

2. ЗАГОТОВКИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

Из очищенных деталей ремонтного фонда отбирают исходные заготовки, которые затем превращают в ремонтные заготовки. Из последних получают восстановленные детали путем механической и термической обработки.

2.1. Очистка заготовок

Допустимая остаточная масса загрязнений на единице поверхности детали зависит от класса ее шероховатости. Так например, на поверхностях с шероховатостью 4-го класса остаточная загрязненность не должна превышать $12,5 \text{ г/м}^2$, а на поверхностях с шероховатостью 9-го класса - $2,5 \text{ г/м}^2$.

2.1.1. Виды и свойства загрязнений

Детали загрязняются как в эксплуатации, так и в процессах их восстановления. В соответствии с местом и временем своего образования загрязнения делятся на эксплуатационные и технологические (рис. 2.1). Детали очищают первый раз после разборки агрегатов, а второй раз – в конце процесса их восстановления перед сборкой агрегатов.

Эксплуатационные загрязнения на наружных и внутренних поверхностях различны. На наружных поверхностях находятся остатки материалов, с которыми взаимодействовала машина, масла и смазки, маслогрязевые отложения, остатки герметизирующих мастик, разрушенные лакокрасочные покрытия, продукты коррозии и др. Загрязнения на внутренних поверхностях деталей представляют собой углеводородные отложения, как результат старения и химико-термического превращения смазочных материалов и топлива, продукты изнашивания, остатки герметизирующих паст и материал прокладок, а также накипь, как результат взаимодействия охлаждающих жидкостей с металлическими стенками.

Детали машин в процессе восстановления покрываются *технологическими* загрязнениями (окалиной, стружкой, притирочными пастами, смазочными маслами, очистными материалами, продуктами приработочного изнашивания и др.). Такие загрязнения уступают эксплуатационным по прочности и массе, но они должны быть также удалены с деталей перед сборочными операциями.

По химическому составу основная масса загрязнений подразделяются на две большие группы - минеральные (кремнеземные) и органические (углеводородные).

Кремнеземные загрязнения образуются на поверхностях деталей в результате их взаимодействия с почвой и почвенной пылью.

Углеводородные загрязнения образуются в результате взаимодействия топлив и масел с газами и влагой, продуктами изнашивания и поверхностями деталей при повышенной температуре. Они включают такие

группы веществ: масла и нейтральные смолы, окислители, асфальтены, карбены и карбоиды, несгораемый остаток (зола).

Отдельный вид загрязнений представляет *накипь*, которая откладывается на внутренних поверхностях стенок радиаторов и рубашек охлаждения двигателей.

Продукты коррозии образуются в результате химического или электрохимического разрушения металлов.

Разрушенные лакокрасочные покрытия необходимо удалять с поверхности деталей, поэтому их относят к загрязнениям.

Разнообразие видов загрязнений и разные значения их одноименных свойств требуют дифференцированного подхода к назначению технологических операций для отделения этих загрязнений.

2.1.2. Технологические способы очистки

В зависимости от состава и свойств загрязнений применяют следующие способы их удаления: гидродинамическое разрушение и смывание струей воды с образованием взвеси; растворение в жидкости; эмульгирование в жидкости; разрушение потоком металлической дроби, стеклянных шариков, песка, пластмассовой или косточковой крошки; электрохимическая обработка; ультразвуковая обработка в жидкости; термическое разрушение; срезание скребками, щетками.

Гидродинамическую очистку поверхностей струей холодной или горячей воды под давлением 0,5...20 МПа применяют для наружной очистки ремонтируемых машин или агрегатов от непрочных кремнеземных загрязнений, смачиваемых водой. Остальные способы применяют для очистки деталей.

Растворение - это процесс образования однородной системы из двух веществ с распределением загрязнения в очистной среде. Наибольшей взаимной растворимостью обладают вещества со сходным строением полярных молекул.

Углеводородные загрязнения растворяют в органических растворителях, ржавчину – в кислотном растворе и лакокрасочные материалы в щелочном.

Смачивание заключается в растекании капли жидкости, помещенной на поверхность твердого тела. Это свойство зависит от поверхностного натяжения жидкости, сочетания составов жидкости и твердого тела. Смачивание - результат межмолекулярного взаимодействия сред на границе соприкосновения трех фаз твердое тело - жидкость – газ. Если загрязнение смачивается раствором, то он проникает в поры и трещины твердого тела. Углеводородные загрязнения не смачиваются водой, а минеральные частицы смачиваются при условии отсутствия жировых пленок на поверхности.

На границе очищающей среды имеется слой молекул раствора, не уравновешенных жидкостью, поэтому в единице объема этого слоя сосре-

доточено энергии больше, чем в равном объеме жидкости в глубине раствора. Этот слой обладает избытком свободной энергии. Имеются вещества, способные понижать поверхностную энергию раствора, которые называются поверхностно-активными веществами (ПАВ).

Загрязнения, как правило, состоят из жидкой (масла, смолы) и твердой (пыль, асфальтены, карбены и др.) частей. Такие загрязнения удаляют с поверхности изделия путем *эмульгирования* жидкой фазы (образования эмульсий) и *диспергирования* твердой фазы (образования дисперсий). Механическое движение раствора ускоряет очистку загрязненных поверхностей.

Процесс очистки поверхности металла от загрязнения в жидком растворе ПАВ путем эмульгирования можно представить множеством воздействий (рис. 2.2).

Вода, обладающая большим поверхностным натяжением, не смачивает гидрофобные загрязнения, а стягивается в отдельные капли. Растворение в воде очистного средства уменьшает поверхностное натяжение раствора, что приводит к проникновению его в трещины и поры загрязнения. Капиллярное и расклинивающее действие раствора приводит к разрушению загрязнений. Отколовшиеся грязевые частицы переходят в раствор. Молекулы ПАВ адсорбируются на загрязнениях и очищенной поверхности и препятствуют укрупнению частиц и оседанию их на поверхности. В результате частицы загрязнений во взвешенном состоянии стабилизируются в растворе и удаляются вместе с ним.

Поверхности деталей в процессе нанесения электрохимических покрытий очищают за счет выделения на катоде водорода и на аноде кислорода в виде пузырьков.

Ультразвуковая очистка основана на передаче энергии от излучателя через жидкую среду к очищаемой поверхности. Колебания среды с частотой 20...25 кГц вызывают гидравлические удары у поверхности детали, которые разрушают углеводородные загрязнения в течение 2...3 мин, а масляные пленки за 30...40 с. Этот вид очистки нашел применение при очистке мелких деталей сложной формы от прочных загрязнений.

Если приведенные процессы неэффективны для очистки деталей от прочных загрязнений, то их разрушают потоком твердых частиц, срезают или применяют термическое разложение.

2.1.3. Очистные технологические среды

Применяют очистку деталей в жидких технологических средах на основе органических растворителей и технических моющих средств. Однако эти средства не могут с необходимой производительностью очистить детали от загрязнений всех видов, поэтому используют и другие средства.

Органические растворители. Они обладают незначительным поверхностным натяжением и способностью растворять находящиеся на по-

верхностях загрязнения, образуя однофазные растворы переменного состава.

Углеводородные растворители принадлежат к слабополярным гидрофобным веществам, их применяют для растворения неполярных и слабополярных загрязнений - масел, жиров, простых эфиров и битумов.

По составу и пожароопасности органические растворители делятся на две группы. Первую группу образуют алифатические углеводороды, полученные из нефти (керосин, уайт-спирит, бензин), ароматические углеводороды, получаемые из каменноугольной смолы (бензол, толуол, ксилол), неароматические кольцевые углеводороды (скипидар), спирты (метилловый, этиловый, изопропиленовый), кетоны (ацетон, циклогексанон), и эфиры (этилацетат, бутилацетат). Все эти *нехлорированные* углеводороды токсичны и пожароопасны. Во вторую группу входят *хлорированные* углеводороды. Почти все они негорючи, но токсичны. При взаимодействии с водой, светом и теплом нестабилизированные хлорированные растворители разлагаются, а продукты разложения (соляная кислота, хлор, фосген) вызывают коррозию металлов. Хлорированные углеводороды работают при комнатной температуре.

Растворяющая способность органических растворителей высокая. Для некоторых видов она имеет следующие значения ($\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$): трихлорэтилен - 3,10; ксилол - 2,20; тетрахлорэтилен - 1,70; бензин - 1,30; уайт-спирит - 0,90; керосин - 0,60.

Растворяюще-эмульгирующие средства. При накоплении предельной массы загрязнений в органических растворителях процесс очистки прекращается. Этот недостаток частично устраняется применением *растворяюще-эмульгирующих средств* (РЭС).

РЭС состоят из базового растворителя, дополнительного растворителя, ПАВ и небольшой добавки воды. Базовыми растворителями служат ксилол, уайт-спирит и хлорированные углеводороды. Дополнительный растворитель обеспечивает однородность и стабильность раствора с эмульгированным (диспергированным) загрязнением. В качестве дополнительных растворителей применяют ализариновое масло, канифоль и трикрезол. Детали после извлечения из РЭС помещают в воду или раствор ПАВ, где происходит эмульгирование загрязнений (рис. 2.3).

РЭС применяют при очистке деталей от асфальто-смолистых отложений при температуре 20...50°C.

Очистные среды на основе растворов щелочных веществ и ПАВ. Создание *технических моющих средств* (ТМС) на основе щелочных веществ и ПАВ - одно из важнейших достижений в области очистки техники.

Щелочные компоненты в ТМС изменяют химический состав загрязнений и повышают активность ПАВ. Щелочную реакцию раствору придают как щелочи, так и щелочные соли.

ТМС являются многокомпонентными смесями химических веществ, каждое из которых выполняет определенные функции в процессе очистки. Состав ТМС подбирают для применения в конкретном технологическом процессе очистки деталей из определенного материала от заданных загрязнений.

Большинство ТМС состоят из смесей щелочных неорганических веществ - кальцинированной соды, силиката натрия, простых и полимерных солей фосфорной кислоты с небольшими добавками ПАВ. К таким порошкообразным ТМС относятся Лабомид, МС, МЛ, Викал, Темп и другие. ТМС Лабомид, МС, МЛ, Темп практически взаимозаменяемы при очистке деталей.

Твердые очистные среды, расплавы, кислоты и щелочи. Прочные неомыляемые загрязнения удаляются с поверхности детали путем их механического дробления потоком *твердых частиц* (косточковой крошки фруктовых растений, стеклянными шариками диаметром 0,3...0,8 мм, частицами полиэтилена или полиамида, корундом, чугуновой и стальной дробью, кварцевым песком). Среда переноса этих частиц - сжатый воздух, вода, растворы ТМС.

Расплав щелочей и солей. Состоит из едкого натра NaOH , азотнокислого натрия NaNO_3 и хлористого натрия NaCl . Расплав при температуре 300...420°C очищает поверхности деталей практически от всех видов загрязнений.

Растворы кислот или щелочей. Серную и соляную кислоты используют для травления, очистки от продуктов коррозии, накали, лакокрасочных покрытий и асфальто-смолистых отложений. Применяют также уксусную, щавелевую, олеиновую, лимонную и нафтеновую кислоты. Коррозионная активность кислот уменьшается при введении в очистной раствор ингибирующих добавок.

Растворы каустическую соду применяют в выварочных ваннах для снятия старой краски.

2.2. Определение технического состояния деталей ремонтного фонда и их сортировка

Очищенные детали ремонтного фонда сортируются на три группы: годные для дальнейшего применения, подлежащие восстановлению и утильные. Содержание работ по *определению технического состояния* изделий состоит в измерении значений установленных параметров и отнесении их к одной из трех названных групп. На исходных заготовках (вторая группа) находят сочетания повреждений и устанавливают маршруты восстановления. Работы выполняются на сортировочном участке.

2.2.1. Виды повреждений

Повреждения деталей - это недопустимые, приобретенные в эксплуатации отклонения значений свойств их материала и геометрических параметров от начальных, заложенных при изготовлении или ремонте.

В зависимости от природы возникновения повреждения деталей бывают в виде *износов, усталостных изменений, деформаций, изломов, трещин, пробоин, коррозии и старения материала.*

Повреждения по месту возникновения подразделяются на *наружные и внутренние*. Наружные повреждения определяют осмотром или измерениями, а внутренние – проникающими способами.

Основные характеристики повреждений: отклонения размеров, формы и взаимного расположения элементов от нормативных значений, размеры трещин и пробоин, расход пробного вещества (воды, воздуха) сквозь течи и механические характеристики.

2.2.2. Процессы и средства для определения повреждений

Операции по определения повреждений следующие: простукивание и наружный осмотр; измерение линейных и угловых размеров; измерение параметров формы и расположения поверхностей; обнаружение поверхностных трещин; определение течей; измерение специальных характеристик.

Простукивание применяют для определения “ослабленных” посадок шеек, шипов, штифтов и заклепок и контроля резьбовых сопряжений с натягом. Резьбы с натягом разбирают только при необходимости.

Обломы и большие наружные трещины выявляют *осмотром*. Применяют лупы складные ЛП-1, ЛАЗ, ЛПК-471, лупы штативные ЛШ, ЛПШ-25, ЛПШ-462, микроскопы отсчетные МИР-1М и МИР2 и микроскопы бинокулярные типа БМИ.

Измерение размеров, параметров формы и взаимного расположения поверхностей. *Линейные размеры* элементов деталей измеряют универсальными и специальными средствами измерений. К универсальным инструментам относят штангенциркули, штангензубомеры, штангенглубиномеры, гладкие микрометры, индикаторные нутромеры и скобы. Для повышения производительности измерений широко применяют специальные средства - непроходные неполные предельные калибры.

Диаметры внутренних и наружных цилиндрических поверхностей измеряют в двух взаимно перпендикулярных плоскостях или в плоскости наибольшего износа. Резьбовые шейки осматривают, а наиболее ответственные из них контролируют резьбовыми калибрами.

Угловые размеры измеряют угломерами с нониусами и тригонометрическими устройствами

Если деталь признают годной по линейным и угловым размерам, то измерения продолжают для выявления годности по параметрам формы и расположения поверхностей.

Отклонение от круглости измеряют кругломерами, от *плоскостности* - с помощью щупов или оптико-механическими приборами.

Отклонения от взаимного расположения поверхностей измеряют с помощью специальных средств, оснащенных индикаторами часового типа. Большую часть средств создают в собственном вспомогательном производстве.

Обнаружение поверхностных усталостных трещин. Визуально неразличимые трещины в исходных заготовках определяют с помощью магнитных, капиллярных и звуковых способов. Перспективно применение рентгено- и гаммадефектоскопии.

Магнитные способы применяют для контроля деталей из ферромагнитных материалов. Трещины в материале детали или включения обуславливают иную, чем в основном материале, магнитную проницаемость. Способы основаны на определении в месте расположения повреждения магнитного поля рассеяния. Эти способы надежны и просты, поэтому получили широкое распространение.

Сущность магнитного способа определения повреждений заключается в том, что магнитный поток, встречая на своем пути повреждение с низкой магнитной проницаемостью по сравнению с ферромагнитным материалом, огибает его. Часть магнитного потока выходит за пределы детали, образуя поток рассеяния. Поиск последнего составляет содержание способа.

По принципу определения магнитного потока рассеяния различают магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый и другие способы. Наибольшее распространение получил первый способ.

Магнитопорошковый способ включает следующие операции: подготовку детали к контролю, ее намагничивание, нанесение на проверяемую поверхность магнитного порошка или его взвеси, обнаружение повреждения, очистку и размагничивание детали.

Повреждения обнаруживаются, когда направление магнитного поля перпендикулярно трещине. Простые детали намагничивают в одном направлении, а сложные - в нескольких направлениях. Применяют три способа намагничивания: циркуляционное, полюсное и комбинированное.

Циркуляционное (поперечное) намагничивание производят пропусканием тока под напряжением ~ 12 В через проверяемую деталь (рис. 2.4 а) или через проводник, помещенный в отверстие детали. В этом случае хорошо обнаруживаются продольные трещины.

Полюсное (продольное) намагничивание до напряженности 480 А/см выполняют с помощью электромагнитов или соленоидов (рис. 2.4 б), при этом деталь намагничивают вдоль своего наибольшего размера и на ней обнаруживают поперечные трещины, расположенные под углом $65...90^\circ$ к продольной оси детали.

Комбинированное намагничивание (рис. 2.4 в) состоит в одновременном намагничивании детали двумя или несколькими магнитными полями разного направления для обнаружения трещин любого направления.

Магнитографический способ определения трещин заключается в намагничивании детали при одновременной записи магнитного потока рассеяния на магнитную ленту, покрываемую деталью, и последующей расшифровке полученной информации.

Детали из магнито жестких материалов должны быть размагничены.

Капиллярный способ является основным при обследовании деталей из цветных материалов, а также дополнительным к магнитопорошковому способу. Способ обладает высокой чувствительностью, с помощью его определяют шлифовальные и термические трещины, волосовины, поры и другие дефекты при операционном контроле.

Сущность способа заключается в том, что на очищенную поверхность детали с трещинами наносят проникающую жидкость (пенетрант), дают выдержку для проникновения жидкости в полость повреждения, удаляют ее остатки с поверхности детали, высушивают деталь и в заключении вызывают проникающую жидкость на поверхность детали. Чем глубже трещина, тем более широкая полоска жидкости будет на поверхности детали.

Проникновение пенетранта в полость повреждения возможно за счет его низкого поверхностного натяжения и образования мениска на его свободной поверхности.

Проникающую жидкость извлекают из трещины на поверхность детали сорбционным или диффузионным способом. В первом случае на поверхность детали наносят сухой порошок силикагеля, каолина, мела и др. (сухой способ) или средство в виде их суспензий в воде или органических растворителях (мокрый способ). Во втором случае наносят покрытие, в которое диффундирует проникающая жидкость из области повреждения. Этот способ более чувствителен, чем сорбционный, его применяют для обнаружения мелких трещин.

Для лучшего выявления полоски проникающей жидкости над трещиной в ее состав вводят цвето- и (или) светоконтрастные вещества. Если в пенетрант вводят красители, видимые при дневном свете, то способ называют *капиллярно-цветным*, а если в пенетрант вводят вещества, которые способны флуоресцировать в ультрафиолетовом свете, то способ называют *капиллярно-люминесцентным*.

Поверхностные трещины на деталях несложной формы определяют с помощью *ультразвуковых дефектоскопов*, использующих звуковые волны частотой 0,5...15 МГц. Наибольшее применение нашли устройства, работающие по принципу излучения и приема бегущих и стоячих акустических волн (рис. 2.5). В свою очередь, устройства, в которых применяют бегущие

волны, делят на две группы: использующие прохождение и отражение волн.

Способы *прохождения* волн подразделяют на теневой и временной. *Теневой* способ учитывает уменьшение амплитуды волны, прошедшей повреждение (рис. 2.6). *Временной* способ основан на запаздывании импульса, вызванного огибанием повреждения волнами.

Способ *отражения* волн (эхоспособ) основан на сопоставлении времени перемещения отраженных волн от повреждения и противоположной поверхности изделия (рис. 2.7). Эхоспособ применяется в том случае, когда доступ к поверхности детали возможен с одной стороны.

Согласно способу *свободных колебаний* в части изделия ударом возбуждают механические колебания и анализируют спектр возбуждаемых частот. В изделиях с трещинами спектр, как правило, смещается в высокочастотную сторону.

Внутренние полости некоторых деталей или сопряжений пар деталей проверяют на *герметичность*. Это свойство определяет способность конструкции или материала препятствовать проникновению жидкости или газа через стенки или стыки. В качестве пробного вещества применяют воду, керосин или воздух. Количественная характеристика герметичности выражается расходом газа или жидкости, протекающими через течь, или падением давления в полости за единицу времени. Наибольшее распространение в ремонтном производстве получили газовые манометрические способы. Таким образом контролируют блоки, головки и гильзы цилиндров, впускные трубы и газопроводы, корпуса воздухоочистителей и другие изделия.

2.2.3. Организация работ

При сортировке деталей по годности назначают сплошной контроль, потому что детали могут иметь критические повреждения.

При ремонте, как правило, принят качественный способ определения повреждений, т.е. устанавливают факт их наличия без определения количественных характеристик. Исключение составляет описание повреждений, способ устранения которых назначают в зависимости от величины повреждений (значений износов, длин трещин, площади пробоин и др.). В первую очередь находят повреждения, при наличии которых деталь выбраковывают.

Повреждение на детали помечают, а в соответствующем поле ведомости ставится знак “+”. Отсутствие пометки означает годность элемента детали.

2.3. Виды и характеристика способов создания ремонтных заготовок

2.3.1. Определение и назначение ремонтных заготовок

Ремонтная заготовка – это восстанавливаемая деталь с припусками на ее поверхностях. Эти припуски необходимы для ее механической обработки с целью обеспечения необходимых значений физико-механических свойств и точностных параметров взаимного расположения, формы, размеров и шероховатости поверхностей.

Виды ремонтных заготовок определяются способом создания припусков для их последующей механической обработки. Эти припуски получают одним из трех способов:

- использованием материала на поверхности восстанавливаемого элемента самой детали для его обработки под один из ремонтных размеров;
- перемещением материала детали из ее неизнашиваемого объема в зону будущей обработки путем пластического деформирования.
- нанесением покрытия.

Два последних способа позволяют восстанавливать элементы деталей до номинальных размеров. Последний способ получил наибольшее распространение.

Покрытие – это материал, нанесенный на восстанавливаемую поверхность детали и имеющий с ней механическую или химическую связи.

Слой – это часть покрытия или основного металла детали по толщине, характеризующаяся постоянством химического, структурного или фазового состава.

На операциях создания ремонтной заготовки, в основном, формируют состав материала рабочих поверхностей детали путем выбора материала покрытия и условий его нанесения, что в значительной мере определяет послеремонтную надежность детали. В дальнейшем необходимая совокупность структуры и свойств восстановленных поверхностей будет обеспечена термической, химико-термической и механической обработкой. Вид и свойства восстановительного покрытия должны обеспечить возможность его механической обработки.

Численные значения свойств по толщине восстановительного покрытия и материала детали должны изменяться не скачкообразно, а плавно по установленному закону. Смежные слои покрытия и основы обеспечивают прочное соединение покрытия с материалом детали, следующий слой повышает механическую прочность детали, в том числе усталостную, а наружный слой, участвующий в трении, обеспечивает необходимую износостойкость восстановленного элемента.

Нанесение покрытий позволяет исключить применение дорогостоящих и дефицитных материалов (стали ШХ15, 38ХС, 38ХГН и др.) в качестве основы детали и применять для этих целей конструкционные стали (сталь 40 и др.). В условиях абразивного изнашивания срок эксплуатации деталей с покрытиями повышается в 2,0...2,5 раза по сравнению с термообработанными поверхностями деталей из конструкционных сталей.

Процесс получения ремонтных заготовок. В основу классификации способов создания припусков на восстанавливаемых поверхностях положены признаки превращения основного материала в покрытие а также виды потребляемой энергии. Процесс создания ремонтных заготовок будет определен, если указаны:

- степень дробления исходного материала (ионы, молекулы, частицы, капли, вся масса покрытия);
- место дробления исходного материала в процессе нанесения покрытия (перед нанесением, в процессе нанесения);
- среда переноса материала (жидкий раствор, сжатый воздух, продукты горения газов, плазма, вакуум);
- состояние наносимого материала (твердое, жидкое, парообразное);
- состояние материала поверхности детали (твердое, жидкое);
- способ защиты зоны нанесения покрытия от вредного влияния окружающей среды (без защиты, с местной защитой, в герметичной камере);
- вид связи между покрытием и основой (химическая, механическая, диффузионная и др.);
- виды энергии, соответственно, на дробление, перенос и закрепление материала (механическая, химическая, тепловая, электрическая, магнитная и др.).

Сочетание приведенных признаков без пропусков и повторений описывает как применяемые, так и новые способы создания ремонтных заготовок путем нанесения покрытий.

2.3.2. Классификация и общая характеристика способов создания ремонтных заготовок

Классификация способов. Ремонтные заготовки получают без вложения или с вложением материалов в исходные заготовки (рис. 2.8.). В первом случае элементы детали обрабатывают под ремонтные размеры и в качестве припусков используют изношенные поверхностные слои материала или материал детали перемещают внутри ее объема. Во втором случае на восстанавливаемые элементы наносят покрытия и деталь в процессе восстановления приобретает номинальные размеры.

Способ получения сопряжения деталей с ремонтными размерами бывает основным при освоении ремонта агрегатов, когда ограничены или отсутствуют мощности по нанесению восстановительных покрытий. Восстанавливаемый элемент более дорогой и трудоемкой детали сопряжения обрабатывают под ремонтный размер. Другую сопрягаемую деталь изготавливают или приобретают. Способ обеспечивает наименьшую трудоемкость восстановления, правильную геометрическую форму восстанавливаемых элементов и возвращает сопряжению деталей первоначальный зазор. Однако, реализация способа сопряжена с большими затратами на приобретение

заменяемой детали, а в эксплуатации возможен повышенный износ подвижного сопряжения из-за снятия наружного более износостойкого слоя материала, имеет место также снижение усталостной прочности шеек валов.

Восстановительные покрытия наносят наплавкой, приваркой, напылением, химическим осаждением из растворов, электролизом, осаждением из газовой или парогазовой фазы и др.

Ведущее место в процессах создания ремонтных заготовок занимает наплавка, в свою очередь до 80 % ее объема приходится на ее механизированные способы. При наплавке применяют различные источники тепла для нагрева наносимых материалов и детали. При этом материал покрытия плавится (теплом пламени, дуги, тока, излучения и др.), переносится на оплавленную восстанавливаемую поверхность, а ванна металла кристаллизуется.

В зависимости от вида присадочного материала различают дуговую наплавку: компактной или порошковой проволокой или лентой, по оболочке, электромагнитной шихтой и порошками. В зависимости от вида защиты сварочной ванны от влияния атмосферного воздуха наплавка бывает: без защиты, под слоем флюса, в среде защитных газов, самозащитной проволокой. По степени автоматизации наплавку делят на ручную, полуавтоматическую и автоматическую.

В зависимости от вида источника диспергирования частиц напыляемого материала и источника тепловой энергии различают основные виды газопламенного напыления: электродуговое, газопламенное, детонационное и плазменное. Плазменное напыление, в свою очередь, подразделяется на индукционное и плазменно-дуговое. По виду защиты рабочей зоны напыления различают его виды: без защиты, с местной защитой и в герметичной камере.

Процессы создания припусков с применением дополнительных деталей (ДРД) подразделяют в зависимости от способа закрепления ДРД и используемой, при этом, энергии.

Процессы перемещения материала заготовки пластическим деформированием подразделяются в зависимости от вида и источника применяемой энергии и соотношения направлений сил и деформаций.

В ремонтном производстве нашли наибольшее применение: электродуговая наплавка, газотермическое напыление, нанесение электрохимических покрытий, электроконтактная приварка металлического слоя, пластическое деформирование материала, нанесение полимерных покрытий, закрепление дополнительных ремонтных деталей. Для получения ремонтных заготовок ограниченно применяют пайку, заливку металлов и пластмасс.

Заготовки машиностроения в зависимости от способа их получения делятся на штамповки, поковки, отливки и др. Ремонтные заготовки также делятся на заготовки, полученные наплавкой, напылением, электрокон-

тактной приваркой металлического покрытия, пластическим деформированием, химическим, электрохимическим и электроискровым нанесением покрытий и др.

В настоящее время наибольшее развитие получают прогрессивные способы создания ремонтных заготовок: пластическое деформирование материала, лазерная обработка, ионно-плазменное напыление и др. Электронно-лучевая и лазерная обработка, электроискровое наращивание, детонационное напыление обеспечивают высокое качество покрытий и относятся к перспективным способам.

Краткая характеристика способов. Высокую производительность показывают способы напыления и наплавки. По этому показателю им уступают процессы электрохимического осаждения металлов.

Высокую прочность соединения покрытия с основой обеспечивает наплавка и способы напыления (плазменное и детонационное), обеспечивающие скорость частиц свыше 400 м/с.

Наибольший расход электроэнергии приходится на электрохимическое нанесение покрытий. Наплавка на переменном токе требует в два раза меньше электроэнергии, чем на постоянном токе.

Необходимую твердость покрытий можно получить практически всеми способами. Большая толщина наплавочных покрытий в ряде случаев оказывается неустойчивой.

Способы получения ремонтных заготовок пластическим деформированием их материала не требуют нанесения покрытий и как следствие расхода основных материалов, хотя требуют затрат механической и тепловой энергии.

Выбор способа создания ремонтной заготовки основан на сопоставлении его вариантов с учетом как трудоемкости, расхода материалов и энергии, так и последующей долговечности восстановленной детали.

2.3.3. Значение рационального выбора ремонтной заготовки

Технологический процесс получения ремонтной заготовки в большой степени формирует будущую надежность восстановленной детали и определяет затраты на свою реализацию.

Работоспособность деталей с покрытиями зависит от прочности соединения покрытия с основой, сохранением или повышением усталостной прочности элементов детали и износостойкостью поверхностей.

Вид применяемой заготовки, масса применяемого материала, количество труда и затраченной энергии на реализацию процесса определяют эффективность процесса создания ремонтной заготовки.

2.4. Материалы для нанесения покрытий

2.4.1. Определения и виды материалов

Материал – это исходный предмет труда, потребляемый для изготовления изделия. Материал делят на основной и вспомогательный.

Основной материал – это материал исходной заготовки. К основному материалу относят также материал, масса которого входит в массу изделия при выполнении технологического процесса (например, материал наплавочного электрода, припоя).

Основной материал, применяемый для нанесения покрытия, претерпевает существенные изменения. В результате технологических операций изменяются свойства, а в ряде случаев и химический состав материала.

Вспомогательный материал расходуется дополнительно к основному материалу при выполнении технологического процесса. Это флюсы и защитные среды при наплавке (например, диоксид углерода, аргон), охлаждающие среды при закалке, пропиточные материалы при герметизации стенок и многие другие.

Материалы делят на группы по следующим основным признакам: виду и назначению, химическому составу и структуре и др. При восстановлении деталей применяют проволоки и ленты, электроды и прутки, порошки и шнуры, пластмассы и резины, электролиты, защитные газы и флюсы, и ряд других. Материалы, из которых получают покрытия с использованием источником тепла приведены в настоящем разделе.

2.4.2. Проволока и ленты

Проволоку применяют для автоматической и механизированной наплавки, газотермического напыления и электроконтактной приварки. Поставляют ее в бухтах, катушках и барабанах.

Стальную *сварочную проволоку* согласно ГОСТ 2246-70 делят на углеродистую, легированную и высоколегированную. Предусмотрено 77 марок проволок диаметром от 0,3 мм до 12 мм.

Выпускают специальную *наплавочную проволоку* по ГОСТ 10543-98 диаметром от 0,3 до 8,0 мм. Наплавочную проволоку изготавливают из углеродистых (Нп-30, Нп-45, Нп-50 и др.), легированных (Нп-65Г, Нп-30ХГ-СА, Нп-40Х3Г2МФ и др.) и высоколегированных (Нп-40Х13, Нп-45Х4В3ГФ, Нп-Г13А и др.) сталей. На практике в наплавочных работах находит применение также стандартная сварочная проволока и проволока по ГОСТ 9389-75, предназначенная для изготовления пружин.

Для сварки алюминия и его сплавов предусмотрено 25 различных видов проволоки по ГОСТ 7871-75 диаметром 0,8...12,5 мм. Для сварки меди и ее сплавов служат проволоки по ГОСТ 16130-80 из меди (М1, М1р, М2р, Мсп1, МНЖ5-1, МНЖКТ5-1-0-0,2-0,2 и др.), бронзы (БрКМц3-1, БрОЦ4-3, БрАМЦ9-2 и др.) и латуни (Л63, ЛО60-1, ЛК62-05, ЛМц58-2, ЛОК52-1-0,3 и др.)

Проволока для напыления. Для газотермических покрытий применяют как сварочную (Св-08Г2С, Св-07Х19Н9ТЮ), так и наплавочную (Нп-65Г, Нп-40Х13 и др.) проволоку.

Стальная наплавочная лента представляет собой полосу толщиной 0,4...0,6 мм и шириной 30...100 мм. Применение ленты обеспечивает широкослойную наплавку с большой производительностью и небольшой глубиной проплавления основного материала. Материалом холоднокатанной ленты служат конструкционные, инструментальные, пружинные или коррозионностойкие стали с невысоким содержанием углерода.

Порошковая проволока состоит из мягкой тонколистовой металлической оболочки и сердцевины, которая представляет собой смесь порошков чистых металлов, ферросплавов, карбидов, боридов, раскислителей, шлакообразующих и стабилизирующих горение дуги веществ (рис. 2.9). Распространенный диаметр порошковой проволоки 2,6...3,6 мм, однако для наплавки крупногабаритных деталей используют проволоку диаметром до 8 мм.

Ленточные электроды позволяют повысить производительность процесса наплавки и уменьшить глубину проплавления основного металла. Холоднокатаную ленту можно изготовить только из пластичных деформируемых сплавов с невысоким содержанием углерода, поэтому изготавливают спеченную и порошковую ленты. *Порошковая лента* (рис. 2.10) состоит из стальной оболочки и шихты из молотых порошков. В отличие от порошковой проволоки ее не подвергают волочению. *Спеченную металлокерамическую ленту* на железной основе изготавливают из смеси металлических порошков, ферросплавов, графита и других компонентов путем холодной прокатки смеси с последующим спеканием в восстановительной среде.

2.4.3. Штучные электроды и прутки

Электроды применяют для ручной электродуговой сварки и наплавки различных деталей.

Электрод сварочный – это стержень, по которому подводится к детали электрический ток во время сварки, наплавки или резки. Электроды бывают плавящиеся и неплавящиеся. Основой плавящегося электрода является сварочная проволока, материал которой в процессе сварки наносится в виде валика на деталь. Неплавящийся электрод изготавливают из электротехнического, реже синтетического, графита или вольфрама.

Электроды для сварки обозначают буквой Э с двухцифровым числом через дефис. Число показывает прочность сварного шва на растяжение. Электроды для наплавки обозначают буквами ЭН и числом, которое указывает гарантированную твердость наплавленного материала. Каждому типу электродов соответствует несколько их марок, различающихся видом и составом покрытий. По ГОСТ 10051-75 установлено 44 типа электродов.

Для сварки и наплавки деталей применяют электроды с покрытиями.

Тонкие (стабилизирующие) покрытия электродов служат только для обеспечения устойчивого горения дуги. Толстые (качественные) покрытия в отличие от стабилизирующих не только повышают устойчивость горения дуги, но и улучшают качество сварного шва.

Толстые покрытия защитно-легирующего типа включают в себя такие вещества:

- стабилизирующие процесс горения дуги, (сода, поташ, диоксид титана, мел, мрамор и др.)
- органические соединения (крахмал, муку пищевую или древесную, декстрин), образующие газ для защиты расплавленного металла от вредного влияния атмосферы;
- шлакообразующие (титановый концентрат, марганцевую руду, полевой шпат, плавиковый шпат, кварц, гранит, мрамор, каолин и др.), которые очищают расплавленный металл и защищают его от вредного влияния атмосферы;
- раскисляющие и легирующие (ферромарганец, ферросилиций, ферротитан, алюминий и др.)
- связующие (жидкое стекло, декстрин и др.).

Наплавочные покрытые электроды представляют собой электродный стержень, покрытый толстым электродным покрытием.

Электроды для *сварки и наплавки чугуна* предназначены для устранения повреждений в чугунных отливках с помощью холодной сварки и наплавки. Они позволяют получать металл шва или покрытия с заданными свойствами в виде стали (ЦЧ-4), сплавов на основе меди (ОЗЧ-2, ОЗЧ-6), никеля (ОЗЧ-3, ОЗЧ-4), железоникелевого (ОЗЖН-1, ОЗЖН-2) и медноникелевого (МНЧ-2) сплава.

Прутки применяют в основном для газопламенной и аргонодуговой наплавки в качестве присадочных материалов без приложения к ним электрического напряжения. Прутки получают литьем. Их изготавливают диаметром 4, 6, 8, 10, 12, 14 и 16 мм и длиной 250, 300, 350, 400, 450 и 500 мм.

Литые прутки для износостойкой наплавки подразделяют на четыре группы: сормаиты (сплавы на железо-хромовой основе с марганцем и никелем); стеллиты (сплавы на основе кобальта); релиты (литые карбиды вольфрама); сталиниты (сплавы на железо-углеродной основе, содержащие 24...26 % хрома, 6...9 % марганца, до 3 % кремния и 7...10 % графита).

Литые прутки применяют также и для изготовления покрытых электродов для ручной дуговой наплавки, например, марки ГН-1 со стержнем из сплава “сормайт” и ЦН-2 со стержнем из стеллита ВЗК.

2.4.4 Порошки и шнуры

Номенклатура порошковых материалов для наплавки и напыления покрытий весьма разнообразна. Она включает в себя порошки чистых ме-

таллов и сплавов, композиционных материалов, тугоплавких соединений и порошковые смеси.

Порошки *чистых металлов* алюминия, меди, железа, никеля, кобальта, хрома, вольфрама, молибдена и др. в процессах восстановления и деталей находят ограниченное применение. Как правило, эти порошки обладают удовлетворительными технологическими свойствами и высокой стоимостью.

Распространенными материалами являются порошки *сплавов*, получаемые распылением расплава в защитной атмосфере. Порошки инструментальных и конструкционных сталей применяют при восстановлении режущего и штампового инструмента горячего и холодного деформирования, валков горячей прокатки, плунжеров, роликов, ножей блюмингов, рабочих органов землеройного оборудования.

Порошки коррозионно-стойких сталей и сплавов (табл. 3.9) применяют для уплотнительных и защитных покрытий на деталях двигателей внутреннего сгорания и вентиляторов, валов и подшипников скольжения энергетического и химического оборудования.

Самофлюсующиеся порошки получили наибольшее распространение при восстановлении деталей. Особое преимущество материалов этого класса состоит в том, что оплавление покрытия происходит без применения дополнительных флюсов или защитных сред. Химический состав сплавов обеспечивает пониженную температуру плавления. Расплав хорошо смачивает наплавляемую поверхность, удаляет оксидные пленки, частично растворяет подложку, что в конечном итоге приводит к формированию качественного покрытия с минимальной пористостью, высокой прочностью соединения с основой и гладкой поверхностью. Основными элементами, обеспечивающими самофлюсование сплава, являются бор и кремний, имеющие высокое сродство к кислороду. При взаимодействии с оксидами они ведут себя как энергичные восстановители, образуя B_2O_3 и SiO_2 в виде стекловидного шлака на поверхности. Помимо флюсования В и Si улучшают жидкотекучесть и уменьшают поверхностное натяжение расплава. В настоящее время выпускают самофлюсующиеся порошки на основе кобальта, никеля и железа.

Специфические свойства имеют *порошки тугоплавких соединений*. К ним относятся карбиды, оксиды, бориды, нитриды, интерметаллиды и их комбинации. Наиболее часто их применяют для напыления газотермических покрытий. Широко используют оксиды и карбиды.

Наряду с композиционными частицами сочетание положительных свойств различных порошков достигается за счет напыления их *механических смесей*.

Гибкие порошковые *шнуры* “Сфекорд” созданы в 70-х годах французской фирмой “Сфек”. Они представляют собой композиционный материал, по внешнему виду похожий на проволоку. Шнуры получают экструзией,

они состоят из порошкового наполнителя и органического связующего. Связующее полностью сублимирует при нагреве свыше 400°C. Материал в виде шнура диаметром 1,5...6,35 мм в состоянии поставки намотан на бобину.

Выпускают четыре типа шнуровых материалов и комбинации из них.

Шнуры типа “Сфекорд-керамика” из оксидов алюминия, хрома, титана, кремния и некоторых их комбинация обеспечивают покрытиям высокую твердость, износо- и коррозионностойкость и диэлектрическую прочность.

Шнуры типа “Сфекорд-экзо” из порошковых сплавов на основе никеля, железа, меди, интерметаллидов и терморреагирующих материалов применяют для нанесения покрытий без последующего оплавления.

Шнуры типа “Рокдюр” содержат самофлюсующиеся сплавы с различными другими сплавами и оксидами. Нанесение покрытий включает их последующее оплавление.

Для получения твердых покрытий с низким коэффициентом трения, состоящих из твердой матрицы и твердой смазки, изготавливают гибкие шнуры, содержащие никель или оксиды TiO_2 , Al_2O_3 , и Cr_2O_3 с графитом или дисульфидом молибдена.

С помощью шнура можно также создать композицию специальных сплавов или сочетание таких элементов, как бор, кремний, титан, молибден, позволяющих получать твердые покрытия, диспергированные фазами боридов, силицидов других веществ.

2.5. Сварка в процессах создания ремонтных заготовок

2.5.1. Общие сведения о сварке и соединениях

Определение и виды сварки. Сварка в ремонте машин служит для соединения между собой деталей или их частей, закрепления дополнительных ремонтных деталей или накладок и устранения трещин с помощью сварных швов.

В зависимости от вида используемой энергии сварочные процессы разделяют на три класса: термические, механические и термомеханические. Технические признаки определяют способ защиты зоны сварки, непрерывность процесса и степень механизации, в свою очередь, технологические признаки уточняют технические.

Наибольшее применение нашла термическая сварка с плавлением материала кромок деталей, образованием сварочной ванны, подачей в нее жидкого присадочного металла и кристаллизацией металла сварного шва. В ремонтном производстве распространены такие виды сварки: электродуговая ручная электродами с толстым покрытием и прутками; электродуговая полуавтоматическая сплошной и порошковой проволоками; газопламенная прутками.

Сварной шов и его дефекты. Сварной шов (рис. 2.11) состоит из наплавленного металла, слоя переменного состава наплавленного металла, перемешанного с основным и зоны термического влияния, металл которой нагревался и охлаждался вследствие теплопередачи. В сварных швах при их образовании появляются наружные и внутренние дефекты.

К наружным дефектам относятся горячие и холодные трещины, подрезы, наплывы и непровары.

Горячие трещины во время сварки углеродистых сталей возникают при температуре 1200...1350 °С во время кристаллизации наплавленного металла. Если в это время на границе зерен имеется сравнительно легкоплавкая эвтектика, то она может разрушиться под влиянием растягивающих напряжений. Этим дефектам подвержены широкие швы

Предварительный до 150...700 °С и сопутствующий подогрев детали во время сварки уменьшают вероятность появления горячих трещин. Этой цели служат также удаление с поверхности детали слоя повышенной твердости или содержащего дефекты, замедленное охлаждение наплавленного металла, проковка шва для снятия внутренних напряжений и уменьшение числа слоев металла при многослойной сварке.

Холодные трещины образуются при температуре ниже 400 °С. Этим дефектам подвержены мартенситные и перлитные стали при их быстром охлаждении. Трещины распространяются из наплавленного металла в основной.

Подрез – это канавка у края шва. Он получается при сварке током большой силы или горелкой большой мощности.

Наплыв происходит при быстром плавлении электрода или прутка и недостаточном нагреве свариваемого металла.

Непровар характеризуется плохой связью или ее отсутствием между наплавленным и основным металлами.

К внутренним дефектам относят пережоги, шлаковые включения и газовые поры.

Пережог – это неисправимый дефект сварного шва, образующийся при пребывании металла в окислительной среде в жидком виде или при температуре, близкой к температуре плавления.

Шлаковые включения образуются при сварке длинной дугой или окислительным пламенем.

Газовые поры – это пузырьки газов CO, CO₂, H₂ и др. Они возникают при использовании влажных электродах, неправильной регулировке горелки и плохой очистке поверхностей.

2.5.2. Сварка стали

Стали перлитного и мартенситного классов относятся к материалам с большим объемом полиморфного превращения. Они допускают исправление грубой структуры металла шва и рекристаллизационной структуры основного металла путем последующей термической обработки. Сварка стальных деталей по особенностям процесса разделяется на четыре группы.

Малоуглеродистые (сталь 10 и 20, Ст 3) и низколегированные (15Х, 15ХГ, 12ХН2 и др.) стали хорошо свариваются всеми видами сварки, не подвержены существенной закалке при сварке, поэтому после сварки не проходят термическую обработку. Тонколистовые панели сваривают электродуговой сваркой током обратной полярности в среде диоксида углерода или газовой сваркой.

Среднеуглеродистые (сталь 30, 35 и др.) и низколегированные стали с содержанием углерода 0,3...0,4 % твердостью до 250 НВ относятся к удовлетворительно свариваемым материалам. Изделия сложной формы и толщиной стенок более 15 мм сваривают с предварительным подогревом до 200 °С. После сварки производят отпуск при 650 °С. Газовую сварку выполняют только при положительной температуре.

Ограниченно свариваются стали 45 и 50 и низколегированные стали с содержанием углерода до 0,45 %. Для деталей из марганцовистых сталей с толщиной стенок до 4 мм применяют сварку газовую, ручную дуговую, под флюсом и в среде диоксида углерода. Детали после сварки проходят нормализацию.

Плохо свариваются стали с содержанием углерода > 0,55 % и малоуглеродистые стали с цементированными рабочими поверхностями. Для предупреждения образования трещин на границе сварки с цементованным слоем деталь необходимо подогреть до температуры 150...200 °С.

2.5.3. Сварка чугуна

Особенности сварки. Сварка чугуна усложнена его низкой пластичностью и склонностью к отбеливанию. При усадке чугуна возникают значительные внутренние напряжения. Кроме того, образующиеся при сварке чугуна тугоплавкие оксиды создают на поверхности сварочной ванны твердую корку, которая препятствует свободному выходу газов из расплавленного металла, что приводит к образованию пор.

Для получения мягкой перлитно-ферритной структуры необходимо, чтобы процесс графитизации происходил более полно. Этому способствует присутствие С, Si, Al, Ti, Ni и Cu в составе наплавочных материалов. Карбидообразующие элементы W, Cr, V и Mo связывают углерод в труднорастворимые карбиды.

Чугун сваривают дуговой (в том числе порошковой проволокой), газовой или аргоно-дуговой сваркой.

Способы сварки. Применяют два основных способа сварки чугуна: горячий (с подогревом детали) и холодный (без подогрева).

При *горячей* сварке кромки чугунной детали предварительно разделяют, а затем деталь нагревают до температуры 600...650 °С. Сварку ведут газо-кислородным пламенем.

В качестве присадочного материала используют чугунные прутки марки А с повышенным содержанием кремния (до 3,0...3,5 %) или латунную проволоку Л63. Для первого материала используют флюс ФСЧ-1, для второго - флюс, состоящий из смеси буры и углекислого натрия в равных массовых долях. За сваркой следует низкотемпературный отжиг, т.е. нагрев детали до 650...700 °С и охлаждение ее вместе с печью.

Горячая сварка обеспечивает высокое качество шва, однако она энерго- и трудоемкая, сопряжена с тяжелыми условиями труда, поэтому ограничено применяется при восстановлении корпусных деталей.

Холодная сварка чугуна проще. Применяют следующие ее виды: газовую; ручную и полуавтоматическую стальными электродами и электродами из цветных металлов и сплавов.

Газовую сварку тонкостенных деталей выполняют прутками Пр-ЧН1, а толстостенных Пр-ЧН2. Применяют флюсы ФЧН-1 и ФЧН-2.

Широко применяют медные электроды ОЗЧ-1 с фтористо-кальциевым покрытием и электроды МНЧ-1 (из монель-металла) с фтористо-кальциевым покрытием. Вместо медно-никелевых электродов можно использовать железо-никелевые электроды типа ЖНБ. Хорошие результаты при холодной сварке чугуна дает применение проволоки ПАНЧ-11 и ПАНЧ-12 диаметром 1,4 мм.

Газовую сварку-пайку при более низкой температуре процесса (до 950 °С) ведут электродами ЛОМНА-49-05-10-04, ЛОК-59-1-03 или Л-63 с флюсами.

Уменьшение твердости материала шва при сварке чугуна достигают способом отжигающих валиков, когда предыдущие участки сварки отжигаются теплом от последующих участков. Твердость шва при этом снижается на 20...25 %.

2.5.4. Сварка цветных металлов

Алюминиевые сплавы. Их сварка характеризуется плохой свариваемостью металла, потому что на поверхности нагреваемой детали образуется пленка плотного, химически стойкого и тугоплавкого оксида. При нагреве до 400...500 °С сплав теряет свою прочность и деталь может разрушиться даже под действием собственного веса. Коэффициент линейного расширения материала в 2 раза, а теплопроводность в 3 раза больше, чем у стали, что способствует появлению значительных остаточных напряжений в свариваемых деталях. Большая растворимость водорода в расплавленном металле способствует образованию пор.

Оксидную пленку удаляют шабрением или растворением во флюсах, или катодным распылением.

Алюминий и его сплавы сваривают одним из следующих способов: ручной дуговой сваркой плавящимся или неплавящимся электродами; газовой сваркой с применением флюсов или без них; аргоно-дуговой сваркой.

Сварку плавящимися электродами ведут короткой дугой прямой полярности. Перед заваркой трещины по всей ее длине вырубает канавку.

В качестве флюсов для сварки деталей из алюминиевого сплава подбирают вещества из группы галогенов (NaF , NaCl , KCl , Na_3AlFe_6 , BaCl_2 , CaF_2 и др.), которые восстанавливают алюминий из его оксидов.

При дуговой сварке алюминиевых сплавов А6, АД0, АД1, АД2 применяют электроды ОЗА-1 и флюс АФ-4А, сплавов АМц и АЛ9 – электроды А-2, силуминов АЛ2, АЛ4, АЛ5, АЛ9П и АЛ-11 – электроды ОЗА-2. Диаметр электродов 4...6 мм. Участок детали под сварку предварительно подогревают в термической печи или пламенем газовой горелки.

Сварку угольными электродами ведут на постоянном токе прямой полярности.

Газовую сварку без флюса ведут горелкой с восстановительным пламенем. Разогревают место сварки и присадочный материал до плавления, затем прутом из нержавеющей стали удаляют оксиды и перемешивают основной и присадочный материалы.

Газовая сварка ацетилено-кислородным пламенем выполняется с помощью флюсов АФ-4А, АН-4А и других, содержащих хлористые и фтористые соли лития, натрия, калия и бария.

Широкое распространение при восстановлении деталей из алюминиевого сплава получила аргоно-дуговая сварка на переменном токе. Осциллограмма напряжения источника питания имеет специальную характеристику (рис. 2.12.).

В полупериоде прямой полярности, когда катодом является нагретый свыше 3700°C вольфрамовый электрод, мощная термоэлектронная эмиссия обеспечивает значительный ток дуги и интенсивное плавление основного металла. Напряжение зажигания почти равно напряжению дуги и при короткой дуге в аргоне может составлять всего 10 В. В конце полупериода дуга гаснет.

В полупериоде обратной полярности для зажигания дуги за счет автоэлектронной эмиссии требуется очень большое напряжение – около 200 В. В это время термоэлектронная эмиссия сравнительно холодного алюминиевого катода ничтожно мала. Пик необходимого напряжения для зажигания дуги создает импульсный источник. В этом полупериоде идет очень полезный процесс – интенсивное катодное распыление пленки оксида алюминия путем ее разрушения положительными ионами.

В качестве присадочного материала применяют прутки того же состава, что и основной металл, а также проволоку Св-АК5, Св-АК10.

Свинец. Его сварка также сопровождается образованием сравнительно тугоплавких оксидов. Сварку ведут нейтральным ацетиленокислород-

ным пламенем или с применением газов – заменителей ацетилен. Присадочным материалом служит свинцовая проволока или полоса. В качестве флюса применяют стеарин, которым натирают присадочный материал, или состав из равных частей стеарина с канифолью.

Медные сплавы. Их сварка характеризуется хорошей свариваемостью, которая несколько ухудшается за счет легкой окисляемости расплава и образованию закиси меди, способствующей образованию трещин и газовых включений.

Применяют электродугую сварку током прямой полярности под флюсом (94...96 % буры и 4...6 % магнезия), в защитных газах и плазменную. Электроды могут быть угольные, медные МСр-1, М0 и М1 или комбинированные АНЦ-1 и АНЦ-2.

2.6. Наплавка покрытий

2.6.1. Общая характеристика способа

Наплавка покрытий – это процесс нанесения расплавленного материала на разогретую до температуры плавления поверхность восстанавливаемой детали.

Наплавленные покрытия являются беспористыми, они обладают высокими значениями модуля упругости и прочности на разрыв. Прочность соединения этих покрытий с основой соизмерима с прочностью материала детали. Если в машиностроительном производстве наплавку применяют для повышения износостойкости трущихся поверхностей, то в ремонтном производстве она необходима для последующих работ по восстановлению расположения, формы, размеров, шероховатости и износостойкости изношенных элементов. Состав и структура покрытий обеспечивает также получение новых свойств, таких как стойкость к изнашиванию, коррозии, эрозии, кавитации и тепловому воздействию.

Способы наплавки делят на группы в зависимости от видов применяемых источников тепла, характера легирования материала и способа его защиты от влияния кислорода и азота воздуха. Наибольшее распространение в ремонте при нанесении покрытий получили различные виды электродуговой наплавки (под флюсом, в среде защитных газов, вибродуговая, самозащитной проволокой) и плазменная. Им уступают по применимости электрошлаковая, индукционная и лазерная наплавки. Перспективным видом является наплавка наплавлением.

2.6.2. Виды электродуговой наплавки

Электродуговая наплавка позволяет получать покрытия с высокой производительностью практически любой толщины, различного химического состава с высокими физико-механическими свойствами.

Виды и характеристика. Электродуговая наплавка имеет большое количество видов. При ее разделении на группы применяют такие класси-

фикационные признаки: уровень механизации; вид применяемого тока; вид электрода; полярность электрода при постоянном токе; способ защиты зоны наплавки от воздушной атмосферы; способ легирования наплавляемого металла.

При *ручной* наплавке рабочий выполняет все технологические перемещения за счет расходования своей мускульной энергии, в автоматической – за счет использования энергии неживой природы, в полуавтоматической – оба вида энергии.

При электродуговой наплавке чаще применяют плавящиеся электроды. Неплавящиеся угольные электроды с введением присадочного материала в дугу применяют при сварке свинца и тонколистовой стали и при наплавке твердых сплавов.

Дуга может гореть между электродом и изделием или между электродами. Полярность может быть прямая (+ на детали) или обратная.

Технологические особенности электродуговой наплавки учитывают с целью ослабления нежелательных сопутствующих явлений, таких как окисление металла, поглощение азота, выгорание легирующих примесей и нагрев материала детали выше температуры фазовых превращений. Окисление металла (рис. 2.13 а) приводит к снижению механических свойств сварочного шва. Поглощение азота (рис. 2.13 б) вызывает образование нитридов железа, марганца и других элементов, что увеличивает прочность шва, но резко уменьшает ударную вязкость. Свойства покрытия ухудшаются также при перемешивании его материала с материалом основы.

Ручная электродуговая наплавка выполняется в основном электродами с толстым покрытием и в тех случаях, когда применение механизированных способов невозможно или нецелесообразно.

Для получения минимальной глубины проплавления основного металла электрод наклоняют в сторону обратную направлению наплавки (рис. 2.14). Высокая квалификация сварщиков необходима для того, чтобы вести наплавку на минимально возможных токе и напряжении с целью уменьшения доли основного металла в наплавленном покрытии.

Процесс применяют для нанесения износостойких материалов на поверхности деталей в единичном производстве.

Наплавка под слоем флюса. Сущность электродуговой наплавки под слоем флюса заключается в том, что сварочная дуга горит между голым электродом и изделием под слоем гранулированного флюса.

В зону наплавки подают электродную сплошную или порошковую проволоку (ленту) и флюс (рис. 2.15). К детали и электроду прикладывают электрическое напряжение. Применяют постоянный ток обратной полярности. При наплавке цилиндрических поверхностей электрод смещают с зенита в сторону противоположную вращению. Величина смещения составляет ~ 10 % диаметра наплавляемой детали. Электрод должен составлять угол с нормалью к поверхности 6...8°. Флюс в зону наплавки подают

из бункера. Расход флюса и, соответственно, толщину его слоя на поверхности детали регулируют открытием шибера. После зажигания дуги одновременно плавится электродная проволока, поверхность детали и флюс. Сварочная дуга с каплями металла оказываются в объеме газов и паров, ограниченном жидким пузырем из расплавленного флюса. Этот пузырь обволакивает зону наплавки и изолирует ее от кислорода и азота воздуха. Жидкий металл в сварочной ванне состоит на 1/3 из расплавленного присадочного и на 2/3 из переплавленного основного металла, он постоянно движется и перемешивается. Массы расплавленных флюса и присадочного металла примерно одинаковы.

Область применения механизированной наплавки под слоем флюса - восстановление деталей (диаметром более 50 мм) из углеродистых и низколегированных сталей, требующих нанесения покрытий толщиной более 2 мм с высокими требованиями к их физико-механическим свойствам.

Флюсы. Являются вспомогательным материалом и вместе с выбором материала проволоки или ленты играют важную роль в обеспечении необходимых свойств получаемого покрытия. Флюсы применяют как в виде сухих зерен, так и в виде пасты из зерен со связующим. Элементы флюса выполняют свои функции после плавления, сгорания или разложения. Затвердевший флюс в виде корки замедляет кристаллизацию металла.

Флюсы, подобно толстым электродным покрытиям, содержат такие вещества: стабилизирующие, газо- и шлакообразующие, раскисляющие, легирующие и связующие.

Расплавленные флюсы взаимодействуют с оксидными пленками как химические реагенты или физические растворители. В первом случае они образуют с оксидами легкие химические соединения с низкой температурой плавления, которые всплывают на поверхность сварочной ванны. Химически действующие флюсы бывают кислотными и основными. Во втором случае флюсы растворяют оксиды металлов и образуют шлаки, также всплывающие на поверхность расплавленного металла. При наплавке часть легирующих элементов выгорает, их пополнение идет из материала электродной проволоки и (или) материала флюса. В результате выполнения флюсом своих функций создаются условия для выхода газов из шва, более полного протекания диффузионных процессов, формирования равновесных структур и достижения высокого термического КПД наплавки.

Швы получаются с гладкой поверхностью и плавным переходом от одного к другому, при этом применяют токи большей плотности, чем при ручной наплавке покрытыми электродами, исключаются разбрызгивание и угар металла, отсутствует открытая дуга.

Флюсы по составу и способу приготовления делятся на: плавные, керамические (неплавные) и смеси.

Плавные флюсы получают плавлением исходных материалов (марганцевой руды, кварцевого песка, известняка, плавикового шпата, магни-

та, диоксида титана и др.) в электрических или пламенных печах с последующей грануляцией. Плавленные флюсы содержат стабилизирующие, газо- и шлакообразующие компоненты и раскислители (оксиды кремния и марганца). Они хорошо защищают сварочную ванну, обеспечивают малую склонность к образованию трещин в покрытии, удовлетворительную отделяемость шлаковой корки, но не содержат легирующих элементов.

Керамические флюсы представляют собой механическую смесь легирующих, модифицирующих и шлакообразующих составляющих, соединенных жидким стеклом (17...18 % от массы сухих компонентов). Флюсы получают смешиванием порошков исходных материалов с добавкой связующего вещества. Затем массу дробят на гранулы размером 2...3 мм и сушат.

Легирующие свойства флюсам придают ферросплавы (феррохром, ферромарганец, ферросилиций, ферротитан). При этом отдельные легирующие вещества выполняют и функцию раскислителей. Эти флюсы содержат до 50 % неокисленных элементов, что позволяет активно воздействовать на металлургические процессы и получать металл покрытия с необходимыми механическими свойствами. Однако легирующие элементы распределены в объеме материала флюса неравномерно, что приводит к химической и структурной неоднородности покрытия.

Флюсы-смеси получают смешиванием плавленных и керамических флюсов или плавленных флюсов с ферросплавами и графитом.

Легирование покрытия. Применяют легирование через электродную проволоку и (или) флюс. При легировании через проволоку наплавку ведут высокоуглеродистой или легированной проволокой под плавленным флюсом. При этом обеспечивается высокая точность легирования, стабильность химического состава наплавленного металла по глубине покрытия. Легирование наплавленного металла через флюс ведут наплавкой малоуглеродистой проволокой под слоем керамического флюса. Высокая твердость покрытий исключает их последующую термическую обработку. Однако этот способ легирования не получил широкого применения из-за большого количества наплавочных трещин в покрытии и неравномерности химического состава по его объему. Комбинированный способ легирования одновременно через проволоку и флюс получил наибольшее применение.

Преимущества и недостатки. Механизированная наплавка под слоем флюса обладает такими преимуществами:

- повышенной в 6...8 раз производительностью труда по сравнению с ручной электродуговой наплавкой и уменьшенным в 2 раза расходом электроэнергии за счет более высокого термического КПД;
- высоким качеством наплавленного металла за счет его легирования необходимыми элементами и рациональной организации тепловых процессов;

- меньшими потерями присадочного материала;
- лучшими условиями труда наплавщиков за счет механизации процесса и отсутствия открытой дуги.

Недостатки процесса:

- большое вложение тепла в материал детали, что увеличивает зону термического влияния и изменяет результаты предыдущей термической обработки. После наплавки, обычно, требуется последующая термическая обработка, хотя применение керамического флюса ее исключает;

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

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

- вредное влияние на организм человека силикатной пыли, которая образуется при загрузке флюса в бункер и просеивании после использования.

Наплавка в среде защитного газа. Сущность ее состоит в том, что в зону электрической дуги подают под давлением защитный газ, в результате чего столб дуги и сварочная ванна изолируются от кислорода и азота воздуха (рис. 2.16).

В качестве защитной среды используют инертные газы (аргон, гелий и их смеси), активные газы (диоксид углерода, азот, водород, водяной пар и их смеси) и смеси инертных и активных газов. Применяют также продукты сгорания горючих газов или жидкого углеводородного топлива. Наилучшую защиту металла при наплавке обеспечивают инертные газы, однако их применение ограничивается высокой стоимостью. Чаще применяют водяной пар, пищевую углекислоту и сварочный диоксид углерода.

Механизированная наплавка в среде диоксида углерода применяется при восстановлении стальных и чугунных деталей диаметром более 12 мм широкой номенклатуры, работающих в различных условиях. Восстанавливают как гладкие, так и шлицевые валы. Наплавка обеспечивает формирование плотного шва с небольшой зоной термического влияния, что позволяет наплавку нежестких деталей малого диаметра. По сравнению с автоматической наплавкой под слоем флюса процесс имеет такие преимущества: меньший нагрев детали; возможность наплавки деталей меньшего диаметра; более высокая производительность (в 1,2...1,5 раза по массе и на 30...40 % по площади покрытий); исключение необходимости отделения шлаковой корки и зачистки швов; возможность наплавки в любых пространственных положениях; он в 1,2...1,5 раза экономичнее.

При наплавке в среде диоксида углерода образуется атомарный кислород при диссоциации CO_2 в условиях высокой температуры. Оксид углерода частично диссоциирует. Образующийся атомарный кислород высо-

коактивен и способен окислять все элементы, входящие в состав материала проволоки и детали, в том числе и железо. Газообразные оксиды являются причиной образования пор. Это объясняет необходимость применения при сварке в составе проволоки раскислителей, в качестве которых применяют Si, Mn, Cr, Ti. Эти элементы связывают кислород, препятствуя образованию оксида железа.

Наблюдается повышенное разбрызгивание металла (5...10 %) и потери защитного газа, ограниченное легирование наплавленного металла и снижение износостойкости и усталостной прочности на 10...20 %.

Аргонодуговая наплавка – это разновидность наплавки в среде защитных газов. Применяется для нанесения покрытий на детали из алюминиевых сплавов и коррозионно-стойких сталей.

Вибродуговая наплавка (рис. 2.17) отличается тремя особенностями. Во-первых, в цепь нагрузки источника питания включена индуктивность L , во-вторых, его напряжение недостаточно для поддержания непрерывного дугового разряда и, в-третьих, электродная проволока совершает колебания относительно детали с частотой 50...100 Гц и амплитудой 1...3 мм с периодическим касанием наплавляемой поверхности. Введение индуктивности в цепь дуги обеспечивает накопление электрической энергии в индуктивности во время разрыва цепи. Эта энергия расходуется на зажигание дуги после разрыва сварочной цепи и ее горение в течение расчетного времени.

Вибрация электродной проволоки и индуктивность формируют цикл наплавки, который состоит (рис. 2.18) из первого холостого хода, дугового разряда, второго холостого хода и короткого замыкания. В завершение холостого хода после предыдущего цикла зажигается электрическая дуга. Длительность ее существования составляет примерно 20 % от времени цикла, поэтому провар основного металла неглубокий с небольшой зоной термического влияния. Электрод и деталь оплавляются во время дугового разряда, при этом на конце электрода образуется капля металла. Энергия, запасенная индуктивностью, иссякает, дуга гаснет. Мелкокапельный перенос металла на деталь происходит преимущественно во время короткого замыкания.

Вибродуговую наплавку ведут под флюсом, в различных газовых средах или в водных растворах. Последний вид наплавки применяется чаще, при этом в зону наплавки подают охлаждающую жидкость (3...5 %-ый раствор кальцинированной соды или 10...20 %-ый раствор глицерина в воде). Если применяется закаливающийся электродный материал, то происходит закалка наплавленного покрытия. Жидкость и ее пары защищают расплавленный материал от соприкосновения с кислородом и азотом воздуха. Расход раствора 0,5...1,0 л/мин, подача его производится в точку на расстоянии 15...30 мм от катодного пятна.

Вибродуговая наплавка позволяет получать покрытия высокой твердости и износостойкости без последующей термической обработки путем применения электродной проволоки нужного состава. Деталь нагревается до температуры не выше 100 °С. Наплавленный металл имеет равномерную толщину и сравнительно ровную и гладкую поверхность.

Процесс применяют при восстановлении стальных деталей (осей, толкателей), работающих в условиях изнашивания при невысоких требованиях к сопротивлению усталости.

Преимущества процесса:

- геометрическую точность детали достигают меньшими припусками на обработку;
- высокую твердость и износостойкость покрытий получают выбором материала электродной проволоки и охлаждающей среды без отдельной термической обработки;
- деталь при наплавке не деформируется;
- производительность в 4...5 раз выше, чем при ручной дуговой наплавке;
- увеличивается безопасность работ благодаря низкому напряжению источника питания.

Недостатки процесса следующие:

- снижение усталостной прочности до 60 % из-за образования закалочных структур в материале, вызывающих растягивающие напряжения;
- неоднородность твердости (в местах перекрытия точек сварки в результате отпуска твердость снижается);
- наличие пор в покрытии по причине быстрого перехода металла из жидкого состояния в твердое.

2.6.3. Электрошлаковая наплавка

Электрошлаковая наплавка отличается тем, что на нагретой поверхности детали формируют ванну расплавленного флюса, в которую вводят электрод, а к детали и электроду прикладывают напряжение (рис. 2.19). Ток, проходящий от электрода к детали через жидкий шлак, выделяет тепло, достаточное для плавления поверхности детали, электродного металла и шлака. Шлак оплавляет поверхность детали и электрода. Присадочный металл после плавления оседает и образует с помощью кристаллизатора покрытие толщиной $\leq 12...14$ мм.

Электрошлаковая наплавка дает наибольшую производительность (до 150 кг/ч) из всех видов наплавки. Количество электродного металла, расплавленного одним и тем же количеством энергии в 2...4 раза больше, чем при ручной сварке, и в 1,5 раза больше, чем при наплавке под слоем флюсом. Наблюдается небольшой расход флюса, незначительный угар легирующих элементов и высокая стойкость к образованию трещин. Хорошо

удаляются вредные вещества. Из-за отсутствия дугового разряда практически исключено разбрызгивание шлака и электродного материала.

Недостатки процесса: снижение пластичности материала вследствие высокой скорости охлаждения; невозможность получения покрытий толщиной менее 12 мм; высокое содержание основного металла в покрытии.

2.6.4. Плазменная наплавка

Плазменная наплавка – это процесс нанесения покрытий плазменной струей, при котором деталь включена в цепь нагрузки. В этом случае поверхность восстанавливаемой детали и наносимый материал нагреваются плазменной струей, температура которой может превышать 20000 °С. Плазменная струя также перемещает наносимый материал.

Различают наплавку по винтовой линии с линейной подачей плазмотрона и широкослойную наплавку с колебаниями плазмотрона вдоль оси вращающейся детали. Для нанесения покрытий толщиной более 4 мм применяют многослойную наплавку.

В качестве плазмообразующего газа чаще применяют аргон. Наплавка с заменой аргона воздухом (до 90 %) значительно сокращает стоимость восстановления деталей. Для плазменной наплавки в воздушной среде разработаны порошковые сплавы на железной основе, в состав которых входят сильные раскислители и нитридообразующие элементы.

Плотность энергии, передаваемой нагреваемой поверхности плазменной струей на 1...2 порядка выше, чем открытой несжатой дугой. При такой плотности энергии скорость ввода тепла в деталь больше скорости теплопередачи в ее массу, поэтому поверхность детали быстро расплавляется. Процесс протекает с малым проплавлением поверхности. При плазменной наплавке получают покрытия толщиной 0,2...6,5 мм и шириной 1,2...45 мм.

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

Источники питания постоянного тока для плазменной наплавки имеют напряжение холостого хода не менее 120 В, силу тока до 600 А и крутопадающую внешнюю характеристику.

Материалы. Для плазменной наплавки применяют различные материалы: железоуглеродистые высоколегированные сплавы, калмонои, стеллиты, инструментальные и быстрорежущие стали. Применяют прутки, проволоки, порошки и комбинации материалов.

Область применения и преимущества способа. Плазменная наплавка нашла применение при нанесении тонкослойных покрытий на поверхности ответственных деталей: валов коленчатых, кулачковых и рас-

пределительных, валов турбокомпрессоров, осей, крестовин карданных шарниров, направляющих оборудования, щек и седел задвижек, шнеков экструдеров и др.

Преимущества плазменной наплавки по сравнению с другими способами нанесения покрытий сводятся к следующему. Гладкая и ровная поверхность покрытий позволяет оставлять припуск на обработку 0,4...0,9 мм. Малая глубина проплавления (0,3...3,5 мм) и небольшая зона термического влияния (3...6 мм) обуславливают долю основного металла в покрытии не более 5 %. Малое вложение тепло в обрабатываемую деталь обеспечивает небольшие деформации и термические воздействия на структуру основы. При восстановлении обеспечивается высокая износостойкость наплавленных поверхностей. Наблюдается снижение усталостной прочности деталей на 10...15 %, что намного меньше, чем при использовании некоторых других видов наплавки. Плазменная наплавка тонкослойных покрытий представляет конкуренцию процессам нанесения электрохимических покрытий.

2.6.5. Лазерная наплавка

Лазерная наплавка использует в качестве источника тепла концентрированный луч лазера.

С помощью лазерного нагрева устраняют трещины в высоконагруженных деталях, в том числе в керамических изделиях, выполняют наплавку, оплавление напыленных покрытий, поверхностное легирование, поверхностную закалку и аморфизацию материала.

Исключительная локальность воздействия луча за счет высокой плотности энергии определяет область применения лазерной наплавки. Она применяется при восстановлении ответственных деталей (гладких валов и деталей со сложным профилем) с местными износами. Способ наиболее эффективен при восстановлении поверхностей площадью 5...50 мм² с величиной износа 0,1...1,0 мм, при этом расход порошков невелик, глубина термического влияния обычно не превышает 0,5...0,6 мм, а деформации детали отсутствуют. С помощью лазерной наплавки восстанавливают, например, кулачки распределительных валов, поверхности ротора турбокомпрессора, оси фильтров тонкой очистки масла, фаски клапанов.

Используют источники лазерного излучения мощностью до 3 кВт. Чаще применяют установки ЛГН-702, УЛГН-502 и ЛОК-3М.

Порошковая лазерная наплавка заключается в принудительной подаче порошка газовым потоком непосредственно в зону лазерного излучения. Частицы порошка начинают нагреваться в лазерном луче и расплавляются в поверхностном слое покрытия.

Оплавление шликерных покрытий – это один из видов лазерной наплавки. Его применение целесообразно при восстановлении плоских поверхностей или локально изношенных участков деталей в труднодоступ-

ных местах. Наносимый материал готовят в виде коллоидной смеси порошка в растворе целлюлозы. В этом случае наплавочный материал используется полностью. Для получения качественных покрытий хорошего качества лазером мощностью 1 кВт толщина обмазки не должна превышать 1 мм, а для лазера мощностью 2,5 кВт - 2 мм. Величина перекрытия при этом должна быть не менее половины диаметра рабочего пятна.

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

Поверхностное легирование – это введение в оплавленный слой практически любых легирующих элементов и даже карбидов. Продолжительность процесса измеряется секундами.

2.6.6. Наплавка намораживанием

Сущность наплавки *намораживанием* заключается в затвердевании сплава на очищенной от оксидной пленки поверхности заготовки, погруженной в расплав. Заготовку после кратковременной выдержки извлекают из расплава с образовавшимся на ее поверхности покрытием (рис. 2.20).

Процесс нашел наибольшее применение при восстановлении почво-режущих элементов (плужных лемехов, стрельчатых лап, плугов бульдозеров, зубьев ковшей) сельскохозяйственной и строительной техники. Эти элементы испытывают одно из самых интенсивных видов механического изнашивания – абразивное.

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

Присадочный материал (сплав “Сормайт-1”, смеси КБХ и ФБХ-6-2, псевдосплавы ПС-14-60, ПС-14-80 и др.) нагревают в индукционных печах до температуры, превосходящей на 30...50 °С температуру его плавления. Применяют тигли из графита или огнеупорного материала на основе нитридов бора и кремния. Выгоранию легирующих элементов препятствует слой расплавленного флюса АН-348А на поверхности присадочного материала.

Невосстанавливаемые поверхности заготовки, соприкасающиеся с расплавом, защищают тонким слоем меловой обмазки. На восстанавливаемые поверхности последовательно наносят слои водного раствора жидкого стекла и порошкообразного флюса, включающего 40 % (по массе) буры и 60 % борного ангидрида. Заготовку помещают в высокочастотный индуктор для активации наплавляемой поверхности при температуре 850...900 °С. Активация длится в течение 10...12 с, при этом флюс плавится, очищает поверхность от оксидов и защищает ее от последующего окисления.

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

На качество и толщину наплавленного металла влияют температура заготовки и расплава и продолжительность их взаимодействия. Износостойкость наплавленных деталей в 1,8...3,5 раза выше, чем новых изделий. По производительности способ конкурирует со всеми видами наплавки, кроме электрошлаковой.

Наплавка намораживанием обеспечивает повышение износостойкости восстанавливаемых элементов за счет твердых структурных составляющих в наплавленном покрытии и придания его материалу анизотропной текстуры. Наличие в наплавочных материалах хрома и углерода способствует образованию карбидов хрома, микротвердость которых в 1,3...1,5 раза выше микротвердости кварца. Отвод тепла при кристаллизации материала покрытия организуют таким образом, чтобы главные оси карбидных фаз были направлены перпендикулярно поверхности трения.

2.7. Электроконтактная приварка металлического покрытия

2.7.1. Сущность и виды способа

Сущность *электроконтактной приварки* металлического покрытия состоит в закреплении материала на изношенной поверхности детали мощными импульсами тока с приложением давления (рис. 2.21).

Способ исправляет некоторые недостатки наплавки. Наплавка сопряжена с большим вложением тепла в материал детали, что приводит к выгоранию легирующих элементов, возникновению закалочных структур, появлению трещин, трудностям механической обработки. Недостатки наплавки выявляются и в случае восстановления деталей с малыми износами. Минимальная толщина наплавочных покрытий ограничена. Наплавка под слоем флюса обеспечивают толщину покрытия не менее 3 мм, а вибродуговая и в среде защитных газов – не менее 1,5 мм. Таким образом, основная часть наплавленного металла превращается в стружку при механической обработке покрытия. Кроме того, большинство видов наплавки связано с тяжелыми и вредными условиями труда.

При электроконтактной приварке металл детали и покрытия расплавляется в результате прохождения тока не по всему объему покрытия, а только в точках контакта материала. Способ реализуют на установках путем совместного деформирования наносимого металла и поверхностного слоя детали, нагретых в очагах пластического деформирования короткими (0,02...0,16 с) импульсами тока 7...30 кА. Количество выделившегося тепла Q при этом равно:

$$Q = kI^2Rt, \text{ Дж}, \quad (2.17)$$

где k – коэффициент пропорциональности; I – ток, А; R – сопротивление участка цепи, Ом; t – время действия тока, с.

Деформирующее усилие составляет значения 1000...1600 Н. Покрытие приваривают к поверхности детали перекрывающимися точками, которые располагаются по винтовой линии. Сварные точки перекрываются как вдоль рядов, так и между ними. Перекрытие точек достигают частой импульсов тока пропорциональной частоте вращения детали и скорости продольного перемещения сварочной головки. Такое расположение сварных точек обеспечивает качественную приварку. При электроконтактной приварке материал детали прогревается на малую глубину, что обеспечивает неизменность его химического состава и исключает применение флюсов и защитных газов. Для уменьшения нагрева детали и улучшения условий заковки приваренного покрытия в зону приварки подают охлаждающую жидкость. Обеспечивается хорошее соединение покрытия с восстанавливаемой поверхностью, постепенное изменение свойств в зоне перехода между приваренным и основным металлом.

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

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

Зона термического влияния не превышает 0,5 мм, а при нанесении второго и последующих слоев распространяется лишь на толщину первого слоя покрытия и не достигает основного металла. Электроконтактная приварка покрытий является природоохранным, ресурсо- и энергосберегающим технологическим процессом.

Виды способа определяются основным материалом, применяемым для нанесения покрытий. В качестве материала применяют проволоку, ленту, порошки и сочетания порошков с лентой.

2.7.2. Материалы и технологии

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

Применяют диаметром 1,6...2,5 мм сплошного сечения Нп-35, Нп-40, Св-08, Св-08Г2С, Нп-30ХГСА, ПК-2 и порошковую (например, ПП-АН-10). Покрытие из проволочного материала характеризуется сплавлением между витками проволоки и плотной упаковкой его объема. На твердость и прочность покрытия наибольшее влияние оказывает его материал. Мелкодисперсная структура покрытия способствует не только увеличению твердости, но и ударной вязкости металла, что в конечном итоге уменьшает интенсивность изнашивания.

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

$$= \sqrt{\quad}, \text{ Н.} \quad (2.18)$$

Приварка проволоки отрицательно влияет на усталостную прочность восстановленных элементов. Приварка проволок Св-08ГС и 65Г снижает усталостную прочность на 10...25 % по сравнению с этими показателями у нормализованной стали 45 и чугуна ВЧ-50. По сравнению со сталью 45, закаленной ТВЧ, снижение этого показателя у образцов с покрытием, нанесенным электроконтактной приваркой, значительно больше и достигает 50 %.

Большое распространение нашла электроконтактная приварка ленты толщиной 0,5...0,6 мм из углеродистых сталей 10, 20, 40, 50, У7, У8, 65Г и легированных сталей 40Х и 50ХФА. Этот способ требует применения оборудования для мерной отрезки ленты и ее предварительной гибки.

Прочность соединения покрытия из ленточного материала при силе тока 7,72 кА, усилии на электроде 1,3 кН, длительности импульса тока 0,04 с и скорости наплавки 1,2...1,5 м/мин находится в пределах 300...400 МПа. Меньшее значение соответствует предварительной обработке точением до 3-го класса шероховатости, большее – дробеструйной обработке.

Предел выносливости образцов диаметром 40 мм с покрытием из ленты в зависимости от ее марки снижается на 54...67 %. Поверхностное пластическое деформирование в виде обкатки шариками повышает значение предела выносливости более чем в два раза. Применение сплошных и спеченных лент различного состава и твердости позволяет повысить изно-

состойкость восстановленных элементов в 5...10 раз по сравнению с новыми деталями.

Износостойкость покрытий повышается до 10...15 раз, если перед электроконтактной приваркой под стальную ленту с содержанием углерода не более 0,5 % толщиной 0,4 мм поместить зерна сплавов на основе карбидов вольфрама (ВК8, Т15К6 или релита) размером 0,3...0,5 мм.

Широкими технологическими возможностями, позволяющими повысить послеремонтную наработку восстановленных деталей, обладает электроконтактная приварка порошковых материалов. Между движущимися заготовкой и электродом помещают металлический порошок, через них пропускают электрический ток с приложением давления.

В качестве основных материалов при приварке порошков используют сплавы ПГ-Х20Н80, СНГН, ПГ-СР2, 3 или 4, ПГ-ХН80СР2, ПГ-10Н-01, ПГ-10Н-04, ПГ-УС25, ПГ-С27, механические смеси КБХ и ФБХ-6-2, а также различные композиции.

Вращающаяся или неподвижная заготовка является одним из электродов переменного тока, второй медный электрод вращается или неподвижный. В зазор между этими двумя электродами из бункера подают порошковый материал. Материал к восстанавливаемой поверхности детали прижимает под давлением 30...60 МПа вторым электродом. Через электроды и материал пропускают электрический ток силой 5...30 кА, плотностью 1...5 А/см², напряжением 6...12 В и импульсами длительностью 0,04...0,14 с. Скорость приварки составляет 0,17...0,37 м/мин. Схемы устройств для нанесения порошковых покрытий приведены на рис. 2.22.

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

Высокое качество восстановления обеспечивает композиция из самофлюсующегося порошка ПГ-ХН80СР2, порошков сормаита ПГ-С1 и железа ПЖ-3М в равных объемных частях с добавкой к ним меди и свинца (1,5...5,0). Для восстановления деталей типа “вал” целесообразно использовать следующие порошковые композиции: 20 % ФБХ-6-2 + 80 % ПЖ-5; 20 % КБХ + 5 % Al₂O₃ + 75 % ПЖ-5; 30 % ПГХН80СР2 + 70 % ПГ-10Н-04; 20 % ПГ-10К-01 + 80 % ПГ-10Н-04. Применение этих композиций обеспечивает возможность их точения и высокую износостойкость покрытий.

Прочность соединения покрытия с восстанавливаемой поверхностью находится в пределах 150...300 МПа. Пористость и твердость покрытий изменяется в широких пределах и зависят от состава составляющих покрытия. Пористость покрытий равна 12...25 %, а твердость 25...63 HRC. Наиболее высокая твердость наблюдается при нанесении покрытий состава: ПГ-С1 + (60...70) % ФХ-80.

Сопротивление усталости деталей с покрытиями из порошков снижается на 7...12 % по сравнению с этим показателем новых деталей.

2.7.3. Оборудование

Регулируемые импульсы сварочного тока получают с помощью прерывателей в серийных контактных сварочных машинах, например МШ-1 или МШК-2002 (К-421М) а также конденсаторными источниками питания с зарядным напряжением 875...900 В и емкостью рабочих конденсаторов 2000...2300 мкФ. Электроды установок изготавливают из специальных медных сплавов типа БрХ, БрХК, БрНБТ и БрВНТ.

Оборудование блочно-модульного строения ВНИИТУВИД “Ремдеталь” создано на базе установки 011-1-00 для наплавки валов.

2.8. Напыление материала

2.8.1. Определение напыления, его виды и характеристика

Сущность напыления. Напыление как процесс нанесения покрытий заключается в нагреве материала, его диспергировании (дроблении), переносе движущейся средой, ударе о восстанавливаемую поверхность или покрытие, деформировании и закреплении.

Напыляемый материал нагревается за счет теплообмена с высокотемпературной средой (продуктами горения, электрической дугой, плазмой) или прохождения вихревых токов. В ряде случаев материал дробится за счет своего плавления. Частицы его разгоняются и переносятся струей движущегося газа, достигают поверхности детали в пластическом состоянии, имея большой запас кинетической и тепловой энергии, ударяются о поверхность, деформируются и закрепляются на ней, расходуя накопленную энергию (рис. 2.23).

Соединение металлических частиц с поверхностью детали и между собой носит в основном механический характер за поры и специально подготовленный профиль в виде “рваной” резьбы. Имеются также связи Ван-дер-Ваальса, металлическая и ковалентная.

Восстанавливаемая поверхность во время напыления находится в твердом состоянии, температура ее достигает только 150...200 °С, поэтому деформация детали практически отсутствует.

Нагрев материала и его пребывание в ряде случаев в окислительной воздушной среде или в продуктах сгорания приводят к изменению химического состава и структуры материала покрытия. Оксидные пленки между покрытием и основой, слоями покрытия и отдельными частицами препятствуют образованию прочных связей между этими фрагментами. Пластическое деформирование частиц при ударах о подложку и между собой придает им расплюснутую форму, наклеп материала, изменение текстуры и частичное разрушение оксидной пленки. Микроструктура напыленного покрытия выявляет его слоистое строение с оксидными пленками между со-

единенными частицами. Существует переходная зона между покрытием и основным металлом.

В качестве материалов для напыления покрытий используют проволоку, порошки или шнуры из различных материалов. Оптимальная толщина покрытий составляет 0,1...1,0 мм.

В зависимости от вида источника тепловой энергии, затрачиваемой на нагрев и дробления напыляемого материала различают основные виды напыления: электродуговое, газопламенное, детонационное и плазменное. Плазменное напыление, в свою очередь, подразделяется на индукционное и плазменно-дуговое. По виду защиты рабочей зоны напыления различают процессы без защиты, с местной защитой и в герметичной камере.

Напыление применяют для восстановления, упрочнения и коррозионной защиты поверхностей деталей.

Напыление материала - производительный и сравнительно простой процесс, обеспечивающий высокую износостойкость покрытий, возможность регулирования в широких пределах их химического и фазового состава. Возможно нанесение покрытий практически любой толщины из металлов и их сплавов, оксидов, карбидов, нитридов и пластмасс и на различные материалы (в том числе на неметаллы). Напыление не снижает усталостную прочность деталей.

Недостатки процесса: сложность подготовки поверхности к нанесению покрытия; невысокая адгезионная и когезионная прочность покрытий по сравнению с прочностью монолитного материала, повышенное выгорание легирующих элементов и потери материала; выделение аэрозолей напыляемого материала и вредных газов, повышенный уровень шума, наличие электромагнитных и ультрафиолетовых излучений.

2.8.2. Технологический процесс напыления

Технологический процесс напыления материала включает такие операции: предварительную механическую обработку восстанавливаемой детали; подготовку материала и восстанавливаемой поверхности; изолирование поверхностей не подлежащих напылению; нагрев детали или нанесение промежуточного покрытия; нанесение основного покрытия; оплавление покрытия; выдержку деталей в термосе; снятие экранов и заглушек; очистку детали.

Предварительная механическая обработка (точение, растачивание, подрезка или обдирочное шлифование) придает восстанавливаемым поверхностям правильную геометрическую форму. Это обеспечивает равномерную толщину будущих покрытий. Газотермические покрытия работоспособны при минимальной их толщине около 0,3 мм.

Подготовка материала заключается в его очистке от консервационных составов и продуктов коррозии. В результате подготовки восстанавли-

ваемая поверхность получается шероховатой, без загрязнений и оксидных пленок и с запасом поверхностной энергии.

Чугунные детали перед напылением нагревают до температуры 250 °С в нагревательной печи для полного удаления масла из пор.

Поверхности, на которые не наносят покрытие, защищают металлическими щитками, асбестовыми листами или слоем недорогого лака. В масляные каналы забивают латунные или асбестовые пробки.

Нагрев поверхности детали перед напылением бывает необходимым для ее активации, однако, в некоторых случаях это приводит к отрицательным результатам по причине образованию оксидной пленки на этой поверхности.

Перед нанесением основного слоя в ряде случаев бывает необходимым нанесение промежуточного покрытия из тугоплавкого или терморезистентного материала. В первом случае частицы материала (например, молибдена), обладая большим запасом тепла, расплавляют поверхность детали и привариваются к ней. Во втором случае частицы материала (например, Al-Ni) вступают между собой в химическое взаимодействие с выделением тепла и образуют между собой и с поверхностью детали металлическую связь.

Если покрытия оплавливают, то этот переход может быть совмещен с нанесением покрытия. В результате оплавления значительно повышается прочность соединения покрытия с основой, увеличивается когезионная прочность, исчезает пористость и повышается износостойкость. При этом плавится наиболее легкоплавкая часть материала, однако, температура нагрева должна быть достаточной для плавления боросиликатов.

Крупные детали (корпуса, валы) после нанесения покрытия выдерживают в термосе при температуре 150...200 °С в течение 1,0...1,5 часа для снятия внутренних напряжений в покрытии и в зоне его соединения с деталью.

В завершение процесса с детали снимают экраны и заглушки и ее очищают от оксидов и частиц материала на невосстанавливаемых поверхностях.

2.8.3. Особенности напыления различных видов

Электродуговое напыление. Сущность его состоит в плавлении металлических проволок электрической дугой, зажженной между ними, продувании через электрическую дугу струи сжатого газа, сдувании расплавленного металла и переносе его в виде частиц на восстанавливаемую поверхность.

Преимущества электродугового напыления: процесс имеет наибольшую производительность (до 50 кг/ч) из всех видов напыления; высокий термический КПД; возможность получения покрытий с высокой адгезией.

зионной и когезионной прочностью и низкой пористостью. Затраты на нанесение 1 кг покрытия в два раза ниже, чем при электродуговой наплавке.

Недостатки процесса сводятся к следующему. Интенсивное взаимодействие частиц с газовой средой приводит к насыщению покрытия кислородом и азотом, а также к повышенному содержанию оксидов. Необходимость применения только токопроводящих напыляемых материалов ограничивает возможность способа. Большое выгорание легирующих элементов, содержащихся в стальных проволоках, при электродуговом напылении сужает область его применения. Потери карбидных и других упрочняющих фаз достигают до 20 %.

Аппарат для электродугового напыления (рис. 2.24) имеет несколько пар приводных роликов 1, которые подают в зону распыления две или более проволок. Имеются направляющие наконечники 4 и газовое сопло 5.

Капли расплавленного металла подхватываются струей газа, распыляются на частицы размером 10...100 мкм и разгоняются до скорости 50...150 м/с. Скорость газовой струи потока и напыляемых частиц вблизи напыляемой поверхности примерно одинаковы и равны 50...150 м/с.

Применяют ручное и механизированное напыление. В первом случае технологические перемещения аппарата производят вручную. Механизированные установки имеют устройства для перемещения распылителей относительно напыляемой поверхности.

Частицы металла будущего покрытия при электродуговом напылении могут быть защищены от кислорода и азота воздуха стенкой продуктов сгорания газообразного или жидкого топлива или вдуванием пропана или природного газа, или паров бензина в зону горения дуги. Жидкий металл в последнем случае распыляют не струей сжатого воздуха, а продуктами сгорания, разогретыми до температуры 1800...2100 °С.

Активированное электродуговое напыление состоит в распылении металла и его защите от влияния воздуха продуктами сгорания углеводородного топлива. Этот вид напыления целесообразно применять при восстановлении деталей, работающих в условиях граничной смазки. Применяют проволоочные материалы – Нп-65Г, Нп-40Х13, Св-08Г2С. Повышение твердости покрытия является следствием науглероживания материала.

Газопламенное напыление. Сущность заключается в нагреве напыляемого материала газовым пламенем и нанесении его на восстанавливаемую поверхность струей сжатого газа. В качестве основного материала применяют порошки, проволоки и шнуры. Газопламенное напыление – один из немногих процессов, с помощью которого наносят покрытия из шнуров.

В зависимости от наличия и времени оплавления покрытий различают три вида газопламенного напыления: без оплавления, с одновременным оплавлением (в литературе называют газопорошковой наплавкой) и с последующим оплавлением.

Первый вид напыления применяют для восстановления деталей, не испытывающих деформаций и знакопеременных нагрузок, рабочая температура которых $< 350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Способ применяют при восстановлении наружных и внутренних цилиндрических поверхностей подвижных и неподвижных соединений при невысоких требованиях к прочности соединения с основным материалом.

Газопламенное напыление с одновременным оплавлением покрытия применяют для восстановления деталей из стали и чугуна при износе на сторону $1,3 \dots 1,8\text{ мм}$.

Последующее оплавление покрытий толщиной $0,5 \dots 1,3\text{ мм}$ выполняют газо-кислородным пламенем, в индукторе или другим источником тепла. Процесс применяют при восстановлении наружных и внутренних цилиндрических поверхностей подвижных и неподвижных соединений при повышенных требованиях к износостойкости и прочности соединения с основным материалом.

Активирование газопламенного напыления обеспечивают интенсивным смешением рабочих газов, а также эффективным теплообменом между пламенем и материалом.

Для газопламенного напыления выпускается много образцов горелок и оборудования. По мощности пламени газовые горелки подразделяются на: очень малой (до 60 л/ч), малой (от 60 до 700 л/ч), средней (от 700 до 2500 л/ч) и большой мощности (свыше 2500 л/ч), а по степени механизации – на ручные и машинные. В зависимости от способа подачи горючего газа горелки делят на инжекторные и безинжекторные.

Применение электродугового и газопламенного напыления проволочными материалами эффективно для деталей (коленчатых валов, осей, вкладышей подшипников скольжения, направляющих), работающих в трущихся сопряжениях, и при восстановлении поверхностей отверстий под подшипники.

Плазменное напыление. Основано на использовании энергии плазменной струи как для нагрева, так и для переноса частиц металла. Плазменную струю получают путем продувания плазмообразующего газа сквозь электрическую дугу и его обжатия стенками медного водоохлаждаемого сопла. В качестве плазмообразующих газов используют аргон, гелий, азот, водород и их смеси.

Плазменная горелка включает основные части (рис. 2.25): электрод-катод 1; водоохлаждаемое медное сопло-анод 4, стальной корпус 2, устройства для подвода воды 3, порошка 5 и газа 6. Части корпуса, которые взаимодействуют с катодом или анодом, изолированы друг от друга.

Порошкообразный материал подают питателем с помощью транспортирующего газа в сопло плазменной горелки или в плазменную струю ниже сопла. Возможен ввод порошка с плазмообразующим газом. Проволоку или шнур вводят ниже анодного пятна.

Высокие температура и скорость струи делают возможным напыление покрытий из любых материалов, не диссоциирующих при нагреве, без ограничений на температуру плавления. Плазменным напылением получают покрытия из металлов и сплавов, оксидов, карбидов, боридов, нитридов и композиционных материалов.

Дисперсность частиц материала, ток плазменной струи и расход плазмообразующего газа определяют температуру нагрева частиц и их скорость перемещения, тем самым плотность и структуру покрытия. Нормативные физико-механические свойства покрытий обеспечивают высокими температурой плазмы и скоростью ее истечения, применением инертных плазмообразующих газов, регулированием аэродинамических условий формирования металлоплазменной струи. В материале детали не происходят структурные преобразования, возможно нанесение тугоплавких материалов и многослойных покрытий из различных материалов с сочетанием плотных и твердых нижних слоев с пористыми и мягкими верхними (для улучшения прирабатываемости покрытий), износостойкость покрытий высокая, достижима полная автоматизация процесса.

При напылении порошковых или шнуровых материалов электрическое напряжение прикладывают к электродам плазменной горелки. При напылении проволочных материалов напряжение прикладывают к электродам горелки, дополнительно оно может быть приложено к напыляемому материалу, т.е. проволока может быть токоведущей или нет. Напыляемую деталь в цепь нагрузки не включают.

Для защиты частиц напыляемого материала от окисления, обезуглероживания и азотирования применяют газовые линзы (кольцевой поток инертного газа), являющиеся оболочкой плазменной струи, и специальные камеры с инертной средой, в которых происходит напыления.

Наилучшей износостойкостью деталей в нагруженных сопряжениях обладают покрытия из самофлюсующихся сплавов. Структура покрытия - высоколегированный твердый раствор с включениями дисперсных металлоподобных фаз (прежде всего боридных или карбидных) с размером частиц 1...10 мкм, равномерно распределенных в основе.

Область применения плазменных покрытий с последующим оплавлением – это восстановление поверхностей деталей, работающих в условиях знакопеременных и контактных нагрузок.

Микроплазменное напыление применяют при восстановлении участков деталей с размерами 5...10 мм с целью уменьшения потерь напыляемого материала. Используют плазмотроны малой мощности (до 2...2,5 кВт), генерирующие квазиламинарную плазменную струю при силе тока 10...60 А.

Детонационное напыление При этом виде напыления наносимые частицы приобретают энергию во время горения и перемещения ацетилено-кислородной смеси в стволе пушки. Детонация - особый вид горения

газообразного топлива. Она возникает в начальный период горения смеси и распространяется в трубе со скоростью 2000...3000 м/с. Температура горения смеси при детонационном напылении достигает 5200 °С, а развиваемое давление - сотен МПа. Скорость полета наносимых частиц составляет 600...800 м/с, а их температура достигает 3700 °С. Покрытия имеют малую пористость (до 0,5 %) и высокую прочность соединения с подложкой (до 200 МПа).

Установка детонационного напыления (рис. 2.26) включает водоохлаждаемый закрытый с одного конца ствол 5 длиной 1200...2000 мм и диаметром 8...40 мм. Внутренняя полость ствола вблизи торцевой стенки образует взрывную камеру 3. В ее стенке установлено запальное устройство 2 и клапанное устройство для подачи горючего и окислительного газов. В торце ствола имеется порошковый питатель 1. На расстоянии 150...200 мм от среза ствола перпендикулярно его оси располагают восстанавливаемую поверхность детали.

Химическая энергия горения смеси расходуется на нагрев и расширение газа, перемещение и нагрев навески порошка. Высокая температура нагрева напыляемого материала в некоторых случаях приводит даже к его испарению. Кинетическая энергия частиц в 100 раз превосходит кинетическую энергию частиц при электродуговом и газопламенном напылении. Превращение кинетической энергии частиц в момент удара в тепловую энергию и возникновение большого количества дефектов материала в момент удара объясняют большую прочность покрытия и отсутствие закрытой пористости.

Частота цикла детонационного устройства для напыления покрытий может быть увеличена до 15 Гц и выше. Непрерывная автоматическая подача порошков и газов, при этом, упрощает технологию и оборудование.

Детонационное напыление нашло применение при нанесении защитных и износостойких покрытий из оксидов алюминия и карбидов вольфрама, карбидо-кобальтовых сплавов и хрома на наружные поверхности.

Детонационное оборудование имеет большие габаритные размеры, его производительность невысокая, стоимость нанесения покрытия большая. Уровень шума при работе детонационной установки составляет 125...140 дБ, поэтому ее устанавливают в отдельном помещении со звукоизолирующими стенами. Оператор управляет процессом, находясь за стеной. В выхлопных газах наблюдается повышенное содержание оксидов углерода, азота и других веществ. Производительность процесса невысокая. Коэффициент использования материала равен 30...60 %

Вакуумное конденсационное напыление Покрытие, при этом виде напыления, конденсируется из атомов, молекул или ионов. Такой поток частиц получают путем воздействия на материал различными энергетическими источниками.

Процесс ведут в жестких герметичных камерах при давлении ($133 \cdot 10^{-3} \dots 13,3$) Па, что обеспечивает необходимую длину свободного пробега напыляемых частиц и защиту материала от его взаимодействия с атмосферными газами. В общем случае причиной переноса частиц к восстанавливаемой поверхности является разность парциальных давлений паровой фазы. Наиболее высокое парциальное давления пара (≥ 133 Па) наблюдаются вблизи поверхности распыления (испарения). У поверхности напыляемого изделия оно минимальное. Ионизированные частицы обладают энергией, достаточной для получения качественных покрытий.

Процесс вакуумного конденсационного напыления покрытий включает три стадии:

- превращение материала в газовую или паровую фазу;
- формирование потока и перенос напыляемых частиц на поверхность напыления;
- конденсация паров на поверхности напыления – формирование покрытия.

Подача в камеру активных газов позволяет перейти к способу вакуумного реакционного напыления покрытий. Частицы в этом случае во время перемещения вступают в химическое взаимодействие с активными газами (кислородом, азотом, оксидом углерода и др.) и образуют соответственно оксиды, нитриды, карбиды и др.

С помощью вакуумного конденсационного напыления создают износостойкие покрытия на трущихся поверхностях сопряжений, режущих кромках инструмента и др.

Перспективно напыление с ионизацией потока напыляемых частиц плазмой, часто его называют ионно-плазменным. Способ применяют для нанесения износостойких покрытий с особыми свойствами толщиной до 0,02 мм.

Наиболее часто исходный материал используют в виде стержней, проволоки, таблеток, дисков, порошков, гранул и др.

Преимущества процесса: высокие физико-механические свойства покрытий; возможность получения покрытий из синтезированных материалов (карбидов, нитридов, оксидов и др.); нанесение тонких и равномерных покрытий; возможность использования широкого класса неорганических материалов. Технологический процесс не загрязняет окружающую среду. В этом отношении он выгодно отличается от химических и электрохимических способов нанесения тонких покрытий.

К недостаткам процесса следует отнести его невысокую производительность (скорость конденсации около 1 мкм/мин), повышенную сложность технологии и оборудования, низкие значения энергетических показателей.

На рис. 2.27 приведена схема установки типа ВУ-1Б с одним испарителем. Основной частью установки является камера 6 с водяным змееви-

ком. Откаточные насосы 10 обеспечивают в камере вакуум до $10^{-3} \dots 10^{-2}$ Па. Для охлаждения паров масла и перевода их в твердое состояние предусмотрена азотная ловушка 11. Дуговой разряд возбуждается между водоохлаждаемым анодом 5 и распыляемым материалом – катодом 4. Для первоначального возбуждения дуги служит вспомогательный электрод 2. Электродуговой ускоритель плазмы работает от силового специализированного источника постоянного напряжения 3. Для экстракции ионов из плазменного потока и их ускорения в направлении напыляемого изделия использован высоковольтный источник питания 1, а от него на напыляемое изделие 7 подается отрицательное смещение от десятков вольт до 2...3 кВ. В более совершенных установках предусмотрено до шести испарителей. Стабилизация катодного пятна на поверхности распыляемого материала, ускорение потока напыляемых частиц, его фокусировка и отклонение заряженных частиц с целью сепарации потока производятся с помощью электромагнитных катушек.

Установка снабжена устройством для автоматического напуска газа 9. Атмосфера камеры контролируется масс-спектрометром 8. Благодаря этому имеется возможность создания плазменных потоков с регулируемой долей ионов различных элементов.

2.8.4. Упрочняющая обработка покрытий

Упрочнение напыленных покрытий включает механическую, термическую и комбинированную обработку.

Высокотемпературное уплотнение покрытий заключается в приложении давления в процессе локального нагрева. Такое уплотнение позволяет назначать меньшие припуски под механическую обработку покрытий. Увеличение усилия обработки и температуры подогрева положительно влияют на структуру покрытия: трещины и поры уменьшаются или исчезают вообще.

Химико-термическая обработка покрытий (спекание) заключается в том, что детали с покрытиями помещают в печь с атмосферой, содержащей H_2 и C, и выдерживают при заданной температуре.

В основе химико-термической обработки покрытий лежит восстановление оксидов и последующая карбидизация покрытий в контролируемой газовой атмосфере. В результате обработки полностью восстанавливаются оксиды, исчезает слоистость и повышается содержание цементита. Введение в напыляемые железные порошки карбидообразующих материалов (Cr) повышает твердость и износостойкость покрытий.

2.9. Электроискровая обработка в процессах восстановления деталей

2.9.1. Сущность и применение процесса

Сущность процесса. Электроискровая обработка металлических поверхностей основана на использовании импульсных электрических раз-

рядов между электродами в газовой или жидкой среде. Сущность нанесения покрытий и упрочнения поверхностей состоит в том, что в газовом промежутке между металлическими электродами происходит разрушение материала анода, а продукты эрозии переносятся на катод (заготовку). Поверхность катода также разрушается, но в меньшей степени.

Плотность мощности, передаваемой детали при искровом разряде, составляет $5 \cdot 10^3 \dots 8 \cdot 10^5$ кВт/см². Единичный перенос электродного материала происходит при температуре среды 5000...11000 К. Температура плазмы T , образующейся в межэлектродном пространстве, приближенно рассчитывается по формуле:

$$T = 7200 + 450 C^{1/3}, \text{ К}, \quad (2.19)$$

где C – емкость накопительных конденсаторов, мкФ.

Плотность тока достигает значения 10^4 А/мм². Высокая температура в канале разряда вызывает плавление фрагментов электрода и их частичное испарение. Пары металла расширяются, сбрасывают с поверхности анода расплавленный металл, который попадает в газовую среду или осаждается на катоде и затвердевает. Металл при этом не подвергается коррозии.

Вследствие кратковременности разряда (до 10 мкс) и локальности нагрева микрообъемы переносимого металла на деталь быстро охлаждаются. При определенных режимах обработки происходит сверхскоростная закалка поверхностного слоя до высокой твердости. При многократном воздействии искровых импульсов на поверхности детали формируется покрытие со свойствами, близкими к свойствам материала электрода. Толщина покрытия увеличивается с ростом содержания углерода в материале детали и энергии единичного импульса.

Производительность процесса и качество обработанной поверхности зависят как от эрозионной стойкости материалов и инструмента, так и от режима обработки.

При электроискровой обработке происходят: диффузия нанесенного материала в расплав металла восстанавливаемого элемента детали в месте разряда; образование твердых растворов и мелкодисперсных карбидов в результате быстрого затвердевания жидкой фазы и локальной закалки с большими скоростями охлаждения.

Нанесение твердых износостойких покрытий толщиной до 0,1 мм относят к упрочнению, а нанесение покрытий большей толщины – к наплавке. При восстановлении поверхностей, участвующих в трении, можно наносить покрытия толщиной до 0,25 мм, а поверхностей неподвижных соединений – до 1,5 мм. При упрочнении режущих кромок инструмента наносят покрытия толщиной до 0,1 мм.

Покрытие, нанесенное на восстанавливаемую поверхность детали, имеет прочную связь с основой, потому что его образование сопровождается химическими и диффузионными процессами.

Особенности процесса. Специфическая особенность электроискровой наплавки материалов заключается в том, что толщина покрытия h растет во времени по кривой с насыщением, описываемой зависимостью:

$$h = \pm A t_{об}^3 \pm B t_{об}^2 \pm C t_{об} \pm D, \text{ мм} \quad (2.20)$$

где A, B, C, D – коэффициенты; $t_{об}$ – продолжительность обработки, мин.

Чем ближе $t_{об}$ ко времени насыщения (точка F на рис. 2.28), тем хуже качество поверхности. Растут шероховатость, пористость и несплошность покрытия. Оно окисляется и становится темным. Если требуется нанести покрытие большей толщины, то применяют материал с лучшей эрозионной способностью или повышают значения параметров режима обработки.

Шероховатость и сплошность покрытий регулируются. На черновых режимах обработки получают шероховатость поверхности 3...4 классов, а на чистовых – 5...6 классов.

Покрытие состоит из трех слоев. Первый слой - это термодиффузионная зона покрытия и основного металла. Второй нетравящийся (белый) слой представляет собой твердый раствор легирующих или карбидообразующих элементов, входящих в состав электродного материала. Третий слой, подобный газотермическим покрытиям, сформирован из фрагментов застывшего металла и оксидов. Структура упрочненного наружного слоя напоминает строение антифрикционного сплава: частицы мелкодисперсных карбидов включены в сравнительно мягкую основу. Перенесенный материал анода легирует материал детали и, соединяясь с диссоциированным атомарным азотом воздуха и углеродом материала детали, образует диффузионный износостойкий слой. При этом в слое имеются сложные химические соединения, нитриды и карбонитриды, а также закалочные структуры.

Глубина термического влияния на материал детали составляет 0,8...1,0 мм. Предел выносливости детали практически не изменяется.

Формирование микрогеометрии и несущей способности покрытий при электроискровой наплавке имеют особенности.

Исходная шероховатость восстанавливаемой поверхности не должна превышать $R_z = 10$ мкм. Поверхность после электроискровой наплавки существенно отличается от поверхностей, полученных другими способами. После снятия случайно прилипших частиц распыленного металла на поверхности остаются равномерно расположенные сферические выступы и впадины. Микрорельеф имеет практически одинаковые характеристики по всем направлениям и не содержит острых гребешков, как после механиче-

ской обработки. Однако, с увеличением толщины покрытий средняя высота R_z , радиус закруглений и средний шаг неровностей непрерывно растут.

В условиях эксплуатации наплавленные поверхности показывают лучшие результаты по сравнению с исходными поверхностями.

Если обкатывание (раскатывание) роликами или шариками ведется при давлении 5...20 % от предела текучести материала, то остаточные растягивающие напряжения, возникающие в результате наплавки и снижающие усталостную прочность на 10...30 %, практически снимаются. Опорная поверхность после пластического деформирования увеличивается, а образовавшиеся каналы удерживают около 0,02 мм³ масла на каждый 1 см² площади покрытия. Масло выступает над поверхностью трения за счет его поверхностного натяжения.

Механическую обработку (полирование) наплавленного покрытия назначают после пластического поверхностного деформирования.

Применение электроискровой обработки. При рациональном выборе материала анода на поверхности упрочняемой (восстанавливаемой) детали образуется слой высокой твердости и износостойкости. Электроискровой обработкой можно восстанавливать изношенные детали, изменять свойства их поверхностного слоя, упрочнять режущие кромки инструмента (резцов, фрез, штампов и др.) путем нанесения твердых сплавов, антикоррозионных, жаростойких, фрикционных и антифрикционных материалов.

Способ применяют для восстановления шеек валов и осей, поверхностей отверстий под подшипники с износом до 0,2 мм с невысокими требованиями к сплошности покрытия, упрочнения взамен термообработки трущихся поверхностей. Стойкость режущей части инструмента в результате упрочнения увеличивается в 2 раза. Износостойкость деталей после электроэрозионного упрочнения повышается в 3...8 раз. Способ получил распространение при восстановлении деталей топливной аппаратуры дизелей и золотников, изготовленных из стали 15Х и имеющих твердость 56...63 HRC.

Электроискровая обработка в ряде случаев при восстановлении изношенных поверхностей подшипниковых узлов является финишной операцией, не требующей дополнительной механической обработки.

2.9.2. Материалы и оборудование

Материалы. Для электроэрозионного упрочнения применяют материалы (электроды): металлокерамические твердые сплавы ВК6-ОМ, ВК-8, Т15К6, ТТ15К10-ОМ, Т30К4, Т60К4, ТН-20 круглого и прямоугольного сечения; медную проволоку; бронзу БрАЖ10-3, БрАЖМц10-3-1,5, БрАЖН10-4-4 и др.; специальные электродные материалы из бронзы ВБр5М, ДКВ – аналог рэлита, АОМ (алюминиево-оловянисто-медный сплав), сплавы ВЖЛ-2, ВЖЛ-2М, ВЖЛ-13, ВЖЛ-17, В56, ЖСН-Л; стали

65Г, 20Х13, 95Х18, ШХ-15 и др. Применяют также сормайт, стеллит и вольфрам.

Для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств восстановленных поверхностей можно наносить покрытие в несколько слоев из различных материалов. Например, на стальную или чугунную поверхность поршневого кольца наносят молибден, на него медь, а затем олово.

Оборудование. Покрытия наносят конденсаторными установками с электромагнитными вибраторами контактным способом в газовой среде. Напряжение в момент разряда конденсаторов достигает 100...150 В. Наибольшее распространение получили установки группы ЭФИ-46А, -23М, -25М, -54А.

Имеется семь классов модернизированных мобильных установок типа “Элитрон” и два класса “Вестрон”, с помощью которых можно наносить покрытия толщиной до 0,4 мм (сплошностью 60...95 %) и толщиной 0,4...1,0 мм (сплошностью 25...60 %).

Созданы модернизированные установки “Вестрон-005” и “Вестрон-006”. Сущность модернизации заключалась в совмещении в одной установке транзисторно-тиристорного и резисторно-емкостного генераторов, оснащении новыми вибровозбудителями с вращающимися электродами и повышении частоты импульсов тока с 100 до 800 Гц. Повышение энергии разряда одного импульса тока до 7,5 Дж не приводит к увеличению толщины покрытия. Установки “Вестрон” позволяют наносить покрытия толщиной до 300 мкм с пористостью менее 80 %.

Технологические перемещения инструмента выполняют как вручную, так и с применением средств механизации. В обоих случаях перемещение электрода, продолжительность обработки, режимы по току, амплитуде и частоте вибрации электрода выбирают так, чтобы покрытие было сплошным, равномерным и имело ровную, отражающую свет, поверхность.

2.10. Установка и закрепление дополнительных ремонтных деталей

2.10.1. Характеристика и виды способа

Дополнительные ремонтные детали (ДРД) – это заготовки, которые по форме и размерам соответствуют изношенному слою или поврежденному или отломанному элементу детали.

ДРД применяют для компенсации износа поверхностей деталей или замены их поврежденных частей. В первом случае ДРД устанавливают и закрепляют непосредственно на изношенной поверхности. Во втором случае ими заменяют часть детали с поврежденными элементами.

С помощью ДРД восстанавливают многие детали, в том числе корпусные, гильзы и валы. Восстанавливают, отверстия под подшипники качения в корпусных деталях, отверстия с изношенной резьбой, рабочую поверхность цилиндров, шейки валов и другие элементы.

В зависимости от вида восстанавливаемой поверхности ДРД имеют вид гильзы, кольца, резьбовой втулки, спирали и др. ДРД обычно изготавливают из того материала, из которого изготовлена сама восстанавливаемая деталь. Стальные ДРД, выполняющие функции трущихся элементов, могут быть перед установкой закалены.

В настоящее время ДРД все больше применяют для целей восстановления деталей с большими износами под номинальные размеры. Способ позволяет устранять повреждения, которые трудно устранить другими способами. Восстановление деталей способом ДРД применяют в различных ремонтных производствах при разных объемах выпуска. Стоимость материалов, при этом, в несколько раз ниже, чем материалов, применяемых при наплавке и напылении. Применяемое оборудование универсальное, а технология простая.

Процессы создания ремонтных заготовок с применением ДРД классифицируют в зависимости от способа их закрепления. ДРД крепят на восстанавливаемых поверхностях натягом, деформированием материала, сваркой, клеем, пайкой, заклепками, силами упругости и упорами, винтами, штифтами и резьбой, выполненной на теле детали.

2.10.2. Механическое закрепление дополнительных ремонтных деталей

Широкое распространение получило закрепление цилиндрических ДРД в виде втулок на шейках валов или в отверстиях корпусов за счет *натяга*. Шероховатость сопрягаемых поверхностей при этом должна быть не более $R_a 1,25 \dots 0,32$ мкм.

Для надежного соединения ДРД с основной деталью их просверливают, отверстие разворачивают или в нем нарезают резьбу. В отверстие устанавливают штифт или резьбовой стопор.

При восстановлении деталей типа “гильз” используют ленты из стали У8А, У10А, 65Г или 70С2ХА толщиной 0,5 или 0,7 мм шириной 75 или 80 мм. Технологический процесс, например, восстановления гильзы цилиндра включает предварительное растачивание и хонингование зеркала цилиндра, изготовление из ленты пластин-ДРД, сворачивание и запрессовывание последовательно двух ДРД в восстанавливаемую деталь, снятие фаски и хонингование. Однако силы натяга при запрессовывании втулки в отверстие могут вызвать заметное изменение наружных размеров восстанавливаемой детали.

Свертные втулки из низкоуглеродистой конструкционной стали могут быть закреплены в восстанавливаемом отверстии путем их *раскатывания*. В этом случае свертные втулки изготавливают из отожженной рулонной ленты по толщине 0,8 мм.

Закрепление ДРД на поверхности шеек *силами упругости и упорами* не искажает размеры детали и исключает термическое влияние на ее материал. Суть способа заключается в следующем. Из шлифованной и полиро-

ванной полосы из инструментальной или пружинной стали толщиной 0,4 мм вырубает в штампе заготовку ДРД и пробивают круглые и фигурные отверстия. Круглые отверстия необходимы в будущей детали для прохождения масла, а фигурные – для формирования лепестков. Длина ДРД соответствует длине окружности восстанавливаемой шейки. Затем заготовку ДРД сворачивают в кольцо с использованием специальной оснастки и отгибают лепестки. Диаметр свернутой ленты меньше диаметра восстанавливаемой шейки. На поверхности шейки фрезеруют углубления. ДРД в виде браслета надевают на шейку вала таким образом, чтобы лепестки ДРД вошли во фрезерованные углубления (рис. 2.29). Силы упругости заставляют ДРД копировать форму шейки, а лепестки, взаимодействующие с торцами углубления, фиксируют ДРД от проворачивания. Лента, изготовленная на специализированном заводе, имеет точную равномерную толщину и шероховатость, соответствующую шероховатости обработанной шейки.

Масса материала на шейке вала в 2...5 раз меньшая по сравнению с массой материала, нанесенного другими способами восстановления. Трудоемкость восстановления коленчатого вала установкой свертных лент в три раза меньше, чем с использованием электродуговой наплавки. При очередном ремонте свертные ленты заменяют, при этом шейки вала не шлифуют. Этим способом, например, восстанавливают шейки коленчатых валов из высокопрочного чугуна двигателей ЗМЗ-24 и ЗМЗ-53.

ДРД, имеющие форму дисков или пластин, можно закреплять на основной детали с помощью заклепок или винтов с потайной головкой, при этом толщину диска или пластины следует принимать не менее 4 мм.

2.10.3. Закрепление дополнительных ремонтных деталей сваркой, пайкой и клеем

Наибольшее распространение получил способ закрепления ДРД *сваркой*. Его часто применяют при ремонте листовых панелей кузовов. Способ применяют также при восстановлении шеек коленчатых валов, канавок поршней, венцов шестерен, стыковых приливов картеров и в других случаях.

ДРД может быть закреплена *электрозаклепками*.

Однако приварка ДРД оказывает термическое влияние на материал восстанавливаемой детали, что вызывает ее коробление и уменьшение усталостной прочности.

ДРД на шейках валов закрепляют *полудой*, кристаллизующейся в зоне контакта деталей. На поверхности восстанавливаемой детали можно закрепить стальную ленту *пастообразным припоем с применением импульсов тока*.

Сущность *клеесварного* способа закрепления ДРД заключается в следующем. Поверхность основной детали зачищают металлической щеткой, шлифовальным кругом или другими инструментами. Затем поверхность

обезжиривают органическим растворителем и наносят клеевую композицию. После этого устанавливают накладку из стали 20 и ее приваривают контактным способом, формируя соединение.

2.10.4. Вставки

Вставки применяют для восстановления резьбовых отверстий и стенок корпусных деталей с трещинами.

Большой объем работ при восстановлении корпусных деталей связан с восстановлением резьбовых отверстий. Доля этих отверстий составляет свыше 30 % всех резьбовых элементов деталей.

Способы восстановления резьбовых отверстий за счет образования новой резьбы большего размера и заварки отверстий со сверлением и нарезанием резьбы имеют ограниченное применение. Эффективно восстановление резьб путем установки *спиральных вставок* из ромбической проволоки. Материал спиральной вставки - аустенитная хромоникелевая сталь. ДРД представляет собой пружинящую спираль с концентричными друг относительно друга внутренней и наружной резьбами высокой точности. Спираль имеет на одном конце поводковый усик для завинчивания ДРД. Внешний диаметр ДРД в свободном состоянии перед установкой больше, чем соответствующий диаметр резьбы в отверстии, что обеспечивает натяг в сопряжении.

Способ позволяет повысить прочность резьбовых отверстий, восстанавливать резьбы в тонкостенных деталях под номинальный размер и снизить износ резьбовых поверхностей при разборке и сборке агрегатов. Соединения со спиральными вставками хорошо работают при динамических нагрузках. Прочность таких соединений на 35...40 % выше, а частота их отказов в 5...7 раз ниже, чем соединений без вставок.

Процесс восстановления поврежденного резьбового отверстия включает: рассверливание изношенной резьбы в детали; нарезание новой резьбы большего размера с тем же шагом и необходимой глубиной под вставку; ввертывание вставки в деталь; удаление технологического поводка. Разрушенную или поврежденную резьбу удаляют путем рассверливания отверстия. Отверстие не цекуют во избежание трудностей при ввинчивании ДРД. Вставку ввинчивают в резьбовое отверстие с помощью специального инструмента за поводковый усик, который затем обламывают. Выступление вставки из детали не допускается.

Способ обеспечивает повышение предельной нагрузки на резьбу, ее износной и коррозионной стойкости.

Одной из разновидностей способа восстановления стенок корпусных деталей с трещинами является установка *фигурных вставок* из малоуглеродистой. Вставки имеют призматическую форму, имеющую в основании элементы окружностей диаметром 3,5; 4,8 или 6,8 мм. Сущность способа заключается в запрессовывании вставок в предварительно подготовленные

пазы детали (рис. 2.30). Вставки бывают уплотняющими (устанавливают вдоль трещины) и стягивающими (устанавливают поперек трещины). Трещины длиной до 50 мм устраняют только стягивающими вставками, а более 50 мм – стягивающими и уплотнительными вставками. Высота уплотняющих вставок 10...15 мм, а стягивающих 3 мм. Высота уплотняющих вставок превышает толщину стенки детали, высота стягивающих вставок составляет часть толщины стенки восстанавливаемой детали.

Выпускают комплект ОР-11362, в состав которого входят фигурные вставки и необходимый инструмент. Способ отличается простотой и небольшой трудоемкостью, он доступен любому ремонтному предприятию и мастерской.

2.11. Пластическое деформирование материала

Пластическое деформирование материала используют при восстановлении расположения, формы, размеров и шероховатости поверхностей и физико-механических свойств детали за счет перемещения материала внутри объема самой заготовки, изменения структуры материала или создания наклепа.

Способ применяют при восстановлении деталей, изготовленных из пластичных материалов (стали, меди, бронзы и др.). Он может быть использован и для обработки хрупких материалов, которые превращаются в пластичные путем нагрева или создания благоприятных условий нагружения. Процесс обладает уникальной особенностью обходиться при восстановлении большого количества параметров и свойств без вложения дополнительного материала в заготовку, в отличие от способов нанесения покрытий, установки и закрепления ДРД.

2.11.1. Особенности и область применения и способа

Пластичность - это свойство твердых тел под действием внешних сил изменять свою форму и размеры без разрушения и сохранять их в виде остаточной деформации после снятия приложенных сил.

Степень и усилие деформирования материала зависят от его химического состава и структуры, температура нагрева, скорости деформирования и схемы главных напряжений.

Наибольшую пластичность имеют чистые металлы. Введение в состав металла легирующих элементов чаще всего уменьшает его способность к пластическому деформированию. Чем меньше размер зерна, тем прочнее металл и ниже его пластичность. При горячем деформировании размер зерна не сказывается на пластичности.

Пластичность материала увеличивается при его нагреве.

Увеличение скорости деформирования приводит к снижению пластичности и увеличению сопротивления деформированию. Влияние фактора велико в условиях горячего деформирования.

Чем больший объем заготовки нагружен сжимающими напряжениями, тем большую величину деформаций допускает материал без разрушения. Максимальная величина деформации может быть получена при всестороннем неравномерном сжатии.

Область применения пластического деформирования распространяется на восстановление геометрических параметров деталей, а также их жесткости, усталостной прочности и износостойкости. Способ экономичен и обеспечивает высокое качество восстановления деталей.

2.11.2. Восстановление размеров деталей

Пластическое деформирование позволяет получение ремонтных заготовок, которые будут обработаны под номинальные размеры. При этом материал перемещают из неизнашиваемого объема в зону износа. Процесс включает термическую обработку, технологический нагрев (при необходимости) и приложение деформирующего усилия.

Термическая обработка перед деформированием представляет собой отжиг или высокий отпуск. В ряде случаев непосредственно перед деформированием заготовку нагревают до температурыковки.

Пластическое деформирование материала разделяют на группы в зависимости от соотношения направления внешних сил и деформаций и вида применяемой энергии. В зависимости от соотношения направлений внешних сил и деформаций различают основные способы создания ремонтных заготовок: осадку, раздачу, обжатие, вытяжку и вдавливание (рис. 2.31).

Осадка применяется для увеличения наружного размера сплошных деталей. Для деталей, испытывающих значительные эксплуатационные нагрузки, уменьшение высоты при осадке допускается до 8 %, а для остальных деталей - до 15 %.

Направления действующих сил и деформаций при *раздаче* совпадают и направлены изнутри детали. Раздачу применяют при восстановлении по наружному диаметру поршневых пальцев, чашек дифференциала, втулок и других деталей.

При *обжатии* направления действующих сил и деформаций также совпадают, но направлены внутрь заготовки. Способ применяют при восстановлении внутренней поверхности детали с нежесткими требованиями к наружным размерам.

Вытяжку применяют для увеличения длины детали за счет уменьшения ее поперечного сечения. По сравнению с осадкой деформации и действующие силы поменялись местами и направлениями. Вытяжкой восстанавливают, например, размеры толкателей при износе торцовых поверхностей.

Вдавливание объединяет в себе признаки осадки и раздачи. В большинстве случаев действующая сила направлена под углом к направле-

нию требуемой деформации. Одновременное протекание осадки и раздачи сохраняет длину детали, что является преимуществом способа.

Частным случаем вдавливания является *накатка* (рис. 2.32). Ее часто применяют для увеличения наружного или уменьшения внутреннего размеров деталей за счет вытеснения металла из отдельных участков рабочих поверхностей. Поверхности накатывают специальным инструментом - зубчатым роликом (накатником) с прямыми или косыми зубьями.

В зависимости от вида энергии, затрачиваемой на пластическое деформирование, различают механическое, термопластическое, электрогидравлическое и другие виды воздействий.

Примеры *механического деформирования* заготовок рассмотрены выше. Деформирующее усилие создают молотами или прессами, заготовку, при этом, устанавливают в приспособление.

Термопластическое деформирование применяют при восстановлении деталей “тел вращения” - гильз цилиндров, поршневых пальцев двигателей, поршней и др.

Имеется два варианта термопластического обжатия заготовки типа гильзы. Первый вариант состоит в нагреве заготовки, установленной в жесткий охватывающий цилиндр, и последующем охлаждении. Второй вариант заключается в том, что внутри заготовки равномерно перемещают нагревающе-охлаждающий узел в виде индуктора с жидкостным спреером. Под действием внутренних напряжений происходит равномерное пластическое обжатие заготовки. Длительность процесса 5...6 мин. Величина обжатия составляет 0,9...1 мм.

Сущность термопластической раздачи заключается в том, что деталь нагревают снаружи до температуры выше $A_{сз}$ и охлаждают изнутри потоком жидкости.

Электрогидравлическая раздача основана на эффекте Л.А.Юткина. Сущность эффекта заключается в иницировании в жидкости, заполняющей внутреннюю полость заготовки, электрического разряда, создающего высокое гидравлическое давление, которое, в свою очередь, вызывает пластическое деформирование материала заготовки и обеспечивает припуск на обработку.

После деформирования заготовки необходима ее механическая обработка поверхностей до требуемых размеров.

2.11.3. Восстановление формы деталей

Форму изогнутой или скрученной детали восстанавливают *правкой*. Направление действующей силы при этом противоположно устраняемой деформации и в большинстве случаев перпендикулярно оси детали. Правят валы, шатуны, оси, клапаны, тяги, рычаги, рамы, кронштейны и другие детали. При правке деформируют всю деталь или ее элемент, создают статическую или динамическую нагрузку, процесс ведут без нагрева или с нагревом.

Для *холодной* правки характерны неоднородность степени деформации по сечению, а следовательно несимметричная эпюра остаточных напряжений. В связи с этим при холодной правке необходимо стремиться к распределению деформаций по всему объему металла. Остаточные напряжения способствуют возврату деформации.

Для повышения стабильности результата применяют *двойную* правку с перегибом в обратную сторону и последующим нагревом детали до температуры 400...500 °С, выдержкой в течение 1 часа и охлаждением в контейнере. Такая термическая обработка восстанавливает до 90 % несущей способности деталей.

Для деталей с большой стрелой прогиба применяют *горячую* правку. Перед правкой нагревают всю деталь или ее часть. Такая правка завершается отпуском.

Правку выполняют однократным приложением нагрузки или многократным приложением половинной нагрузки. Последняя технология реализована в оборудовании для правки деталей итальянской фирмы Galdobini. Оборудование этой фирмы применяют на заводах по изготовлению автомобильных двигателей.

Для коленчатых валов, изготовленных из высокопрочного чугуна, применяют *поэлементную* правку без нагрева в объеме одной шатунной шейки путем создания преимущественно сжимающих напряжений с медленным нарастанием и снятием нагрузки.

Высокое качество обеспечивает правка *наклепом*. Точность правки при этом достигает 0,02 мм, наблюдается стабильность результата во времени и сохранение усталостной прочности. Такой вид правки выполняют пневматическим молотком с закругленным бойком и нанесением ударов по нетрущимся поверхностям детали.

2.11.4. Упрочнение поверхностей

Многие детали машин при эксплуатации утрачивают износостойкость, усталостную прочность и жесткость. Восстановить эти свойства можно *наклепом* поверхностного слоя детали или всего ее объема. Явление заключается в изменении структуры металла, вызванным пластическим деформированием. При восстановлении усталостной прочности в поверхностном слое создают сжимающие остаточные напряжения. Механическое упрочнение рекомендуется и для повышения усталостной прочности дета-

лей, восстановленных с применением наплавки, напыления и нанесения электрохимических покрытий.

Применяют следующие виды механического упрочнения поверхностей деталей: обкатывание (раскатывание), чеканку, дробеструйную или центробежную обработку, калибрование, выглаживание и др.

Наибольшее применение получило *обкатывание* роликами и шариками для упрочнения наружных и внутренних поверхностей деталей. В качестве оборудования применяют станки, имеющие механические продольную и поперечную подачи. Приспособление устанавливают на суппорте станка. Инструмент (накатник) обычно подпружинен и прижимается к детали усилием поперечной подачи.

Галтели коленчатых валов упрочняют обкатыванием профильными роликами, изготовленными из твердого сплава Т15К6 и касающимися при работе галтельных переходов детали.

Внутренние поверхности (гильз цилиндров, отверстий в головках шатунов) упрочняют шариковыми или роликовыми раскатниками (рис. 2.33). Эта обработка обеспечивает требуемую точность размеров деталей и необходимую шероховатость.

Обкатывание и раскатывание улучшают шероховатость поверхности на 1...2 класса.

Более эффективным способом упрочнения галтелей на коленчатых валах является их *чеканка*. Наклеп на упрочняемых поверхностях в этом случае создают при помощи бойков, приводимых в движение от вращающегося кулачка. Толщина наклепанного слоя при чеканке в несколько раз больше, чем при обкатывании.

Дробеструйную обработку применяют как для повышения жесткости упругих элементов (пружин, торсионов, рессорных листов), так и для увеличения усталостной прочности деталей (шатунов, коромысел). Дробеструйная обработка ухудшает шероховатость поверхности на 1...2 класса, на этот параметр оказывают влияние частота вращения ротора, диаметр дроби и продолжительность обработки.

Наклеп *ротационным упрочнителем* выполняется с помощью приспособления (рис. 2.34), установленного на суппорте токарного станка.

Пластическое деформирование применяется и как отделочно-чистовая обработка в виде калибрования отверстий или выглаживания.

Отверстия *калибруют* перемещением в них с натягом деформирующего инструмента с подачей СОЖ.

Сущность *выглаживания* заключается в упругопластическом деформировании поверхностного слоя детали инструментом с цилиндрической или сферической рабочей частью при взаимном перемещении инструмента и заготовки. В отличие от обкатывания, где имеет место трение качения инструмента по поверхности детали, выглаживание основано на использовании трения скольжения. Выглаживают только сплошные поверхности.

Наилучшие результаты показывает инструмент из синтетического алмаза, представляющий собой оправку с алмазным наконечником в виде закругленной иглы. Приспособление с инструментом устанавливают на суппорте или пиноли задней бабки токарного станка.

Алмазное выглаживание придает восстанавливаемым поверхностям также высокие износостойкость и усталостную прочность. Этот вид обработки рекомендуется для упрочнения наплавленных и электрохимических покрытий. Усталостная прочность при этом повышается более чем в два раза.

2.12. Нанесение электрохимических покрытий

2.12.1. Общие сведения

Электрохимические процессы. Процессы взаимного превращения электрической и химической энергии являются *электрохимическими процессами*. В зависимости от их направленности получают или покрытия за счет расхода электрической энергии, или электрическую энергию в гальванических элементах.

Простейшая электрохимическая система имеет внутреннюю и внешнюю цепи (рис. 2.35). Два электрода и ионный проводник между ними составляют внутреннюю цепь, а металлический проводник с источником тока – внешнюю. Электродами являются металлические проводники, которые имеют электронную проводимость и находятся в контакте с ионным проводником (проводником 2-го рода). В качестве последнего служат растворы или расплавы электролитов. Взаимодействие внутренней и внешней цепей системы обеспечивает ее работу.

При восстановлении деталей применяют процессы получения покрытий, прочно соединенных с поверхностями деталей. Эти процессы основаны на явлениях электролитической диссоциации и электролиза.

Технологические расчеты. Теоретическое значение массы металла m , выделившегося на электроде, определяют с помощью объединенного закона М.Фарадея:

$$m = CIt = \frac{M}{FZ} It, \text{ г}, \quad (2.23)$$

где C - электрохимический эквивалент, г/А·ч; I - ток, А; t - время осаждения, ч; M и Z - молярная масса (г/моль-ион) и валентность осаждаемого элемента; F - постоянная Фарадея, определяемая произведением количества элементарных частиц в одном моле вещества (постоянная Авогадро $6,022 \cdot 10^{23}$ моль-ион⁻¹) на значение элементарного заряда $1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл, отсюда $F = 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 96484$ Кл/моль.

На катоде кроме осаждения металла протекают сопутствующие процессы: выделение водорода, восстановление металла до более низкой валентности, восстановление органических веществ, попавших в электролит.

Поэтому действительная масса металла, выделившегося на катоде, будет меньше его массы, рассчитанной по формуле (2.7). Отношение массы действительно выделившегося металла на электроде к теоретически возможному его количеству называется коэффициентом *выхода по току* α , значение которого всегда меньше единицы.

Толщину электролитического осадка h определяют по формуле:

$$h = \frac{\gamma}{D_k S_k} t, \text{ мм}, \quad (2.24)$$

где $D_k = I/S_k$ - плотность тока, А/дм²; S_k - площадь катода, дм²; γ - плотность осаждаемого металла, г/см³.

Время осаждения электролитического осадка определяют по формуле:

$$t = \frac{h D_k S_k}{\gamma}, \text{ ч.} \quad (2.25)$$

Область применения и оценка. Электрохимические покрытия применяют в ремонтном производстве при восстановлении деталей с небольшими износами, но с высокими требованиями к износостойкости, твердости и сплошности покрытия и прочности его соединения с основой. Считают, что около 65 % деталей ремонтного фонда имеют износ на сторону до 0,14 мм.

По сравнению с другими процессами нанесения покрытий электролиз обеспечивает: сохранение структуры материала детали за счет отсутствия вложения тепла в него; высокую износостойкость и твердость покрытий; равномерную их толщину; возможность получения покрытий с заданными, изменяющимися определенным образом по их толщине физико-механическими свойствами; большое количество одновременно восстанавливаемых деталей и возможность автоматизации; использование недефицитных материалов. Однако, скорость нанесения покрытий низкая, процесс многооперационный и сопровождается большим расходом энергии и воды и загрязнением сточных вод ионами тяжелых металлов.

Виды электролиза В зависимости от видов материалов наносимых покрытий электрохимические процессы делятся на железнение, хромирование, цинкование, кадмирование, никелирование и др. В ремонтном производстве наибольшее распространение получили первые три процесса. В свою очередь, первые два процесса обеспечивают получение износостойких покрытий, а цинкование – как износостойких, так и защитных покрытий. Цинк обеспечивает надежную катодную защиту стальных изделий.

2.12.4. Основные электрохимические процессы

Железнение. Применяют при восстановлении поверхностей деталей, изношенных более чем на 0,2 мм и требующих высокой поверхностной

твердости. Восстанавливают трущиеся шейки и шейки под неподвижные посадки, поверхности отверстий под втулки и обоймы подшипников в стаканах и корпусных деталях и другие элементы.

Наиболее распространен электролит железнения из хлористого железа (300...500 г/л) и соляной кислоты (2...3 г/л) в воде. Присутствие свободной HCl предупреждает образование гидрооксидов, которые загрязняют электролит и снижают качество покрытия.

Для поддержания необходимой массовой доли ионов железа применяют растворимые аноды из армко-железа, площадь которых меньше площади катодов примерно в два раза.

Во время электролиза на электродах протекают следующие процессы: восстановление на катоде - разряд ионов железа $Fe^{2+} + 2e = Fe$, выделение водорода $2H^+ + 2e = H_2$, восстановление трехвалентного железа $Fe^{3+} + e = Fe^{2+}$; окисление на аноде - растворение железа $Fe - 2e = Fe^{2+}$, окисление двухвалентного железа $Fe^{2+} - e = Fe^{3+}$, выделение кислорода.

Катодная плотность тока при железнении составляет 5...15 А/дм², а выход по току - 85...95 %.

Электролитическое железо по своему составу приближается к малоуглеродистой стали с содержанием углерода 0,03...0,06 %, однако его кристаллическая решетка напряжена, а по своим физико-механическим свойствам осадки близки к закаленной стали.

Сплавы железа с никелем, хромом, марганцем и другими металлами обладают повышенной износной и коррозионной стойкостью.

Легирование железа марганцем и фосфором значительно улучшает износостойкость осадка. С увеличением марганца в покрытии его износостойкость и твердость растут.

Электроконтактное железнение обеспечивает меньший расход ресурсов, нанесение покрытий в размер с сокращением или исключением их механической обработки. Область применения способа – создание ремонтных заготовок при восстановлении корпусных деталей и крупногабаритных валов.

Хромирование. Применяют при восстановлении поверхностей деталей с износами до 0,2 мм и высокими требованиями к износостойкости.

При хромировании применяют универсальный электролит состава: хромовый ангидрид CrO_3 (200...250 г/л), серная кислота (2,0...2,5 г/л) с выходом по току 12...14 %. Удовлетворительные хромовые покрытия получаются лишь в присутствии ионов SO_4 или SiF_6 в строго определенном соотношении. Применяют нерастворимые свинцово-сурьмянистых аноды, в которых содержание сурьмы достигает 6 %. Постоянная массовая доля ионов SO_4 поддерживается за счет присутствия в растворе труднорастворимого сульфата стронция $SrSO_4$. Такие электролиты называют саморегулирующимися. Добавление в раствор кремнефторида калия K_2SiF_6 делает

электролит саморегулирующимся как по ионам SO_4 , так и по ионам SiF_6 . Такой электролит отличается повышенной стабильностью и выходом по току. Катодная плотность тока при хромировании в таких условиях равна 35...100 А/дм², а выход по току составляет 35...40 %. При использовании хлоридных электролитов выход по току достигает 55...60 %.

Во время хромирования на катоде одновременно протекают три процесса: восстановление шестивалентного хрома до трехвалентного $Cr^{6+} + 3e = Cr^{3+}$, выделение водорода $2H^+ + 2e = H_2$, осаждение металлического хрома $Cr^{6+} + 6e = Cr$. На аноде выделяется газообразный кислород и окисляется трехвалентный хром до шестивалентного $Cr^{3+} - 3e = Cr^{6+}$.

Электролитический хром по внешнему виду бывает блестящим, молочным или серым. Блестящий хром имеет высокие твердость (6000...9000 МПа), износостойкость, хрупкость и внутренние напряжения. На его поверхности видны под микроскопом мелкие пересекающиеся трещины. Молочный хром имеет повышенную износостойкость, большую вязкость и пониженную твердость (4000...6000 МПа). Сетка трещин на нем отсутствует. Серый хром очень твердый (9000...12000 МПа) и хрупкий металл, имеющий из-за хрупкости пониженную износостойкость. При восстановлении деталей используют блестящие и молочные осадки.

Получение осадков различных видов обусловлено условиями электролиза (рис. 2.39). Блестящие покрытия получают при температуре электролита 45...65 °С, а молочные – выше 65 °С в широком диапазоне плотностей тока. Серый хром получают при низкой температуре электролита и высокой плотности тока.

Пористые износостойкие хромовые покрытия получают в результате дополнительной анодной обработки после нанесения покрытия перед извлечением заготовок из ванны.

Цинкование. Цинковые покрытия характеризуются хорошей пластичностью и невысокой твердостью (500...600 МПа). Эти покрытия применяют для защиты деталей из черных металлов от коррозии и восстановления поверхностей отверстий малонагруженных деталей.

При создании ремонтных заготовок распространено электроконтактное цинкование в электролите, содержащем 280...300 г/л сернокислого цинка и 20...40 г/л борной кислоты. Процесс начинают при плотности тока 30...50 А/дм², которую постепенно доводят до 200 А/дм². Скорость перемещения анодного тампона относительно восстанавливаемой поверхности составляет 10 м/мин.

Мелкие крепежные детали цинкуют во вращающихся колокольных или барабанных ваннах. Частота их вращения 8...15 об/мин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАЗДЕЛУ

Заготовки восстанавливаемых деталей

Исходные заготовки – это очищенные детали ремонтного фонда с устранимыми повреждениями. У них будут определены сочетания повреждений, из них составят партии, которые будут направлены на соответствующие производственные участки.

Качество очистки изделий – одна из ключевых проблем ремонта машин. От него зависят культура производства, объективность определения технического состояния и послеремонтная наработка изделий. Очистка деталей связана с большим расходом энергии.

Различные загрязнения обладают различными свойствами, в том числе прочностью и растворимостью. Достижение необходимого качества очистки предполагает изучение загрязнений, выбор процессов, очистных сред и оборудования. Качественную и эффективную очистку обеспечивает лишь многооперационный процесс, на последующих операциях которого удаляют более прочные загрязнения.

Объективное определение повреждений является предпосылкой качественного восстановления и нормирования труда. Принят бинарный способ определения повреждений: они есть или их нет. Различные виды повреждения требуют для своего определения использования специализированных средств. Работы по определению усталостных трещин в поверхностных слоях деталей весьма ответственные.

Ремонтная заготовка – это состояние восстанавливаемой детали с припусками на последующую механическую обработку. Как сам материал на восстанавливаемых поверхностях, так и прочность его соединения с основой оказывают влияние на долговечность детали.

Большая доля способов создания ремонтных заготовок связана с нанесением покрытий, сопровождающемся нагревом материала и поверхности детали. При этом используют проволоку и ленты, штучные электроды и прутки, порошки и шнуры. Различные источники тепла отличаются друг от друга температурой среды, удельной тепловой мощностью и обеспечивают различную глубину проникновения теплового потока в материал детали.

Особенности сварки в процессах создания ремонтных заготовок определяются видом их материала и толщиной свариваемых элементов. Число дефектов при сварке существенно уменьшается при предварительном подогреве заготовки, разрушении оксидных пленок и последующей термической обработке. Оксидная пленка при сварке деталей из алюминиевых сплавов разрушается при использовании источников переменного тока специальной характеристики.

Применяют различные виды наплавки: электродуговую (ручную, механизированную под слоем флюса, электрошлаковую, в среде защитного газа, самозащитными материалами, вибродуговую); плазменную; электромагнитную, лазерную; индукционную и наплавку намораживанием. Каж-

дый вид наплавки имеет особенности и рациональную область применения.

Электроконтактная приварка металлического покрытия обладает рядом преимуществ по сравнению с дуговыми процессами, поэтому она получает более широкое применение в производстве.

Напыление материала в процессах создания ремонтных заготовок обеспечивает низкую температуру восстанавливаемой поверхности, высокие значения эксплуатационных свойств покрытий и производительности их нанесения. Электродуговое и газопламенное напыление развивается в направлении повышения скорости частиц материала и его защиты от влияния окружающей среды, детонационное и вакуумное конденсационное – в направлении повышения производительности.

В восстановительном производстве в последнее время развивается электроискровая обработка при упрочнении поверхностей.

Установка и закрепление ДРД применяется при освоении ремонта агрегатов. Процесс доступен любому предприятию, не требует специального оборудования и дефицитных материалов.

Большими возможностями и преимуществами обладает пластическое деформирование материала. Способ не требует вложения в заготовку материала, изменяет размеры и форму заготовки, упрочняет поверхности за счет наклепа материала.

Процессы нанесения электрохимических покрытий основаны на использовании электролитической диссоциации и электролиза. Последний подчиняется законам М. Фарадея. Процессы характеризуются получением качественных покрытий, но с низкой производительностью, поэтому применяются в экономически обоснованных случаях. Способы развиваются в направлении снижения энергоемкости и повышения производительности.

Каждый способ создания ремонтных заготовок имеет рациональную область своего применения, которая определяется технико-экономическим расчетом.