размеров и формы поверхностей изношенных деталей, а также для нанесения антифрикционных и износоустойчивых покрытий, создания декоративных антикоррозионных и жаропрочных покрытий, исправления дефектов

черного и цветного литья, заделки наружных раковин, устранения пористостей, течей, трещин различного происхождения. Применению металлизации для этих целей способствует низкая температура нагрева поверхности изделия, не превышающая 50–70°C, при которой основной металл не претерпевает никаких структурных изменений, полностью сохраняя свои механические свойства. Это дает возможность наносить слой покрытия на любые материалы: металл, дерево, резину, пластмассы и т.п. Высокая твердость покрытия, превышающая твердость исходного материала, также делает более эффективным применение металлизации.



а)



б)

Рис. 3.20. Схемы газопламенной металлизации проволоочным материалом (а) и электродуговой металлизации (б): 1 – смешивательная камера; 2 – канал подвода кислорода; 3 – проволока; 4 – направляющая; 5 – канал подвода ацетилена; 6 – воздушный канал; 7 – пламя; 8 – струя газометаллическая; 9 – напыляемая поверхность

Возможность металлизации напылением разнообразных металлов, в т.ч. и разнородных, образующих механическую смесь мельчайших частиц, что позволяет создавать новые типы материалов, отличающихся весьма высокими антифрикционными свойствами. Например, металлизация под-шипников биметаллической проволокой из алюминия и свинца позволяет не только заменять дорогостоящие оловянистые баббиты и бронзы, но и значительно увеличить срок службы подшипников.

При рассмотрении целесообразности применения металлизации для восстановления изношенных деталей следует учитывать, что металлизированный слой не повышает их прочности, а следовательно, металлизация неприменима для восстановления деталей с ослабленным сечением. Ограниченно применяется металлизация при восстановлении деталей, находящихся под действием динамической нагрузки, а также деталей, работающих при сухом трении, так как сцепляемость напыленного слоя с основным металлом детали недостаточна.

Основными преимуществами металлизации являются:

1) возможность получения больших слоев наращиваемого металла (до 10 мм), что дает возможность ремонтировать детали с большим износом;

2) нагрев ремонтируемой детали во время металлизации не превышает 70 °С, вследствие чего термообработка, структура и механические свойства металла детали после металлизации не изменяются;

3) благодаря пористости металлизированного слоя он способен поглощать масло (до 10–15%) и хорошо удерживать смазку, что обеспечивает хорошую износостойкость детали;

4) возможность получения покрытия из любого металла и нанесения его на детали из любого материала (стали, чугуна, алюминия, бронзы и др.), любых размеров и конфигураций;

5) возможность получения псевдосплавов (например, алюминия и свинца, меди и свинца и др.).

Металлизация обладает рядом недостатков: прочность сцепления покрытия с основным металлом получается невысокая, механическая прочность металла покрытия пониженная, при металлизации мелких деталей возникают крупные потери металла.

Металлизация высокочастотная – это процесс, при котором металл проволоки (3) плавится под действием токов высокой частоты в специальном индукторе, а затем при помощи сжатого инертного газа или воздуха наносится специальным металлизатором (распылительной головкой) на поверхность ремонтируемой детали (рис. 3.21). Металлизаторы могут работать на постоянном и переменном токе. Марку электродной проволоки при металлизации подбирают в зависимости от марки материала ремонтируемой детали и требуемых твердости и износостойкости напыленного слоя металла. Например, для ремонта стальных деталей применяется проволока марок Св-08, Св-ГА, Св-08ГС, Св-18ХГСА и др. Диаметр электродной проволоки подбирается в зависимости от применяемой марки металлизатора и требуемой толщины напыленного слоя металла. На практике применяют проволоку диаметром от 1 мм до 2,5 мм.

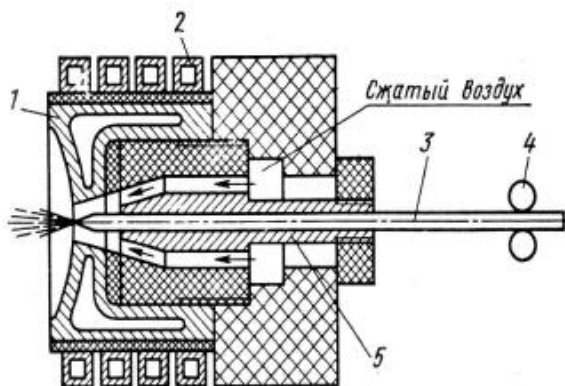


Рис. 3.21. Схема распылительной головки высокочастотного металлизатора: 1 – вставка, концентрирующая электромагнитное поле; 2 – индуктор; 3 – напыляемая проволока; 4 – подающие ролики; 5 – направляющая вставка

Высокочастотная металлизация основана на принципе расплавления проволоки в зоне индуктора, состоящего из нескольких витков медной трубки, к которому от лампового генератора подается ток высокой частоты (200–50 кГц). Высокочастотная металлизация обеспечивает быстрый нагрев конца электродной проволоки, что уменьшает выгорание углерода и других элементов, делает покрытие однородным с пределом прочности на разрыв в 2,5 раза выше, чем при электродуговой металлизации.

Недостатки: сложность и высокая стоимость оборудования.

В качестве источников питания применяют ламповые генераторы токов высокой частоты ГЗ-46, ЛГП-30, ЛППЗ-60.

Металлизация газовая – это технологическая операция, осуществляемая с помощью аппаратов, в которых металлическая проволока или порошковые материалы распыляются ацетилено-кислородным пламенем или пламенем других горючих газов в смеси с кислородом (рис. 3.22).

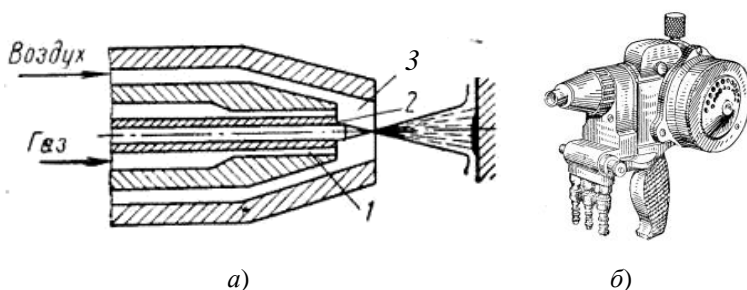


Рис. 3.22. Схема установки газовой металлизации (а) и газовый металлизатор (б): 1 – отверстие для смеси ацетилена с кислородом; 2 – частицы расплавленного металла; 3 – отверстие для сжатого воздуха

При газовой металлизации конец проволоки плавится в газовом пламени и частицы расплавленного металла увлекаются потоком сгоревших частиц. Попадая в струю сжатого воздуха,

частицы металла дробятся и приобретают значительную скорость. Наиболее высокая температура (3 180 °С) достигается при использовании ацетилено-кислородного пламени.

Материалом для металлизации служат различные сплавы на никелевой и хромовой основе. В сплавы вводят также бор, а иногда вольфрам. В зависимости от соотношении компонентов сплава твердость покрытия после металлизации может быть получена в диапазоне 35–60 HRC. Покрытие наносят в несколько проходов и толщина слоя в один проход составляет 0,17–0,25 мм. Если напыляют внутренние поверхности, то для сохранения хорошего сцепления покрытия с деталью ее целесообразно перед металлизацией нагреть до температуры 200–275°С.

Расход сжатого воздуха обычно составляет 0,6–0,8 м³/мин, давление 0,3–0,5 МПа. Давление ацетилена должно быть 4–60 КПа, а его расход 240–850 л/ч. Проволока подается со скоростью 4,5–6,0 м/мин в распылительную головку с помощью специального подающего механизма, установленного в газометаллизаторе. При этом способе повышается прочность сцепления, уменьшаются размеры распыливаемых частиц металла и снижается его окисление.

В состав установки для газовой металлизации входит следующее оборудование: токарный станок (для металлизации плоских деталей – специальная камера), ацетиленовый генератор, кислородный баллон с газорегулирующей аппаратурой и шлангами, компрессорная установка (или баллон с инертным газом), газовый металлизатор марок МГИ-2, МГИ-1-57, МГИ-5, катушка для проволоки.

Недостатки: низкая производительность, недостаточно высокая прочность сцепления покрытия с металлом восстанавливаемой детали, значительная пористость и хрупкость слоя, трудности подготовки закаленных поверхностей детали к металлизации, значительные потери металла при плавлении и распылении, особенно при металлизации малогабаритных деталей.

Газовая металлизация применяется для нанесения покрытий из керамики, тугоплавких соединений и металлов с особо высокой температурой плавления. Важная особенность газовой металлизации – низкое термическое воздействие на восстанавливаемую деталь (150 °С). В этой связи исключаются деформации, а несущая способность детали не снижается. Покрытия, нанесенные этим способом, выдерживают обычные статические и знакопеременные нагрузки. В то же время они обладают пластичностью, поэтому применять их для восстановления деталей, работающих в условиях ударных нагрузок, нежелательно.

Практически металлизировать можно не только металлы, но и дерево, стекло, полимеры и т.п. При металлизации получают слой различного металла толщиной от 0,03 до нескольких миллиметров, не вызывая перегрева детали. Положительным свойством металлизационного слоя является также то, что он обладает достаточно высокой износостойкостью при жидкостном и полужидкостном трении.

Металлизация плазменная – это технологический процесс, осуществляемый с помощью плазматронов, в которых плазмообразующий газ (аргон) протекает сквозь столб электрического разряда, частично или полностью ионизируется и превращается в плазму. Наряду с положительно и отрицательно заряженными ионами в ионизированном газе содержатся электроны и нейтральные атомы. Такое состояние вещества называется плазмой. Плазма обладает высокой электрической проводимостью и образует вокруг себя магнитное поле, которое заставляет частицы плазмы сжиматься и двигаться узким пучком. Плазменная струя служит интенсивным источником тепла; температура ее достигает 15 000 °С. Плазматрон состоит из катода и анода, охлаждаемых водой (рис. 3.23). От источника постоянного тока между катодом и анодом возбуждается электрическая дуга. Плазмообразующий газ, введенный в зону горения, ионизируется и выходит из анода плазматрона в виде струи небольшого сечения. Высокая электропроводность плазменной струи

значительно повышает плотность тока, температуру газа и скорость его истечения. Рабочая температура струи достигает 7 000–15 000 °С при скорости истечения до 1500 м/с.

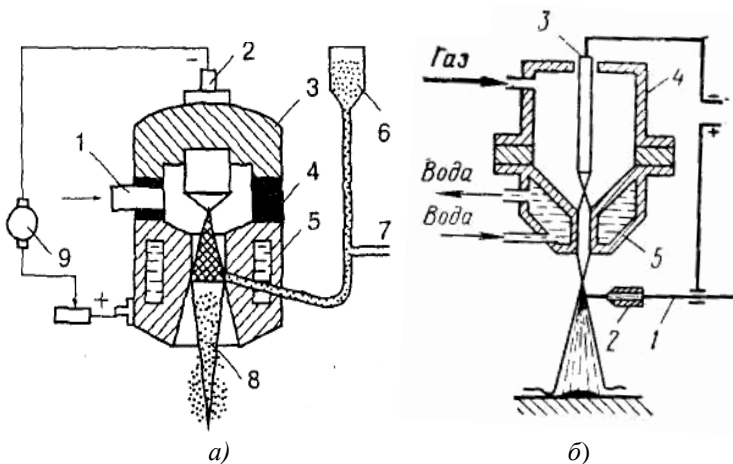


Рис. 3.23. Схема плазменной металлизации с использованием порошка (а) и проволоки (б): для а: 1 – подвод плазмообразующего газа; 2 – катод плазмотрона; 3 – корпус катода; 4 – изолятор; 5 – корпус анода; 6 – порошковый питатель; 7 – подвод газа, транспортирующего порошок; 8 – плазменная дуга; 9 – источник питания; для б: 1 – расплываемая проволока; 2 – наконечник для проволоки; 3 – электрод; 4 – горелка; 5 – сопло

Для плазменной металлизации обычно применяют плазмотроны с аксиальным газовым потоком, тангенциальным газовым потоком и комбинированным потоком из электромагнитного поля и газового потока (рис. 3.24).

Для плазменной металлизации применяют специализированные установки УПУ-3М, УМП-4-64, УМП-5-68, которые обеспечивают более высокие, чем при других способах металлизации, механические свойства покрытия и более прочное его соединение с поверхностью детали. Покрытие обладает высокой износостойкостью и не снижает усталостной прочности детали. За счет высокой температуры плазменной струи можно наносить покрытия практически из любых материалов. Процесс пол-

ностью автоматизирован, что повышает производительность труда. При плазменной металлизации проволокой можно использовать газопорошковую среду, а порошок в качестве присадочного материала. В качестве плазмообразующего газа при распылении порошка кроме аргона применяют азот, водород, гелий.

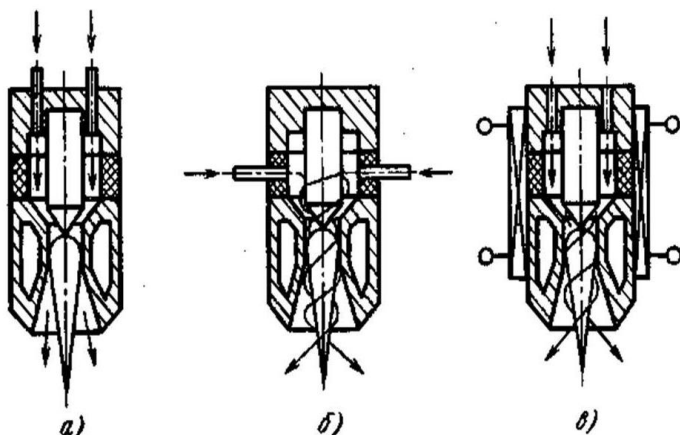


Рис. 3.24. Классификация плазмотронов по способу стабилизации дуги: *а* – аксиальным (продольным) газовым потоком; *б* – тангенциальным газовым потоком; *в* – комбинированным: электромагнитным полем и газовым потоком

Плазменную металлизацию обычно применяют для напыления тугоплавких металлов и их соединений. Как и другие методы напыления, в частности газовая и электродуговая металлизация, этот метод технологически прост, кратковремен, достаточно производителен и экономичен.

Благодаря высоким термодинамическим параметрам плазменной струи плазменная металлизация в значительной степени устраняет главный недостаток металлизационных покрытий – низкую прочность сцепления с подложкой. Кроме того, применение инертных плазмообразующих газов – аргона и

азота – уменьшает выгорание легирующих элементов, улучшает качество покрытий.

В сравнении с наиболее распространенным методом восстановления форм и размера деталей – наплавкой – способ плазменной металлизации позволяет избежать коробление и трещинообразования в деталях машин, изготовленных из чугунов и работающих в условиях знакопеременных нагрузок. На качество и производительность процесса металлизации большое влияние оказывают такие факторы, как количество тепла, подводимого к изделию, расход порошка, подаваемого в плазменную струю, скорость полета напыляемых частиц, угол металлизации и др. При плазменной металлизации частицы наносимого порошка должны обладать определенным запасом тепловой и кинетической энергии. Для этого напыляемым частицам порошка следует сообщить необходимую скорость и нагреть их до температуры плавления. Скорость полета частиц зависит от скорости истечения плазмы, которая, в свою очередь, зависит от мощности дуги, вида и расхода плазмообразующего газа, формы и размеров канала сопла, плотности и размеров частиц порошкового материала. При работе на азоте частицы порошка имеют максимальную скорость на расстоянии 100–150 мм. Оптимальным режимом плазменной металлизации является такой, при котором не происходит перегрева детали и покрытия, охлаждения частиц и снижения их скорости при осаждении на поверхности изделия.

Расход порошка, подаваемого в плазменную струю, регулируется дозирующими устройствами, схемы которых представлены на рис. 3.25.

При выборе режимов плазменной металлизации надо стремиться, чтобы основная доля вводимого в плазменную горелку порошка, попадала в центральную, наиболее горячую зону плазменной струи, так как порошок, проходящий через наружные слои плазменной струи, не успевает расплавиться и отлетает от поверхности детали.

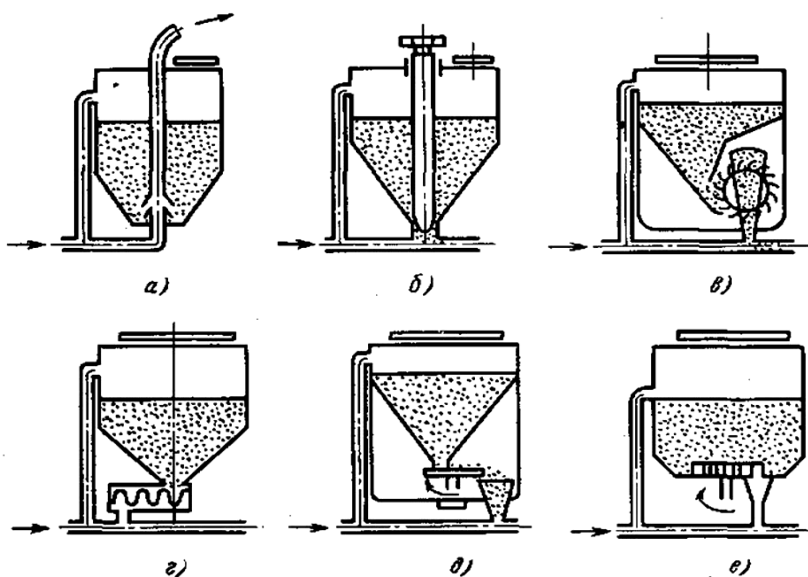


Рис. 3.25. Схемы дозирующих устройств типов: *a* – инжекторного; *б* – штокового; *в* – вертикально-барабанного; *г* – шнекового, *д* – тарельчатого; *е* – горизонтально-барабанного

При выборе скорости вращения детали и перемещения горелки надо учитывать, что за один проход наносится слой толщиной не более 0,1–0,3 мм.

Нанесение толстых покрытий следует производить за несколько проходов. Это обеспечивает высокое качество плазменной металлизации и минимальный припуск на механическую обработку.

В процессе плазменной металлизации реализуется непрерывное плавление порошка или проволоки, распыление образующегося расплава на мельчайшие частицы и нанесение их на специально подготовленную поверхность обрабатываемой детали. Попадая на металлизированную поверхность (основной металл), частицы деформируются, нагромождаются друг на друга и образуют металлизационное покрытие слоистого строения (рис. 3.26).

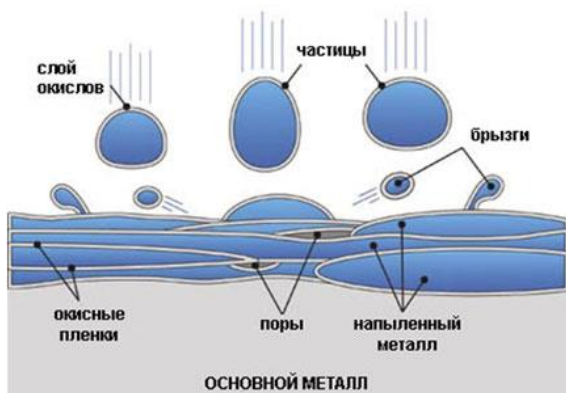


Рис. 3.26. Схема образования металлизационного покрытия

Плазменной металлизацией наносят покрытия как на плоские поверхности, так и на тела вращения и криволинейные поверхности. Для покрытия характерна слоистая структура с высокой неоднородностью физических и механических свойств (рис. 3.27). Тип связей между покрытием и деталью (подложкой), а также между частицами покрытия обычно смешанный – механическое сцепление, сила физического и химического взаимодействий. Прочность сцепления покрытия с подложкой обычно составляет 10–50 МПа при испытаниях на нормальный отрыв.

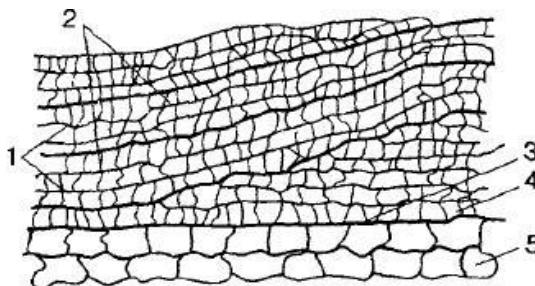


Рис. 3.27. Схема структуры плазменного покрытия: 1 – граница между частицами напыленного материала; 2 – граница между слоями; 3 – граница между покрытием и деталью; 4 – частица напыленного материала; 5 – поверхность детали

Физические особенности формирования покрытий обуславливают появление открытой и закрытой пористостей. По мере увеличения толщины наносимого слоя открытые поры перекрываются, и пористость покрытия снижается. Поэтому плотность плазменных покрытий отличается от плотности материала и колеблется в пределах 80–97%. Обычно пористость плазменных покрытий составляет 10–15%.

Толщина покрытия практически не ограничена возможностями самого способа. Однако в силу физических особенностей процесса образования покрытий с увеличением толщины наносимого слоя в нем возрастают внутренние напряжения, которые стремятся оторвать покрытие от подложки. Поэтому обычно толщина покрытия не превышает 1 мм. Конструктивную нагрузку несет материал детали, а материал покрытия придает поверхности детали такие свойства, как твердость, износостойкость и т.п.

В практике плазменной металлизации применяют как однородные порошки различных материалов (металлов, сплавов, оксидов, бескислородных тугоплавких соединений), так и композиционные (см. рис. 2.18), а также механические смеси указанных материалов. Наиболее распространены следующие порошковые материалы:

- металлы – *Ni, Al, Mo, Ti, Cr, Cu*;
- сплавы – легированные стали, чугун, никелевые, медные, кобальтовые, титановые, в т.ч. самофлюсующиеся сплавы (*Ni-Cr-B-Si, Ni-B-Si, Co-Ni-Cr-B-Si, Ni-Cu-B-Si*);
- оксиды *Al, Ti, Cr, Zr* и других металлов и их композиции;
- бескислородные тугоплавкие соединения и твердые сплавы – карбиды *Cr, Ti, W* и др. и их композиции с *Co* и *Ni*;
- композиционные плакированные порошки – *Ni*-графит, *Ni-Al* и др.;
- композиционные конгломерированные порошки – *Ni-Al, NiCrBSi-Al* и др.;
- механические смеси – Cr_3C_2+NiCr , $NiCrBSi+Cr_3C_2$ и др.

Металлизация электродуговая заключается в расплавлении электрической дугой исходного материала и напылении его струей сжатого воздуха на поверхность детали. Электрическая дуга горит между двумя проволоками, протягиваемыми роликами (рис. 3.28). Струя сжатого воздуха вытягивает дугу. Размер распыляемых частиц колеблется в пределах 10–50 мкм. Скорость напыления с расстояния 30 мм от сопла 250 м/с. Толщина напыленного слоя составляет от 20 мкм до 10 мм. Для электродуговой металлизации используют аппараты ЭМ-3А, ЭМ-6, ЭМ-9, ЭМ-10.

На плоские поверхности деталей металл наносят при помощи металлизатора вручную, в специальных камерах. Детали, имеющие цилиндрическую форму, закрепляют в центрах или патроне токарного станка, а металлизатор – на суппорте.

Установка электродуговой металлизации состоит из металлизационного аппарата, укрепленного на суппорте токарного станка. В аппарате имеются четыре ролика (3) (рис. 3.28), которые с определенной скоростью подают электродную проволоку (1 и 2) с катушек по наплавляющим наконечникам (6) в зону горения дуги, где происходит расплав электродных проволочек. К электродным проволокам подведен электрический ток от трансформатора. Одновременно под давлением 0,5–0,6 МПа (5–6 кгс/см²) в сопло (7) подается инертный газ, который, выходя из сопла, распыляет расплавленный металл и наносит его на поверхность детали.

Напряжение при электродуговой металлизации составляет 25–35 В, сила тока – 80–120 А и давление воздуха или инертного газа – 0,5–0,6 МПа (5–6 кгс/см²).

В зависимости от требуемой шероховатости и точности металлизированные цилиндрические поверхности деталей обрабатывают на токарных станках, а плоские поверхности – на шлифовальных станках или вручную.

В напыленном слое могут возникать следующие дефекты: трещины, отслоения, крупные раковины. Качество напыленного

слоя контролируют внешним осмотром, замерами твердости, просвечиванием рентгеновскими лучами и т.д.

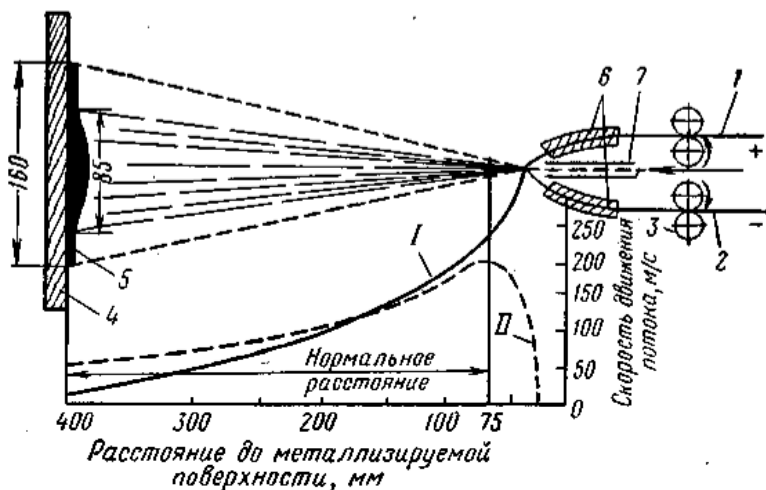


Рис. 3.28. Схема установки для электродуговой металлизации:

- 1, 2 – изолированные друг от друга электродные проволоки;
- 3 – механизм подачи электродной проволоки; 4 – поверхность детали; 5 – металлизированный слой покрытия; 6 – наконечники электродной проволоки 7 – сопло

Для металлизации плоских деталей вместо токарного станка применяется специальная камера, а вместо станочного – ручной металлизатор марки ЭМ-9 или ЭМ-14. Остальное оборудование остается такое же, как для металлизации деталей, имеющих цилиндрическую форму.

Н

Наплавка дуговая в защитных газах применяется в тех случаях, когда невозможны или затруднены подача флюса и удаление шлаковой корки. Преимуществами данного вида наплавки являются визуальное наблюдение за процессом и возможность его широкой механизации и автоматизации с использованием

серийного сварочного оборудования. Дуговую наплавку в защитных газах применяют в различных пространственных положениях, внутренних поверхностях, глубоких отверстий, мелких деталей и сложных форм и т.п. Технология выполнения наплавки в защитных газах во многом сходна с технологией наплавки под флюсом, отличие лишь в том, что вместо флюсовой применяют газовую защиту зоны наплавки (рис. 3.29).

Помимо вышеупомянутых преимуществ дуговой наплавки в защитных газах у сварщика отпадает необходимость засыпки флюса и удаления шлака.

Недостатком способа является то, что в процессе наплавки в углекислом газе наблюдается сильное разбрызгивание жидкого металла, приводящее к налипанию брызг на мундштук и засорению сопла горелки. Кроме того, возможность сдувания газовой струи ветром затрудняет наплавку на открытом воздухе. С целью уменьшения разбрызгивания металла наплавка в защитном газе производится самой короткой дугой.

Наплавку плоских поверхностей во избежание коробления деталей производят отдельными участками «вразброс». Цилиндрические детали можно наплавлять по винтовой линии как непрерывным валиком, так и с поперечными колебаниями электрода. Короткие участки могут наплавляться продольными валиками вдоль оси цилиндрической детали, но здесь возможно возникновение деформаций, которые в процессе наплавки следует уравнивать. Для этого наплавка каждого последующего валика должна производиться с противоположной стороны по отношению к уже наплавленному. При наплавке внутренних цилиндрических и конических поверхностей применяют специальные удлиненные мундштуки.

Наплавка может производиться в углекислом газе, аргоне, гелии и азоте.

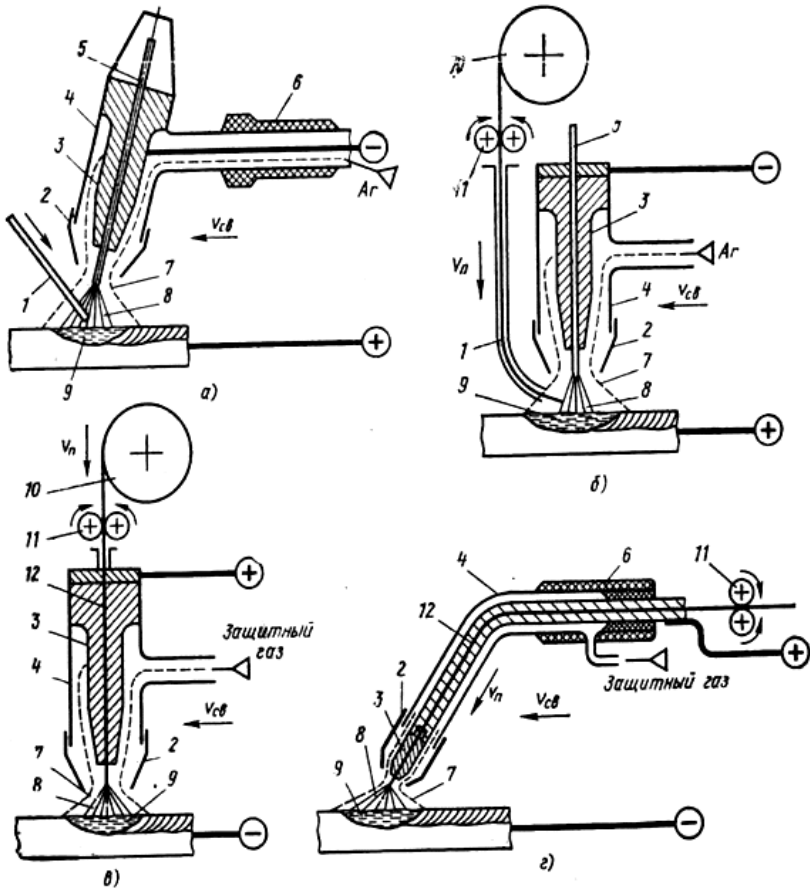


Рис. 3.29. Виды дуговой наплавки в защитных газах:

- 1 – присадочный пруток или проволока; 2 – сопло; 3 – токоподводящий мундштук; 4 – корпус горелки; 5 – неплавящийся вольфрамовый электрод; 6 – рукоятка горелки; 7 – атмосфера защитного газа;
- 8 – наплавочная дуга; 9 – ванна расплавленного металла; 10 – кассета с проволокой; 11 – механизм наплавочной проволоки; 12 – плавящийся металлический электрод (наплавочная проволока)

Высоколегированные стали, а также сплавы на алюминиевой и магниевой основе наплавляются в аргоне или гелии. Наплавка меди и некоторых ее сплавов может производиться в

азоте, который ведет себя по отношению к ней нейтрально. При наплавке углеродистых и легированных сталей используют более дешевый углекислый газ. Наплавка может производиться как плавящимся, так и неплавящимся электродами. Неплавящийся вольфрамовый электрод обычно применяют при наплавке в аргоне и гелии. Наибольшее распространение получила наплавка в углекислом газе плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности. Учитывая, что углекислый газ окисляет расплавленный металл, в наплавочную проволоку обязательно вводят раскислители (марганец, кремний и др.). При наплавке применяют как проволоку сплошного сечения, так и порошковую.

Для наплавки деталей из углеродистых и низколегированных сталей с целью восстановления их размеров применяют сварочные проволоки сплошного сечения Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС, а также наплавочные проволоки Нп-40, Нп-50, Нп-30ХГСА и др. При необходимости получения наплавленного слоя с особыми свойствами применяют порошковые проволоки.

Наплавка дуговая под флюсом осуществляется теплом дуги, горящей между плавящимся электродом и основным металлом под слоем флюса. Наплавка под флюсом является одним из основных видов механизированной наплавки.

Основными преимуществами дуговой наплавки под флюсом являются непрерывность и высокая производительность процесса, незначительные потери электродного металла, отсутствие открытого излучения дуги.

По способу выполнения может быть автоматической или полуавтоматической, а по количеству применяемых проволок – одноэлектродной и многоэлектродной. Применяемые для наплавки под флюсом наплавочные проволоки по конструкции разделяют на сплошные и порошковые, а по форме – на круглые и ленточные.

Отличительной особенностью наплавки под флюсом является хороший внешний вид наплавленного слоя (гладкая по-

верхность и плавный переход от одного наплавленного валика к другому).

В процессе наплавки возможны четыре основных способа легирования наплавленного металла (рис. 3.30).

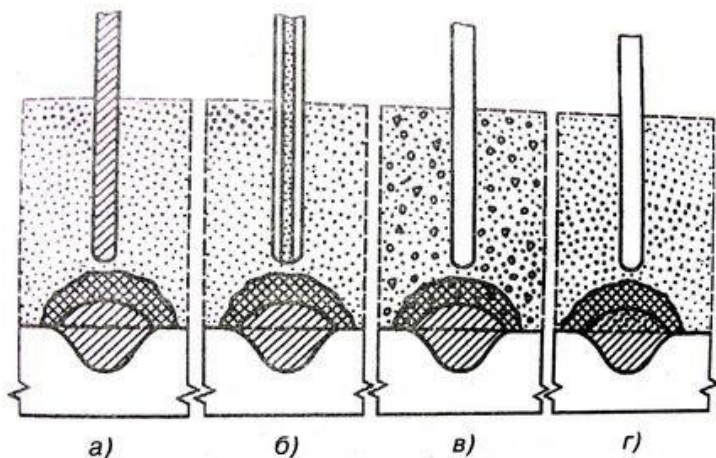


Рис. 3.30. Способы легирования наплавленного металла:
а – через сварочную проволоку; *б* – порошковую проволоку;
в – керамический флюс; *г* – укладка легированной присадки

Легирования наплавляемого металла осуществляют с применением:

1) легированной проволоки или ленты и обычных плавленных флюсов. Для наплавки используют легированные сварочные проволоки, специальные наплавочные проволоки и легированные ленты, в том числе спеченные. Наплавка производится под флюсами АН-20, АН-26 и др., которые выбирают в зависимости от состава электродного металла;

2) порошковой проволоки или порошковой ленты и обычных плавленных флюсов. Порошковая проволока или лента расплавляется в дуге и образует однородный жидкий расплав. Этот способ позволяет получить наплавленный металл с общим содержанием легирующих примесей до 40–50%. Марка порошко-

вой проволоки или ленты выбирается в зависимости от необходимого типа наплавленного металла и его требуемой твердости;

3) обычной низкоуглеродистой проволоки или ленты и легирующих наплавленных флюсов (керамических). Этот способ позволяет ввести в наплавленный металл до 35% легирующих примесей. При наплавке наибольшее применение получили керамические флюсы АНК-18 и АНК-19, обеспечивающие хорошее формирование наплавленного металла, легкую отделимость шлаковой корки, высокую стойкость наплавленного металла против образования пор и трещин;

4) обычной низкоуглеродистой проволоки или ленты и обычных плавящихся флюсов с предварительной укладкой легирующих материалов на поверхность наплаваемого изделия. Здесь возможна предварительная засыпка или дозированная подача легирующих порошков, а также предварительная укладка прутков или полосок легированной стали, намазывание специальных паст на место наплавки и др. Во всех случаях нанесенный легирующий материал расплавляется дугой и переходит в наплавленный металл.

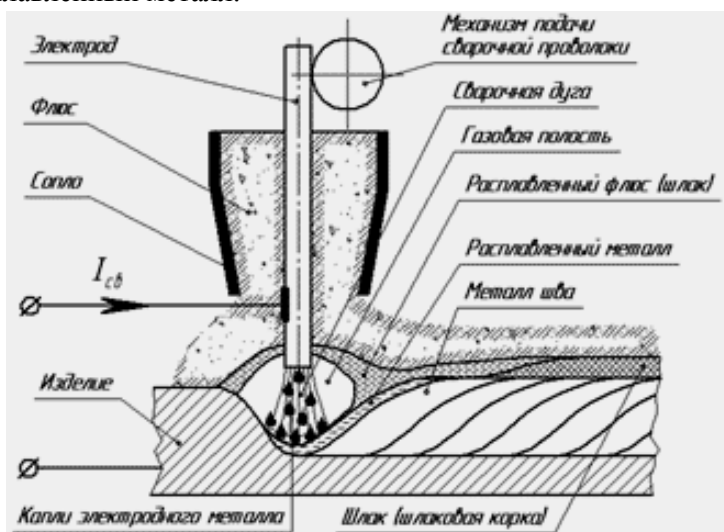


Рис. 3.31. Схема сварки и наплавки под флюсом

В связи с тем что в технологии выполнения между наплавкой и сваркой много общего (рис. 3.31), для наплавки применяется то же оборудование, что и при сварке соответствующими способами.

Наплавку углеродистых и низколегированных сталей выполняют под плавленными флюсами ОСЦ-45, АН-348-А, АН-60, которые пригодны для одно- и многоэлектродной наплавки на нормальных и повышенных скоростях, а также для наплавки электродными лентами.

Наплавку легированных сталей производят под низкокремнистыми плавленными флюсами АН-22, АН-26 и др., а высоколегированные хромоникеливые стали и стали других типов с легкоокисляющимися элементами (титан, алюминий) – под фторидными флюсами АНФ-1 и АНФ-5.

Для предупреждения образования шлаковых включений и непроваров в наплавленном слое при многослойной наплавке необходимо тщательно удалять шлаковую корку с предыдущих слоев.

II

Плазменно-дуговая сварка и наплавка относятся к дуговому виду сварки-наплавки и характеризуются искусственным сжатием столба дуги в канале сопла плазменно-газовым потоком газа или магнитным полем. В процессе плазменной сварки-наплавки формирование ванны и шва происходит проникающей дугой при дополнительном воздействии плазменно-газового потока, который при обдуве электрической дуги потоком плазмообразующего газа создается дуговым разрядом, размещенным в узком канале специального устройства. Устройства для получения плазменной струи получили название плазмотронов или плазменных горелок (рис. 3.32). Плазменную струю получают путем нагрева плазмообразующего газа в электрической дуге, горящей в закрытом пространстве. Температура плазменную струю достигает 10 000–30 000 °С, а скорость в 2–3 раза превышает скорость звука.

Плазмотрон состоит из охлаждаемых водой катода и анода, смонтированных в рукоятке. Катод обычно изготавливают из вольфрама или лантанированного вольфрама (вольфрамовые стержни с прикладкой 1–2 % окиси лантана), анод (сопло) – из меди (водоохлаждаемое сопло). Катод и анод изолированы друг от друга асбестовой прокладкой.

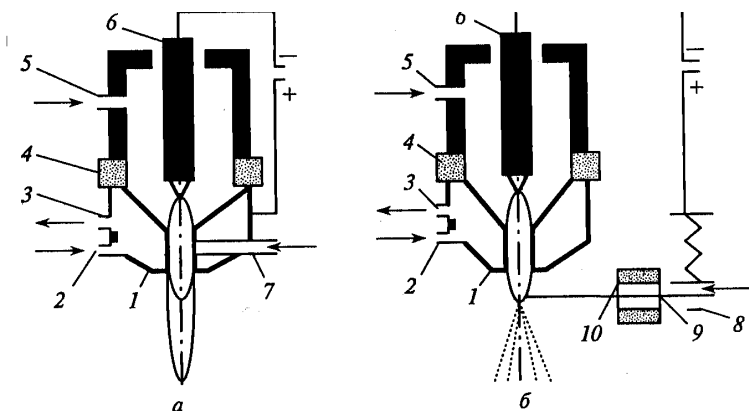


Рис. 3.32. Схема плазмотронов:

а – для работы на порошках; б – для работы на проволоке; 1 – сопло плазменной струи (анод); 2, 3 – подвод и отвод охлаждающей воды; 4 – изолирующее кольцо; 5 – подвод плазмообразующего газа; 6 – вольфрамовый электрод (катод); 7 – подача напыляемого порошка; 8 – контактное устройство для проволоки; 9 – напыляемая проволока (анод); 10 – направляющая трубка для проволоки

Установки для плазменной наплавки в зависимости от объема производства наплавляемых деталей, требований к уровню автоматизации технологического процесса плазменной наплавки и других факторов могут быть выполнены как универсальные (позволяющие наплавлять детали разной формы), так и специализированные, предназначенные для наплавки деталей одного типа: клапанов двигателей внутреннего сгорания, дисков и др. Технические характеристики универсальных и специализированных установок для наплавки приведены в табл. 3.15 и 3.16.

Для плазменной наплавки порошками наибольшее распространение получили установки УПН-303, Об-2184 и УПНС-304 (табл. 3.15). Они имеют производительность наплавки 5–6 кг/ч. Установка УПН-303 имеет поворотную колонну с направляющей балкой, подвесную самоходную головку и манипулятор изделия. Установка комплектуется сменными плазмотронами для наплавки постоянным током прямой или обратной полярности. Номинальная грузоподъемность манипулятора 500 кг, максимальный диаметр изделия, закрепляемого на планшайбе манипулятора 1500 мм.

Таблица 3.15

**Технические характеристики универсальных установок
для плазменной наплавки**

Параметры	УПН-303	Об-2184	УПНС-304
Номинальная сила рабочего тока, А	315	315	315
Регулируемая сила тока, А	50–315	50–315	40–315
Производительность порошкового питателя, кг/ч, менее	12	15	–
Скорость перемещения самоходной головки, м/ч	0,2–20	3–6	–
Частота вращения планшайбы манипулятора, мин ⁻¹	0,05–2,5	0,1–5	–
Размах колебаний плазмотрона, мм	≤ 60	≤ 25	–
Габаритные размеры, мм	3450×2800× 2000	1800×1160× 1850	1200× 680× 2800
Масса, кг	2820	800	400

Таблица 3.16

**Технические характеристики специализированных установок
для плазменной наплавки УД-417 и УД-307**

Параметры	УД-417	УД-307
Размеры наплавляемых деталей, мм:		
диаметр	500–300	57–83
длина в центрах	100–800	130–315
на люнетах, менее	1200	–
в центрах	200	6
на люнетах	1600	–
Сила тока наплавки, А	120–450	120–350
Скорость подачи присадочного материала (регулировка плавная), м/ч	15–75	990
Размах колебаний плазмотрона, мм	0–20	0–50
Расход аргона, л/ч	600–900	900–1200
Габаритные размеры, мм	1800×1300×1600	3500×2000×2000
Масса, кг	650	1100

Специализированные установки УД-417 и УД-307 (см. табл. 3.16) предназначены для плазменной наплавки с присадкой порошковой проволоки диаметром 2,0–3,5 мм или порошковой ленты сечением 2,5×5,0 или 4×8 мм. Проволока используется преимущественно для наплавки деталей типа вал.

Перспективным является способ наплавки, основанный на одновременном нагреве наплавочной ванны плазменной дугой и лучом лазера (рис. 3.33). Первые исследования такого «гибридного» способа наплавки показали, что он обладает целым рядом особенностей, которые нельзя объяснить простой суперпозицией свойств используемых источников используемых источников нагрева взятых отдельно. Так, за счет поглощения лазерного излучения в плазме реализуется особый вид газового разряда – комбинированный лазерно-дуговой разряд.

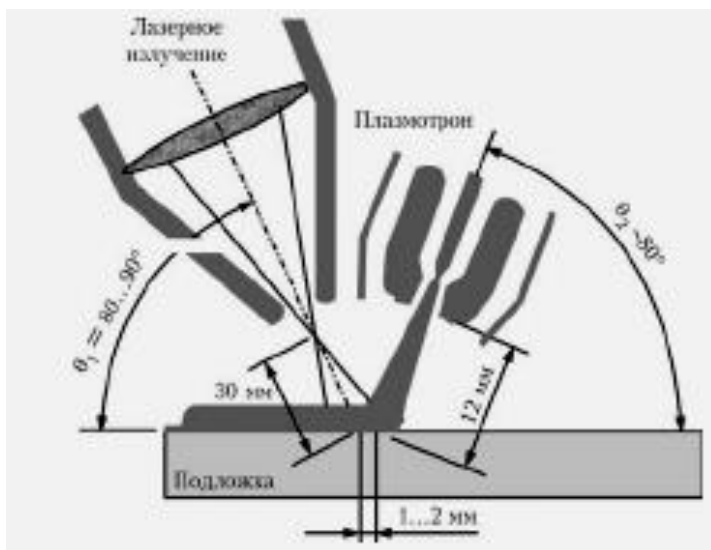


Рис. 3.33. Схема гибридного лазерно-плазменного способа наплавки

Последовательность разработки технологических процессов восстановления деталей машин включает следующую рекомендуемую последовательность при проектировании технологических процессов восстановления деталей:

1. Анализ технологического процесса изготовления новой детали.
2. Анализ условий работы детали в сопряжении, видов и процессов ее изнашивания.
3. Анализ дефектов детали и выбор возможных технологических методов восстановления, выбор технологических баз для обработки,
4. Разработка предварительного маршрута восстановления, расчленение его на технологические операции.
5. Выбор технологического оборудования, приспособлений, рабочего инструмента, средств контроля и измерений.
6. Обоснование общих и операционных припусков и допусков на обработку.

7. Установление режимов и норм времени выполнения операций.

8. Техничко-экономическое обоснование рационального варианта технологического процесса восстановления детали.

9. Разработка технологической документации на восстановление детали.

Исходными данными для разработки технологических процессов восстановления деталей являются: ремонтный чертеж детали (см. **Правила выполнения ремонтных чертежей**), выполненный в соответствии с требованиями стандартов на ремонтную документацию; перечень дефектов детали; основные сведения об условиях работы детали в ремонтируемом узле и видах изнашивания; справочные материалы о технологических методах, при помощи которых возможно устранение дефектов; технологическая документация на восстановление данной детали (при модернизации существующего технологического процесса на предприятии); сведения об опыте восстановления детали данного наименования на передовых предприятиях (при разработке нового технологического процесса); технологический процесс изготовления и рабочий чертеж новой детали (для технологической преемственности между изготовлением и ремонтом детали); программа выпуска деталей; различные справочные материалы (каталоги технологического оборудования, приспособлений, инструмента, справочники по режимам обработки, технологическому нормированию операций и т.п.).

Исходным документом для разработки технологического процесса восстановления детали является «Карта технических требований на дефектацию детали», в которой приводятся следующие данные: общие сведения о детали, перечень возможных ее дефектов, способы выявления дефектов, размеры по рабочему чертежу и допустимые без ремонта размеры детали, рекомендуемые способы устранения дефектов. Карта технических требований на дефектацию детали оформляется в соответствии с ГОСТ 2.602-95.

При разработке технологического процесса ремонта детали представляется ремонтный чертеж детали и карта технических требований на дефектацию детали, например поворотного кулака (табл. 3.17). Места на детали, подлежащие восстановлению, выполняют на чертеже утолщенной линией, остальные изображения – сплошной тонкой линией.

На ремонтных чертежах предельные отклонения размеров проставляют в виде числовых значений в виде условных обозначений. Допуски на свободные размеры 14, 15, 16 квалитетов представляют на ремонтных чертежах с округлением до десятой доли миллиметра.

Правила выполнения ремонтных чертежей. Ремонтные чертежи выполняют в соответствии с требованиями стандартов Единой системы конструкторской документации и стандарта на выполнение ремонтных чертежей – СТ СЭВ 4069-83, ГОСТ 2.604-68.

На ремонтных чертежах указывают только те размеры, предельные отклонения, натяги, зазоры и другие данные, которые должны быть выполнены и проверены при ремонте изделия.

На изделия, которые при ремонте не могут быть разъединены (неразъемные соединения, выполненные клепкой, сваркой и т.п.), допускается не выпускать самостоятельные чертежи на отдельные детали. Указания по ремонту таких изделий приводят на ремонтном сборочном чертеже изделия, в которое входят ремонтируемые детали, с добавлением изображений и данных, поясняющих сущность ремонта.

На ремонтных чертежах изображают только те виды, разрезы, сечения, которые необходимы для ремонта изделия.

На ремонтных чертежах предельные отклонения линейных размеров указывают, как правило, числовыми значениями или условными обозначениями с последующим указанием в скобках их числовых значений.

Таблица 3.17

**Карта технических требований
на дефектацию детали – поворотного кулака**

Деталь (сборочная единица, эскиз)					
			Номер детали (сборочной единицы): 130-3001014-B (обозначение по чертежу)		
			Материал: Сталь 40Х ГОСТ 4543-71 (наименование, марка, номер стандарта)		
			Твердость: 241-285 НВ		
Позиция на эскизе	Возможный дефект	Способ установления дефекта и средства контроля	Размер, мм		Заключение
			По рабочему чертежу	Допустимый без ремонта	
1	Износ шейки под наружный подшипник	Скоба, микрометр	39,973–39,990	39,95	Хромирование, осталивание, накатка
2	Износ кольца под сальник	Скоба, микрометр	112	111, 70 при отсутствии рисок и задиров	Осталивание, хромирование
3	Износ резьбы М36х2-6д-под гайку	Осмотр, резьбовой калибр	36	–	Вибродуговая наплавка

На ремонтных чертежах поверхности, подлежащие обработке при ремонте, выполняют сплошной толстой основной линией, остальные части изображения – сплошной тонкой линией (рис. 3.34, а). Если у отдельных элементов ремонтируемого изделия меняется конфигурация, то измененную часть ремонтируемого изделия показывают сплошной толстой основной линией, а неизменную часть – сплошной тонкой линией (рис. 3.34, б).

На чертежах изделия, ремонтируемого сваркой, пайкой, нанесением металлопокрытий и т.п., рекомендуется выделять соответствующий участок изделия, подлежащий ремонту (рис. 3.35, *а*). При ремонте изделия наплавкой, заливкой (при помощи сварки, пайки и т. п.) на ремонтном чертеже указывают наименование, марку, размеры материала, используемого при ремонте, а также обозначение стандарта на материал (рис. 3.35, *б*).

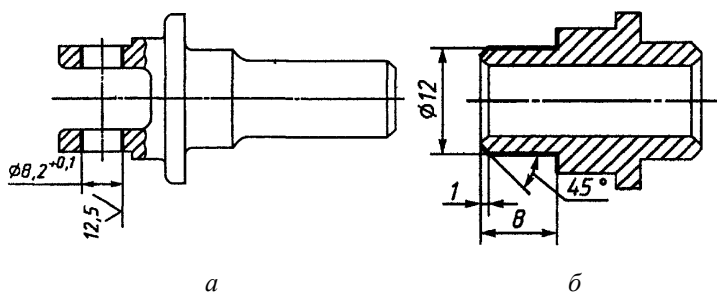


Рис. 3.34. Выполнение на ремонтном чертеже поверхности отверстия, подлежащего обработке при ремонте, сплошной толстой основной линией

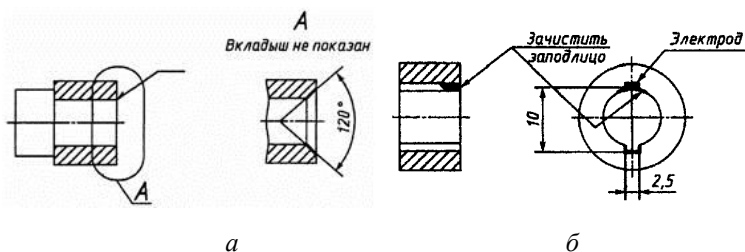


Рис. 3.35. Выделение на ремонтном чертеже участка, ремонтируемого наплавкой (*а*) и стандартные указания (*б*)

Если при ремонте изделия удаляют изношенную часть и заменяют ее новой (рис. 3.36, *а*), то удаляемую часть изображают тонкой штрих-пунктирной линией с двумя точками (рис. 3.36, *б*). Новую часть выполняют на самостоятельном ремонтном чертеже.

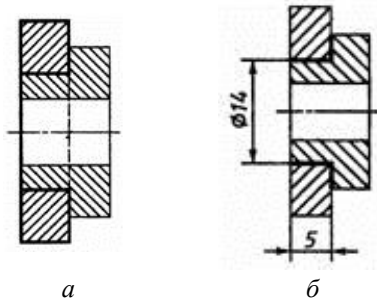


Рис. 3.36. Изображение на ремонтном чертеже изношенной (а) и удаляемой части (б)

На ремонтном чертеже изделия, для которого установлены пригоночные размеры, при необходимости указывают установочные базы для пригонки «по месту». На ремонтных чертежах категорийные и пригоночные размеры, а также размеры изделия, ремонтируемого снятием минимально необходимого слоя материала, проставляют буквенными обозначениями, а их числовые значения и другие данные указывают на полках линейных выносок (рис. 3.37) или в таблице в верхней части на ремонтном чертеже (рис. 3.38).

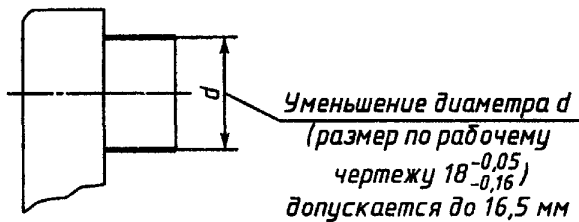


Рис. 3.37. Обозначение категорийных и пригоночных размеров на ремонтном чертеже

На ремонтных чертежах в сопряженных изделиях с категорийными размерами сохраняется характер сопряжения (категории точности, посадки, шероховатость и др.), предусмотренный в рабочих чертежах.

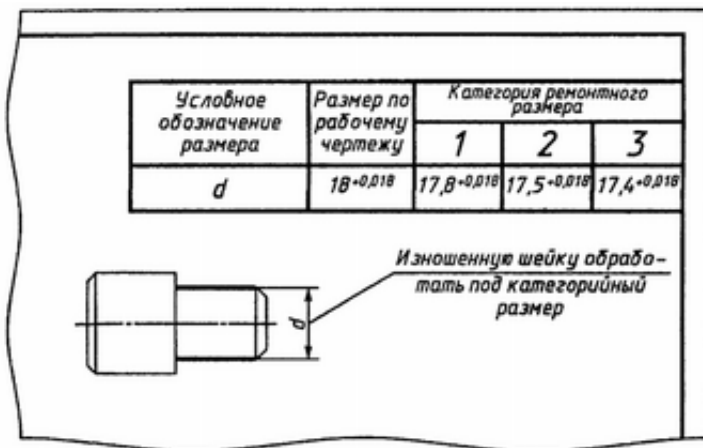


Рис. 3.38. Табличная форма изображение категорийных и пригоночных размеров на ремонтном чертеже

На ремонтных чертежах изделий для определения способа ремонта помещают технологические указания, которые являются единственными для восстановления эксплуатационных характеристик изделия. Технологические требования, относящиеся к отдельному элементу изделия, помещают на ремонтном чертеже, как правило, рядом с соответствующим элементом или участком изделия. Эти требования допускается не указывать, если они изложены в руководстве по ремонту или в технических условиях на ремонт.

Надписи, технические требования и таблицы на ремонтных чертежах выполняют в соответствии с требованиями ЕСКД.

На ремонтном чертеже допускается указывать одновременно несколько вариантов ремонта одних и тех же элементов изделия с соответствующими разъяснениями. На каждый принципиально отличный вариант ремонта изделия выполняют самостоятельный чертеж. Если при ремонте изделия в него вводят одну или несколько деталей (втулку, стопор и т.п.) или деталь при ремонте заменяют сборочной единицей, аналогичной детали (т.е. состоящей из нескольких составных частей), то ремонтный чертеж выполняют как сборочный.

На ремонтных чертежах деталей содержание графы «Материал» основной надписи должно соответствовать содержанию аналогичной графы рабочего чертежа детали. Обозначение отмененных стандартов на материалы не указывают.

В ремонтных чертежах на вновь изготавливаемые изделия в этом случае указывают обозначение материала по действующему стандарту.

Предельные отклонения размеров 14–17 квалитетов указывают на ремонтных чертежах с округлением до десятых долей миллиметра.

Если на ремонтном чертеже одного изделия дано исчерпывающее указание об изготовлении другого (сопряженного) изделия по рабочей конструкторской документации (рис. 3.39) и эта документация включена в комплект документов для ремонта, то отдельный ремонтный чертеж на сопряженное изделие не выпускают.



Рис. 3.39. Пример исчерпывающих указаний об изготовлении сопряженного изделия

На ремонтных чертежах изображаются только те виды, размеры и сечения, которые необходимы для проведения восстановления детали или сборочной единицы. На чертеже детали, восстанавливаемой сваркой, наплавкой, нанесением металлопокрытий. Рекомендуется выполнять эскиз подготовки соответствующего участка детали к ремонту. При применении сварки, пайки на ремонтном чертеже указывают наименование, марку, размеры материалов, используемых при ремонте, а также номер стандарта на этот материал.

На ремонтных чертежах категорийные (ремонтные) и пригоночные размеры, а также размеры детали, ремонтируемой снятием минимально необходимого слоя металла, обозначают буквами, а их числовые значения и другие данные указывают на выносных линиях или в таблице, помещенной в правой верхней части чертежа. При этом для ремонтных размеров сохраняется класс точности и посадка, предусмотренные в рабочих чертежах.

Для определения способа ремонта на ремонтных чертежах деталей помещают технологические требования и указания.

С

Схема маршрутов технологического процесса восстановления деталей машин. Разработка технологического процесса и комплекта оснастки для восстановления деталей машин неизбежно связана с составлением схемы маршрутов технологического процесса их восстановления. На рис. 3.40 в качестве примера представлена схема маршрутов технологического процесса восстановления блоков цилиндров двигателей внутреннего сгорания (ДВС) автомобилей.

Т

Технологический процесс восстановления деталей машин – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по последовательному качественному изменению состояния восстанавливаемой детали. Существуют три вида технологических процессов: единичный, типовой и групповой.

Единичный технологический процесс разрабатывается для восстановления изделий одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства.

Типовой технологический процесс характеризуется единством содержания и последовательностью большинства технологических операций и переходов для восстанавливаемых изделий, имеющих общие конструктивные и технологические признаки.

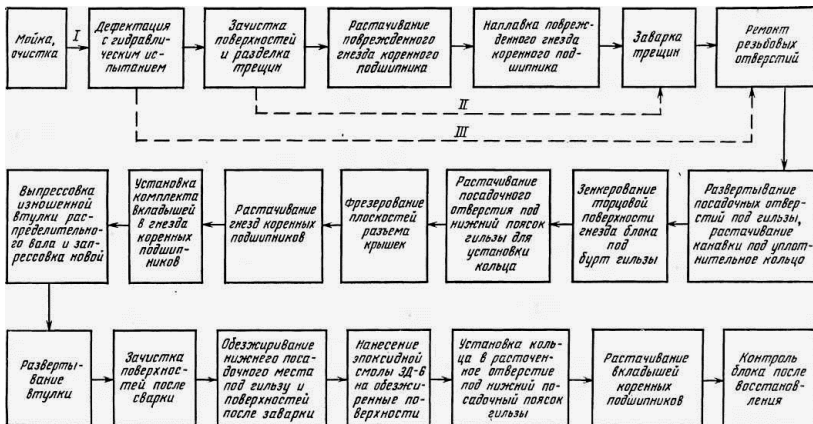


Рис. 3.40. Примерная схема маршрутов технологического процесса восстановления блоков цилиндров ДВС автомобилей

Групповой технологический процесс предназначен для совместного восстановления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками в конкретных условиях производства. Основой разработки групповых технологических процессов является разбивка восстанавливаемых деталей на классы. Установлено пять классов восстанавливаемых деталей: корпусные детали, круглые стержни, полые цилиндры, диски и некруглые стержни.

Корпусные детали изготавливают в основном из чугуна или алюминиевых сплавов. К ним относятся блоки, картеры, головки, крышки, корпуса, кронштейны. Наиболее распространенными дефектами этих деталей являются: износ внутренних посадочных поверхностей под вкладыши, гильзы и подшипники качения; отклонения в правильности взаимного положения посадочных поверхностей; трещины и отколы; повреждения резьб.

Детали класса «круглые стержни» характеризуются цилиндрической формой при длине, значительно превышающей их диаметр. Материалом для этих деталей чаще всего являются углеродистые или высококачественные легированные стали, а также высокопрочный чугун. Рабочие поверхности зачастую

подвергают термической или химико-термической обработке. К этому классу деталей относятся коленчатые и распределительные валы; гладкие, ступенчатые и шлицевые валы; валы с фасонными поверхностями; пустотелые валы, крестовины. Наиболее распространенными дефектами этих деталей являются износ их рабочих поверхностей, деформация, повреждение резьб, шпоночных канавок и др.

Конструкция деталей класса «полые цилиндры» представляет собой несколько концентрично расположенных полых цилиндров. В качестве материала для изготовления этих деталей используется модифицированный, ковкий, специальный чугун или углеродистые стали. К деталям этого класса относятся гильзы цилиндров, чашки дифференциала, ступицы колес, фланцы, муфты и т.д. Основным дефектом является износ внутренних цилиндрических рабочих поверхностей.

Диски характеризуются короткими цилиндрическими поверхностями при значительном диаметре. Изготавливают диски из модифицированного чугуна или листовой стали. Представителями деталей этого класса являются разнообразные диски, маховики, тормозные барабаны. Характерные дефекты – износ торцовых или внутренних цилиндрических поверхностей, деформация.

К деталям класса «некруглые стержни» относятся прямые и кривые стержни, поперечное сечение которых не имеет круглой формы, и длина более чем вдвое превышает размеры поперечного сечения. Перечень деталей этого класса и материал, из которого они изготовлены, весьма разнообразны. Характерными дефектами являются деформации, трещины, обломы, взносы рабочих поверхностей.

Групповая номенклатура автомобильных деталей различных классов приведена в табл. 3.18. В зависимости от степени детализации технологические процессы делятся на маршрутные, операционные и маршрутно-операционные.

Таблица 3.18

Групповая номенклатура автомобильных деталей различных классов

№ класса	Класс деталей	Наименование деталей
I	Корпусные детали	Блок и головка цилиндров; картеры сцепления, коробки передач, ведущего моста, главной передачи, компрессора, рулевого механизма; крышка распределительных шестерен; блок компрессора; корпуса масляного и водяного насосов, гидроусилителя рулевого управления, вертлягатора; крышка масляного насоса, кронштейны педалей, передней подвески
II	Круглые стержни	Коленчатый и распределительный валы, поворотный кулак, ведомый вал коробки передач, поршневой палец, крестовина дифференциала, клапан и полуось ДВС и др.
III	Полые цилиндры	Гильза цилиндра, ступица колеса, фланцы валов коробки передач, тормозной цилиндр и др.
IV	Диски	Маховик, тормозной барабан, нажимной диск сцепления, диск колеса
V	Некруглые стержни	Шатун, тормозная колодка, коромысло клапана, вилка переключения передач и др.

Маршрутный технологический процесс выполняют по документации, в которой указывается только содержание операции, без указания переходов и режимов обработки.

Операционный технологический процесс выполняют по документации, в которой содержание операций излагается с указанием переходов и режимов обработки.

Маршрутно-операционный технологический процесс выполняют по документации, в которой содержание отдельных операций излагается без указания переходов и режимов обработки.

Основные требования к техпроцессу: обеспечение качества изделия и производительности, наличие всех данных для нормирования трудовых затрат и обеспечение безопасности выполняемых работ.

Технологические операции описываются на специальных бланках в определенной последовательности и сшиваются, образуя технологический процесс. Все эти разновидности бланков соответствуют различным стандартам по форме.

Технологический процесс состоит из следующих бланков:

1. Титульный лист ГОСТ 3.1105-84.
2. Ведомость оснастки ГОСТ 3.1122-84.
3. Маршрутная карта ГОСТ 3.1118-82.
4. Карта эскизов ГОСТ 3.1105-84.
5. Операционная карта ГОСТ 3.1404-86.
6. Комплектовочная карта ГОСТ 3.1123-84.
7. Правила отражения техники безопасности ГОСТ 3.1120-83.
8. Формы и правила оформления документов на технологические процессы раскроя материалов ГОСТ 3.1402-84.

В зависимости от типа технологического процесса употребляются определенные бланки, но, как правило, в каждом технологическом процессе всегда присутствуют бланки номеров: 1; 2; 3; 5; 6; 7.

Стандартом ГОСТ 3.1705-81 установлены правила записи операций и переходов сварки и определены термины (слова, которыми нужно пользоваться, а также допустимые термины) при написании в технологических процессах, например: «паять, сварить, прихватить, приварить, заварить» и т. д.

Стандарт ГОСТ 3.1129-93 определяет общие правила записи технологической информации в технологических документах на технологические процессы и операции, а также правила оформления маршрутных карт ремонта (ГОСТ 3.1118-82).

ГОСТ 3.1109-82 предусматривает термины и определения операций и переходов технологических процессов изготовления и ремонта изделий машиностроения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герасимов С.А. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов / С.А. Герасимов, Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева. – 2-е изд., испр. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 518, [2] с. : ил.
2. Ланчиков Д.А. Сравнительная характеристика методов борирования [Электронный ресурс] / Д.А. Ланчиков. – Режим доступа: <http://www.edu.secna.ru/media/f/metall.pdf>.
3. Ланчиков Д.А. Особенности метода борирования среди методов химико-термической обработки (ХТО) [Электронный ресурс] / Д.А. Ланчиков. – Режим доступа: <http://www.edu.secna.ru/media/f/metall.pdf>.
4. Мишустин Н.М. Структура и свойства износостойких слоев, полученных на стали 65Г высокоскоростным борированием [Электронный ресурс] / Н.М. Мишустин, А.В. Ишков, В.В. Иванайский. – Режим доступа: <http://www.edu.secna.ru/media/f/metall.pdf>.
5. Гурьев А.М. Влияние параметров борохромирования на структуру стали и физико-химические свойства диффузионного слоя / А.М. Гурьев [и др.] [Электронный ресурс] // Ползуновский вестник №3. – 2007. – С. 28–34. – Режим доступа: <http://www.elib2.altstu.ru/journal/show/101120>.
6. Хайдарова А.А. Структура и свойства покрытий на основе стали Р6М5, полученных способом плазменной порошковой наплавки [Электронный ресурс] / А.А. Хайдарова, А.С. Дегтерев // Математика и механика. Физика. – Режим доступа: <http://www.cyberleninka.ru/article/n/struktura-i-svoystva-pokrytiy-na-osnove-stali-r6m5>.
7. Сафронова Е.А. Разработка технологии и оборудования для нанесения защитных композиционных покрытий способом плазменного напыления / Е.А. Сафронова, Е.О. Одинаев, В.А. Федоров [Электронный ресурс] // Ползуновский альманах, № 4/2, – 2011, – С. 122–125. // Режим доступа: http://www.elib.altstu.ru/elib/books/Files/pa2011_4_2/pdf/122safronova.pdf.

8. Хайдарова А.А. Структура и свойства покрытий на основе стали Р6М5, полученных способом плазменной порошковой наплавки [Электронный ресурс] / А.А. Хайдарова, А.С. Дегтерев // Известия Томского политехнического университета. Выпуск № 2 / том 320 / 2012 // Режим доступа – <http://www.cyberleninka.ru/article/n/struktura-i-svoystva-pokrytiy-na-osnove-stali-r6-m5-poluchennyh-sposobom-plazmennoy-poroshkovoy-naplavki#ixzz3AGOS8f00>.
9. Электродуговая металлизация [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.engineering_ru_en.enacademic.com/43200/электродуговая_металлизация.
10. Технология электродуговой металлизации // Газотермическое нанесение специальных покрытий. Информационно-технический рекламный материал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.khrunichev.ru/download/buklet_gtn.pdf.
11. Плазменная закалка // Источник журнал "РИТМ" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ritm-magazine.ru>
12. Поверхностная пластическая деформация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tehnoinfo.ru/tehnolog/mashstroy/293-plastich-diform.html>.
13. Дворников В.Н. Импульсная закалка с высокоэнергетического нагрева ТВЧ / В.Н. Дворников, П.И. Русин // Сб. тезисов докл. Всесоюзной научно-техн. конференции «Новые металлы и технология термической обработки металлов». – Киев: МДНТП, 1985. – С. 38–40.
14. Технологическая инструкция «Финишное плазменное упрочнение инструмента, технологической оснастки и других изделий». – Санкт-Петербург, ООО «НПФ «Плазмоцентр», 2007 – 35 с.
15. Иванцовский В.В. Упрочнение поверхностных слоев деталей машин с использованием высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты / В.В. Иванцовский, В.А. Батаев // Ползуновский сборник, №2 (ч. 2). – 2005. – С. 104–112.

16. Лопата Л.А. Получение износостойких дискретных покрытий электро-контактным припеканием [Электронный ресурс] / Л.А. Лопата [и др.] – Режим доступа: [http://www/SNDU Viewer // 3586-9460-1-SM.pdf](http://www/SNDUViewer//3586-9460-1-SM.pdf).
17. Дуговая сварка и наплавка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stroy-technics.ru/article/remont-detalei-svarkoi-i-naplavkoi>.
18. Аргонно-дуговая сварка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// www.aidweld.ru/docs/catalogs/sortofwelding](http://www.aidweld.ru/docs/catalogs/sortofwelding).
19. Установки плазменной наплавки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://weldzone.info/oborudovanie/machines/95-plasma-welding/294-plasma-deposition-facility>.
20. Технологические процессы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.autowelding.ru/publ/1/1/tekhnologicheskie_processy/3-1-0-317
21. ГОСТ 3.1118-82 ЕСТД. Формы и правила оформления маршрутных карт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gosthelp.ru/text/GOST_111882ESTDFormyiprav.html.

Учебное издание

**УПРОЧНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Справочное пособие

Составители

**Владимир Анатольевич Белевитин
Александр Владимирович Суворов**

ISBN 978-5-906777-38-6

Работа рекомендована РИСом университета
Протокол № 7 (пункт 19) от 25.12. 2014 г.

Издательство ЧГПУ

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Редактор Л.Н. Корнилова

Технический редактор Т.Н. Никитенко

Объем 14,6 уч. л. Бумага офсетная

Подписано в печать 04.04.2015 г.

Тираж 100 экз. Формат 60×84 1/16. Заказ №

Отпечатано с готового оригинала-макета в типографии ЧГПУ
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69