

В.А. Белевитин

ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Учебное пособие



**МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный гуманитарно-
педагогический университет»**

В.А. Белевитин

**ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Учебное пособие

**Челябинск
2023**

УДК 621.8 (021)

ББК 34.441я73

Б 43

Белевитин, В.А. Технологии наплавки деталей машин: учеб. пособие / В.А. Белевитин. – Челябинск: Изд-во Южно-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2023. – 299 с. – ISBN 978-5-907790—09-4. – Текст: непосредственный.

Учебное пособие посвящено описанию технологий наплавки деталей машин узлов и механизмов автомобильного транспорта. В нем рассматриваются особенности производства и организации восстановления деталей машин и особенности способов их восстановления наплавкой, включая общую характеристику материалов для восстановления деталей машин. Приведены основные особенности и условия технологий дуговой, плазменной, лазерной, вибродуговой, индукционной, электроискровой и электроконтактной наплавки с подробной иллюстрацией особенностей и зависимостей технологических параметров.

Адресовано студентам, обучающимся по программе бакалавриата направления подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям), профиль «Транспорт».

Рецензенты: М.С. Дмитриев, д-р техн. наук, доцент
К.Н. Семендяев, канд. техн. наук

ISBN 978-5-907790—09-4

© В.А.Белевитин, 2023

© Издательство Южно-Уральского
государственного гуманитарно-
педагогического университета, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 6 |
| Глава 1. Особенности производства и организации восстановления деталей машин | 10 |
| 1.1. Задачи и принципы подготовки производства и организации восстановления деталей машин | 10 |
| 1.2. Комплексная характеристика способов наплавки изношенных деталей | 13 |
| 1.3. Классификация восстанавливаемых деталей машин | 22 |
| Вопросы для самоконтроля | 25 |
| Глава 2. Особенности способов восстановления деталей наплавкой | 26 |
| 2.1. Превращение исходной изношенной детали в ремонтную заготовку | 26 |
| 2.2. Классификация и общая характеристика способов создания ремонтных заготовок | 28 |
| 2.3. Материалы наплавки покрытий | 35 |
| 2.3.1. <i>Общая характеристика материалов</i> | 35 |
| 2.3.2. <i>Выбор материалов для восстановления деталей</i> | 41 |
| 2.3.3. <i>Штучные электроды и прутки для восстановления деталей</i> | 45 |
| 2.3.4. <i>Порошки для восстановления деталей</i> | 56 |
| 2.3.5. <i>Порошковая проволока, ленты и шнуры для восстановления деталей</i> | 90 |
| Контрольные вопросы | 111 |
| Глава 3. Наплавка покрытий | 112 |
| 3.1. Определение и общая характеристика способа | 112 |
| 3.2. Электродуговая наплавка | 115 |
| 3.2.1. <i>Основные особенности и условия технологии дуговой наплавки</i> | 115 |
| 3.2.2. <i>Ручная дуговая наплавка: ГОСТ и технические условия</i> | 120 |

ВВЕДЕНИЕ

Многолетним отечественным и зарубежным опытом доказана целесообразность восстановительного ремонта машин и деталей их узлов и механизмов, так как для металлоемких деталей стоимость ремонта значительно ниже стоимости новой детали. Кроме того, что не менее важно, при восстановлении деталей экономится значительное количество металла.

Ремонтное производство располагает большим количеством различных способов восстановления деталей, которые позволяют не только вернуть им свойства новых, но и в ряде случаев даже улучшить их. Многочисленность технологических способов и методов, используемых при восстановлении деталей, объясняется разнообразием производственных условий и дефектов, для устранения которых они применяются.

В зависимости от характера устраняемых дефектов все процессы восстановления деталей группируются в две основные группы: восстановление деталей с механическими повреждениями и восстановление деталей с изношенными поверхностями (с изменением размеров рабочих поверхностей деталей). К первой группе относят способы восстановления деталей, имеющих трещины, пробоины, изломы, деформации, а также коррозионные повреждения, ко второй – с измененными размерами и геометрической формой рабочих поверхностей в виде овальности, конусообразности и др. Применение того или иного

способа восстановления зависит также от материала, из которого изготовлена восстанавливаемая деталь.

В настоящее время в связи с тем, что все больше узлов и агрегатов автомобилей работает в тяжелых эксплуатационных условиях (при постоянно возрастающих скоростях и нагрузках), серьезно ужесточаются требования к качеству продукции машиностроительной отрасли, в частности свойствам рабочих по верхностей деталей. Расширение применения легированных сталей с высокими физико-механическими свой свойствами малоэффективно из-за их высокой стоимости. Решить проблему можно с помощью нанесения защитных покрытий на рабочие поверхности изношенных деталей.

Для решения вопросов защиты поверхности деталей от абразивного, коррозионного, механического износа и износа при трении скольжения, высокотемпературной газовой коррозии, а также для ремонта с одновременным повышением эксплуатационных свойств поверхности нашли широкое применение защитные покрытия, наносимые различными методами газотермического напыления. С помощью напыления можно создавать надежную защиту поверхностей изготовленных деталей машин и крупных стальных конструкций. Кроме того, способы напыления позволяют восстанавливать дорогостоящие детали с относительно небольшими затратами материала, времени и денежных средств, что дает значительную экономию металла.

Проблема повышения надежности машин и оборудования в условиях интенсификации производства и энерго- и ресурсосбережения ставит задачу создания новых технологических процессов и применения новых материалов. Повышение износостойкости и антифрикционных свойств поверхностей трения актуально для многих отраслей техники.

Не менее важной является проблема восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей, на замену которых ежегодно расходуются огромные средства. Вместе с тем, одним из существенных недостатков всех способов наплавки является снижение усталостной прочности наплавленных деталей вследствие разупрочнения наплавленного металла в месте нахлеста спиралевидных валиков. В этой зоне происходит повторный отжиг при наложении очередного валика металла и снижение твердости металла. При наплавке металла спиралевидными перекрывающимися валиками снижение усталостной прочности неизбежно.

Особым случаем применения покрытий являются износостойкие покрытия системы Ni-Cr-B-Si, в т.ч. композиции из них. Такие покрытия позволяют не только увеличить ресурс работы машины и восстановить изношенные детали, но и заменить дефицитные и дорогостоящие материалы более дешевыми. Покрытия на основе Ni-Cr-B-Si обладают высокой твердостью, износостойкостью, устойчивы к химически активным средам, имеют достаточно высокую рабочую температуру. Наибольшее распространение в

практике восстановительно-упрочняющих технологий получили самофлюсующиеся порошки. Самофлюсующимися их называют потому, что они могут быть оплавлены в окислительной или нейтральной атмосфере в плотное, беспористое покрытие благодаря положительному раскисляющему действию бора, кремния и некоторых других элементов.

Для получения покрытий в настоящее время используют широкую гамму материалов: черные и цветные металлы, сплавы, керамику, композиционные материалы на различной основе. Выбор конкретного материала из столь широкой номенклатуры определяется как требуемыми эксплуатационными параметрами упрочняемой поверхности, так и экономическими соображениями.

Глава 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ОРГАНИЗАЦИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1.1. Задачи и принципы подготовки производства и организации восстановления деталей машин

Детали машин и механизмов выходят из строя в процессе эксплуатации вследствие ударных нагрузок, истирания и т.д. Современные методы располагают различными возможностями восстановления деталей и их отдельных поверхностей посредством технологического процесса возобновления исправного состояния и ресурса срока службы этих деталей путем возвращения им утраченной части материала из-за изнашивания и доведения до нормативных значений уровня свойств, изменившихся за время длительной эксплуатации [1–2].

В настоящее время известны многие способы восстановления изношенных деталей, каждый из которых имеет свою рациональную область применения. Наиболее употребительными являются следующие:

- 1) восстановление деталей механической обработкой путём получения новых ремонтных размеров, заменой части детали или добавлением целой детали;

2) восстановление давлением, когда деталь подвергается осадке, раздаче, обжатю, накатке, вытяжке или правке;

3) наращивание изношенной детали слоем металла наплавкой, газотермическим напылением, металлизацией или гальваническими покрытиями.

При выполнении ремонтных работ любых видов машин в основном используется восстановительная наплавка – нанесение слоя металла на изношенную часть поверхности детали сваркой плавлением. Восстановительная наплавка применяется для получения первоначальных (номинальных) размеров изношенных или поврежденных деталей. В этом случае наплавленный металл близок по составу и механическим свойствам основному металлу.

Наиболее широко наплавка применяется при ремонтных работах по восстановлению корпусных деталей различных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), распределительных и коленчатых валов, клапанов, шкивов, маховиков, ступиц колес и т.д. Наплавку можно практически производить почти всеми известными способами сварки плавлением.

Важнейшие требования, предъявляемые к наплавке, заключаются в следующем:

- минимальное проплавление основного металла;
- минимальное значение остаточных напряжений и деформации металла в зоне наплавки;
- снижение до приемлемых значений припусков на последующую обработку деталей.

Выбор способа наплавки определяется возможностью получения наплавленного слоя требуемого состава и механических свойств, а также характером и допустимой величиной износа. На выбор способа наплавки оказывают влияние размеры и конфигурация деталей, производительность и доля основного металла в наплавленном слое. При этом выбор наиболее приемлемого способа состоит в техническом, экономическом и организационном анализе требований к восстановленным деталям с учетом условий работы их в сопряжениях.

Основные виды наплавки: аргонно-дуговая неплавящимся электродом, плавящимся электродом в защитном газе, ручная дуговая покрытыми электродами, дуговая самозащитной проволокой, плазменная порошковой.

Экономическая целесообразность ремонтно-восстановительного производства обусловлена тем обстоятельством, что около 45 % деталей машин, поступающих в ремонт, изношены в допустимых пределах и могут быть использованы повторно после восстановления их исправного состояния и ресурса срока службы при его себестоимости 15–30 % цены новых деталей. Установлено, что до 85 % деталей теряют работоспособность при износе, не превышающем 0,2–0,3 мм. Этим подтверждается целесообразность

технологических процессов восстановления деталей, которые являются основным источником экономической эффективности ремонта, технически обоснованным и экономически оправданным мероприятием. Экономическая эф-

фективность процессов восстановления деталей, исключая экологически разрушительный и энергоёмкий металлургический процесс, является дополнительным фактором повышения целесообразности их применения [3].

Вместе с тем, проблема подготовки производства и организации восстановления деталей является более сложной по сравнению с изготовлением новой детали. Детали, поступающие на восстановление, имеют деформации, изношенные базы, трещины и пониженную усталостную прочность. На возобновление исправного состояния и ресурса срока службы этих деталей требует на 5–8 технологических операций меньше по сравнению с изготовлением новых деталей, но рационально настроенных с использованием дополнительной разработки инновационных приёмов и операций технологических процессов, позволяющих увеличить остаточный ресурс надёжности восстановленных деталей в 2,0–2,5 раза.

Развитие производства по восстановлению изношенных деталей машин способствует сокращению расходов на обслуживание стареющего парка машин и содержанию техники в работоспособном состоянии.

1.2. Комплексная характеристика способов наплавки изношенных деталей

Наплавка – это нанесение слоя металла на поверхность заготовки или изделия посредством сварки плавлением (ГОСТ 2601-84).

Восстановительная наплавка (наварка) применяется для восстановления номинальных размеров изношенных

деталей. При этом наплавленный металл по составу и свойствам может быть близок к основному (восстановительная размерная наплавка) или отличаться от него (восстановительная износостойкая наплавка).

Способы наплавки, как и способы сварки, классифицируются по трем типам признаков (ГОСТ 19621-74): физическим, техническим и технологическим. Наиболее распространена и удобна классификация по физическому признаку (используемому источнику нагрева). По нему основные способы наплавки и наварки можно разделить на три группы (рис. 1.1):

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

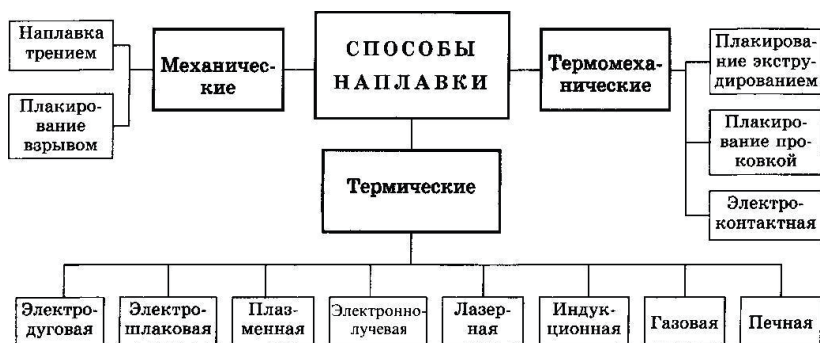


Рис. 1.1 – Способы наплавки [3]

Сущность процесса наплавки заключается в использовании теплоты для расплавления присадочного мате-

риала и его соединения с основным металлом детали. Используя возможности дуговой наплавки, на поверхности детали можно получить наплавленный слой любой толщины, любого химического состава с разнообразными свойствами. Наплавка может производиться в один или несколько слоев на различные поверхности:

- плоские;
- цилиндрические;
- конические;
- сферические и другие сложные формы поверхности.

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

В первую очередь таким требованием является минимальное разбавление наплавленного слоя основным металлом, расплавляемым при наложении валиков. Поэтому в процессе наплавки необходимо получение наплавленного слоя с минимальным проплавлением основного металла, так как в противном случае возрастает доля основного металла в формировании наплавленного слоя. Это приводит к ненужному разбавлению наплавленного металла расплавляемым основным.

При наплавке необходимо обеспечение минимальной зоны термического влияния и минимальных напряже-

ний и деформаций. Это требование обеспечивается за счет уменьшения глубины проплавления, а также регулированием параметров режима, погонной энергии, увеличением вылета электрода, применением широкой электродной ленты и другими технологическими приемами. Технология наплавки различных поверхностей предусматривает ряд приемов нанесения наплавленного слоя (рис. 1.2):

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

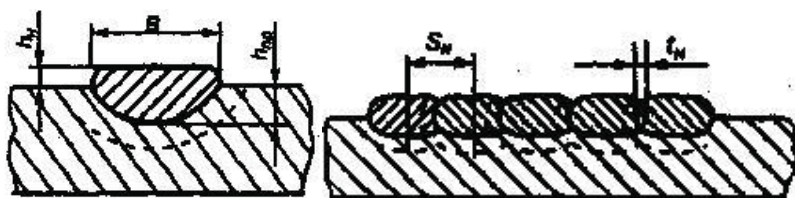


Рис. 1.2 – Способы наложения слоёв [3]:
 B , h , hr – соответственно ширина валика, высота наплавки, глубина проплавления; S_m – шаг наплавки

Расположение валиков с учетом их взаимного перекрытия характеризуется шагом наплавки. Наплавку криволинейных поверхностей тел вращения выполняют тремя способами: наплавкой валиков вдоль образующей тела вращения; по окружностям; по винтовой линии (рис. 1.3).

Наплавку по образующей выполняют отдельными валиками также, как при наплавке плоских поверхностей. Наплавка по окружности тоже выполняется отдельными

валиками до полного замыкания начального и конечного участков со смещением их на определенный шаг вдоль образующей. При винтовой наплавке деталь вращают непрерывно, а источник нагрева перемещается вдоль тела со скоростью, при которой одному обороту детали соответствует смещение источника нагрева, равное шагу наплавки.

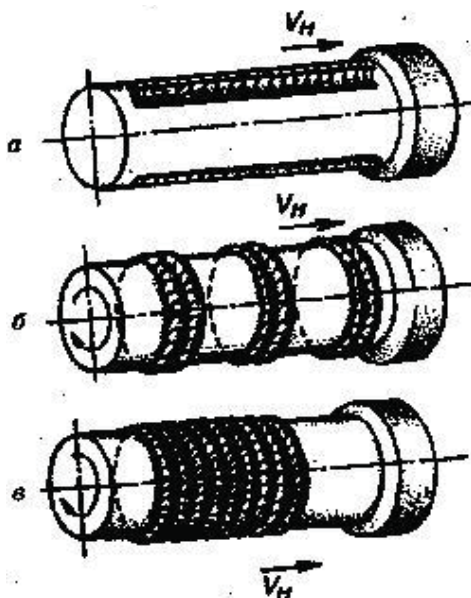


Рис. 1.3 – Наплавка тел вращения [3]:
а – по образующей; б – по окружности;
в – по винтовой линии

При наплавке тел вращения следует учитывать возможность стекания расплавленного металла в направлении вращения детали, поэтому источник нагрева смещают в сторону, противоположную направлению вращения.

Предварительный подогрев наплавляемой детали до температуры 200–250 °С уменьшает склонность наплавленного металла к образованию трещин.

Все дефекты в наплавленном металле можно подразделить на наружные и внутренние.

К внутренним дефектам в наплавленном металле покрытия относятся непровар (несплавление наплавленного металла с основным), пористость, трещины и шлаковые включения.

Наружные дефекты, к которым относятся раковины и трещины, выявляют визуально.

В процессе наплавки в изделии появляются значительные внутренние напряжения, которые приводят к его короблению, а иногда и к разрушению.

К мерам, принимаемым для предотвращения возникновения внутренних напряжений, нивелирования или снятия их с целью уменьшения деформации изделия, относятся следующие:

- предварительный подогрев до 200–400 °С;
- ведение наплавки с погружением изделия в воду без смачивания наплавляемой поверхности;
- ведение процесса при жестком закреплении изделия в приспособлении с последовательным наложением отдельных валиков наплавки (рис. 1.4, [5]).
- предварительный изгиб изделия в направлении, обратном ожидаемому изгибу;
- высокотемпературный отпуск после наплавки с нагревом до 650–680 °С.

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

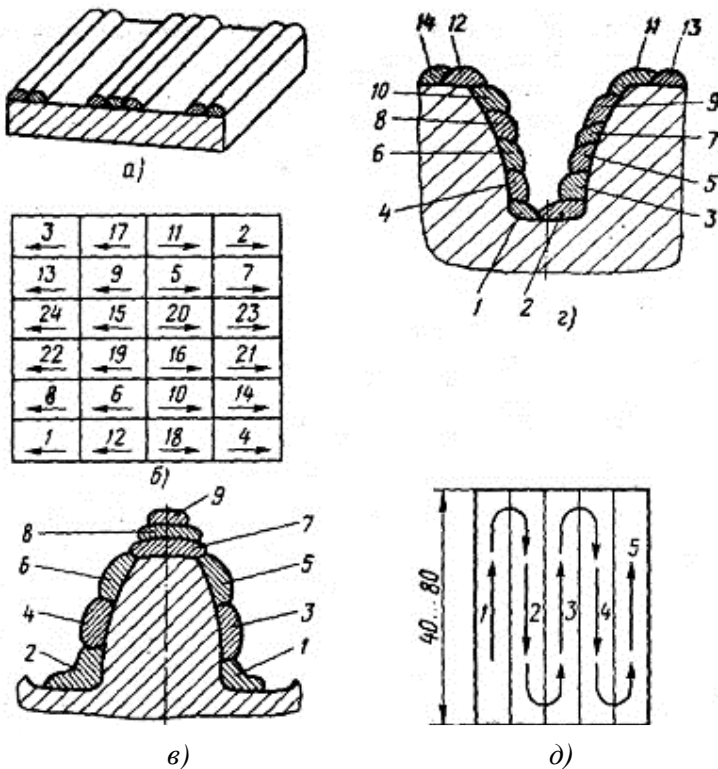


Рис. 1.4 – Схемы наплавки плоских и фасонных поверхностей [5]:

а, б – отдельными валиками соответственно маленьких и больших плоских поверхностей, в, г – отдельными валиками соответственно зуба и впадин шестерни, д – челночным способом; 1–24 – последовательность наложения валиков

Преимущества:

– возможность нанесения металлического покрытия большой толщины; это дает значительный эффект при восстановлении сильно изношенных деталей;

– высокая производительность;

– относительная простота конструкции и транспортабельность оборудования, приспособленного для выполнения работ вне помещений, например, наплавка деталей машин в полевых условиях;

– отсутствие ограничений по размерам наплавляемых поверхностей изделий; наплавку можно применять для таких крупногабаритных объектов, тогда как другие способы поверхностной обработки (электролитическое или горячее металлопокрытие и др.) имеют существенное ограничение по размерам обрабатываемых изделий;

– простота выполнения, не требующая высокой квалификации сварщика, особенно при автоматическом или полуавтоматическом режимах наплавки;

– возможность нанесения износостойкого покрытия на основной металл любого состава;

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

Недостатки:

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

– деформация изделия, вызываемая высокой погонной энергией наплавки; неправильный выбор режима наплавки может привести к чрезмерной деформации изделия; для сохранения точности размеров и формы изделия необходимо принимать особые меры: наплавку изделия вести в зажатом состоянии, исключая его деформацию, создавать «обратную» предварительную деформацию, осуществлять последующую механическую обработку;

– неравномерность свойств наплавленных изделий, обусловленная тем, что наплавленный слой, в отличие от плакированного, имеет характерные свойства и особый состав, присущий металлу сварного шва; поэтому для получения качественных наплавленных слоев сварщику необходимо иметь специальные знания из области теоретической подготовки, например, металловедения, термической обработки, технологической прочности;

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

– трудность наплавки мелких деталей сложной формы; наплавка сопровождается оплавлением поверхностного

слоя основного металла и протекает в условиях непрерывного перемещения сварочной ванны, состоящей из смеси основного и наплавляемого металлов; при наплавке мелких деталей условия формирования такой ванны ухудшаются; при сложной форме изделия также затруднено её плавное перемещение, что исключает образование ровного качественного наплавленного слоя.

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

1.3. Классификация восстанавливаемых деталей машин

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

1. Детали, работающие в условиях трения металла о металл.

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

2. Детали и инструменты, работающие в условиях абразивного износа с ударными нагрузками.

Представителями этой группы могут быть автомобильные рессоры, в частности. Такие детали наплавляют высокохромистыми сплавами с более низким содержанием углерода, например, в качестве наплавочного материала используют сталь X12, X19M, X13H4. Такие стали в основном относятся к ледебуритным сплавам. Наплавленный слой сталью типа X12 обладает высокой твердостью, исключительной износостойкостью. В то же время сталь этой группы имеет невысокую стоимость. Отлично сопротивляются ударно-абразивному износу высокомарганцевые, аустенитные стали типа Г13.

3. Детали, работающие в условиях коррозии и эрозии, с абразивным износом при повышенных температурах.

Это задвижки, вентили, крыльчатки, шестерни и плунжеры насосов для перекачки агрессивных жидкостей и др. Для наплавки применяют высокохромистые сплавы 1X13, 1X25H4T и хромоникелевые аустенитные 0X18H9, 1X18H9T. Детали, работающие в условиях абразивного износа, сопровождающегося эрозией при температурах до 800 °С, рекомендуется наплавлять твердыми сплавами типа «Стеллит», т.е. сплавами на основе кобальта, легированные вольфрамом, титаном и углеродом. К таким деталям относятся клапаны двигателей внутреннего сгорания, поверхности «седла» клапана головки блока ДВС.

4. Детали подшипников, подпятников и других узлов трения скольжения.

Детали этой группы должны обладать высокими антифрикционными свойствами, т.е. поверхность должна иметь низкий коэффициент трения. Хорошими антифрикционными свойствами обладают сплавы на основе меди, а также некоторые сорта чугуна и неметаллические материалы (фторопласт). Например, алюминиево-железистые бронзы применяются при наплавке заготовок червячных шестерен, кулачков и др. деталей, работающих в условиях трения скольжения. Оловянисто-фосфористые бронзы, оловянистые и свинцовистые баббиты используются для на-плавки вкладышей крупных подшипников, например, вкладышей судовых дизельных двигателей.

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

При наплавке необходимо решать ряд сложных вопросов [3]:

- выбор материала, обеспечивающего соответствующие условиям эксплуатации свойства;
- возможность наплавки этого материала непосредственно на основной металл или подбор материала для наплавки подслоя;
- выбор способа и режима наплавки, формы и методов изготовления наплавленных материалов;
- выбор термического режима выполнения наплавки и последующей термообработки (при необходимости).

Вопросы для самоконтроля

1. Какие способы восстановления изделий могут применяться для ремонта деталей автомобилей?
2. Как классифицируются восстанавливаемые детали по условиям их работы?
3. Какими материалами обычно рекомендуется наплавлять изделия, работающие в условиях трения металла о металл?
4. Какими материалами обычно рекомендуется наплавлять изделия, работающие в условиях абразивного изнашивания с ударными нагрузками?
5. Какими параметрами определяется выбор способа наплавки изделий?
6. Как осуществляется наложение валиков при наплавке?
7. Вследствие каких нагрузок и процессов выходят из строя в процессе эксплуатации детали машин и механизмов?
8. Что сопутствует технологическому процессу наплавки поверхности?

9. Каковы важнейшие требования, предъявляемые к наплавке?

10. Чем обусловлена экономическая целесообразность ремонтно-восстановительного производства?

Глава 2. ОСОБЕННОСТИ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НАПЛАВКОЙ

2.1. Превращение исходной изношенной детали в ремонтную заготовку

Ремонтная заготовка – это состояние восстанавливаемой детали после создания припусков на её поверхности для последующей механической обработки.

Процесс превращения исходных деталей в ремонтные заготовки посредством создания припусков на изношенных поверхностях необходим для придания нормативных значений физико-механических свойств поверхностям и для проведения последующей механической обработки.

Припуск на последующую механическую обработку ремонтной заготовки получают одним из трёх способов. Первый из них предполагает выделение припуска из оставшегося материала на поверхности восстанавливаемого элемента самой детали для его обработки под один из ремонтных размеров. Во втором случае материал детали перемещают путём его пластического деформирования из неизнашиваемого объёма в зону будущей обработки. В третьем случае на изношенную часть поверхности восстанавливаемой детали наносят покрытия. Способы создания

ремонтных заготовок путём нанесения покрытий получили наибольшее распространение.

Покрытие – это слой материала, нанесённый на восстанавливаемую поверхность детали и прочно соединённый с этой поверхностью.

Поверхностный слой ремонтной заготовки включает покрытие и зону термического влияния. Его химический, структурный и фазовый состав отличаются от соответствующих показателей основного материала.

На операциях создания ремонтной заготовки в основном формируют состав материала рабочих поверхностей детали выбором материала покрытия и условий его нанесения, что в основном определяет послеремонтную надёжность детали. В дальнейшем необходимая комбинация структуры и свойств восстановленных поверхностей обеспечивается термической, химическо-термической и механической обработками. Вид и свойства защитного покрытия, с одной стороны, и способ его обработки, с другой стороны, должны быть совместимы между собой.

Численные значения свойств по толщине восстановительного покрытия и материала детали должны изменяться плавно по установленному закону. Слой покрытия ближе к основе обеспечивает прочное соединение покрытия с конструкционным материалом детали, следующий слой повышает механическую прочность детали, в т.ч. усталостную прочность, а наружный слой, участвующий в трении, обеспечивает необходимую износостойкость восстановленного элемента поверхности детали.

Необходимый градиент значений свойств покрытия по толщине обеспечивает послойный его синтез поочередного нанесения различных материалов или изменения режимов нанесения одного материала, а также – обработки поверхностного слоя.

Нанесение покрытий позволяет исключить применение дорогостоящих и дефицитных материалов (ШХ15, 38ХС, 38ХГН и др.) в качестве основы детали, а применять для этих целей конструкционные стали (Ст40 и др.). В условиях абразивного износа срок эксплуатации деталей с покрытиями повышается в 2–2,5 раза по сравнению с термообработанными деталями из конструкционных сталей.

2.2. Классификация и общая характеристика способов создания ремонтных заготовок

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

- время дробления материала наносимого покрытия (перед нанесением, в процессе нанесения покрытия);
- вид и величина дисперсности материала наносимого покрытия (ионы, молекулы, микро- или макрочастицы, капли, вся масса покрытия);
- среда переноса материала покрытия (жидкий раствор, сжатый воздух, продукты горения газов, плазма, вакуум);
- состояние наносимого материала покрытия (жидкое, твёрдое, газообразное);

– способ закрепления материала покрытия на восстанавливаемой поверхности детали (химический, механический, диффузионный и др.);

– способ защиты зоны нанесения покрытия от вредного влияния окружающей среды (без защиты, с местной защитой, в герметичной камере);

– виды энергии соответственно на диспергирование, активацию, перенос и закрепление материала покрытия (механическая, химическая, тепловая, электрическая и др.).

Описание множества сочетаний видов признаков без пропусков и повторений включает в себя прогрессивные и новые способы создания ремонтных заготовок.

Ремонтные заготовки получают с вложением и без вложения материалов в исходные детали при восстановительном ремонте (рис. 2.1). В первом случае изношенные элементы детали обрабатывают под ремонтные размеры и в качестве припусков используются изношенные поверхностные слои её материала или материал детали перемещают внутри её объёма. Во втором случае на восстанавливаемые элементы поверхности детали наносят покрытия и деталь приобретает номинальные размеры.

Способ получения сопряжения деталей с ремонтными размерами бывает основным при освоении ремонта изделий, когда ограничены или отсутствуют мощности по нанесению восстановительных покрытий. Восстанавливаемый элемент другой более дорогой и трудоёмкой детали сопряжения обрабатывают под ремонтный размер.

Важность восстановления номинальных размеров деталей подчеркивают большие затраты на приобретение заменяемой в сопряжении детали, а также возможность повышенного износа подвижного сопряжения из-за снятия наружного, более износостойкого слоя материалов и снижения усталостной прочности шеек коленчатых валов, в частности.



Рис. 2.1 – Классификация способов создания ремонтных заготовок [3]

При достижении последнего ремонтного размера в случае применения способа получения сопряжения деталей с ремонтными размерами у коленчатых валов износ коренных шеек увеличивается на 15–20 %, а усталостная прочность снижается на 25 %.

Распределительные валы ДВС с кулачками со снятым шлифованием слоя толщиной 2 мм из-за уменьшения «времени-сечения» открытия клапанов снижают его мощность на 20 % и на столько же увеличивают удельный расход топлива, по причине ухудшения наполнения цилиндров.

Восстановительные покрытия наносят: наплавкой, приваркой, напылением, химическим осаждением из растворов, плакированием, электролизом, осаждением из газовой среды и др.

В ремонтном производстве в основном применяют: электродуговую наплавку, газотермическое напыление, нанесение гальванических покрытий, электроконтактную приварку металлического слоя, пластическое деформирование материала, нанесение полимерных покрытий, закрепление дополнительных ремонтных деталей – ДРД (табл. 2.1, [47]). Ограниченно для получения ремонтных заготовок применяют пайку, заливку металлов и пластмасс.

Электронно-лучевая и лазерная обработка, электроискровое наращивание, детонационное напыление обеспечивают высокое качество покрытий. В настоящее время развитие получают прогрессивные способы создания ре-

монтажных заготовок: пластическое деформирование материала детали, электроэрозонная, электронно-лучевая, лазерная обработка, ионно-плазменное напыление и др.

Таблица 2.1

Частота применения способов создания ремонтных заготовок от общего объёма работ

| Способ создания ремонтных заготовок | Частота, % |
|--|------------|
| Наплавка (электродуговая, газопламенная, плазменная) | 60–80 |
| Напыление | 6–12 |
| Нанесение гальванических покрытий | 4–7 |
| Электроконтактная наварка металлического слоя | 3–7 |
| Нанесение полимерных покрытий | 2–6 |
| Пластическое деформирование | 1–2 |

Материал восстанавливаемого элемента детали совпадает с материалом основы в случае принудительного перемещения материала в зону износа или при обработке под ремонтные размеры (без нанесения покрытия). В других случаях материал восстанавливаемой поверхности изношенного элемента детали, как правило, не совпадает с материалом основы.

Ведущее место в процессах создания ремонтных заготовок занимает наплавка, до 80 % которой приходится на механизированную наплавку. При наплавке используют различные источники тепла для нагрева наносимых материалов покрытия и восстанавливаемого элемента детали. По значению удельной мощности вложенного тепла в единицу восстанавливаемой поверхности изношенной детали (10^2 – 10^{14} Вт/см²) источники располагаются в следую-

щей последовательности: разовое пламя – электрическая дуга – ТВЧ – плазма – электронный луч – лазер.

Наплавка применяется для нанесения восстановительно-упрочняющего покрытия путём расплавления (теплом пламени, дуги, тока, излучения и др.) присадочного материала, переноса его на оплавляемую поверхность восстанавливаемого элемента поверхности изношенной детали и кристаллизацию наплавляемого слоя.

В зависимости от способа нагрева наплавляемого материала покрытия существуют основные виды наплавки:

- электродуговая (электрической свободной дугой);
- плазменная (электрической сжатой дугой);
- электрошлаковая (теплом шлака за счёт прохождения электрического тока);
- электромагнитная (теплом электрического тока, проходящего через соприкасающиеся металлические частицы, удерживаемые над восстанавливаемой поверхностью силами магнитного поля);
- индукционная (теплом вихревых токов в материале восстанавливаемой детали);
- намораживанием (теплом расплава);
- электронно-лучевая (энергией ускоренных электронов);
- лазерная (энергией видимого излучения);
- газовая (теплом сгораемой смеси газов);
- ионно-плазменная (энергией движущихся ионов).

Области наплавки покрытий различными методами приведены в табл. 2.2 [47].

В зависимости от вида присадочного материала различают наплавку: компактной и порошковой проволокой, лентой, электромагнитной шихтой и проволокой, порошками. По степени автоматизации наплавку подразделяют на ручную, полуавтоматическую и автоматическую.

Таблица 2.2

Области наплавки покрытий

| Способ наплавки | Область применения |
|--|--|
| Дуговая под слоем флюса | Наплавка деталей диаметром более 50 мм при повышенных требованиях к качеству наплавленного слоя |
| Дуговая в среде углекислого газа | Наплавка стальных деталей диаметром более 16 мм, работающих в различных условиях |
| Дуговая с газопламенной защитой | Наплавка стальных и чугунных деталей, работающих в различных условиях |
| Вибродуговая | Наплавка стальных деталей, работающих в различных условиях при невысоких требованиях к сопротивлению усталости |
| Дуговая порошковой проволокой (лентой) | Наплавка деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания и ударных нагрузок |
| Дуговая в среде аргона | Наплавка алюминиевых деталей и деталей из коррозионно-стойкой стали |
| Контактная | Наплавка гладких цилиндрических наружных и внутренних поверхностей с износом не более 1 мм |
| Газовая | Наплавка цилиндрических и профильных поверхностей с местным износом при повышенных требованиях к износостойкости |
| Плазменная | Наплавка ответственных деталей при повышенных требованиях к износостойкости и сопротивлению усталости |
| Многоэлектродная под слоем флюса | Наплавка деталей со значительным износом по величине и площади |
| Лежачим электродом | Наплавка плоских поверхностей и поверхностей сложной конфигурации со значительным износом |
| Электроимпульсная | Наплавка наружных цилиндрических поверхностей с износом до 0,5 мм с ограничением нагрева детали |
| Электроискровая | Наращивание и упрочнение поверхностей с износом до 0,2 мм при повышенных требованиях к плоскости покрытия |
| Электрошлаковая | Наплавка деталей с износом более 6 мм по толщине |

В зависимости от вида присадочного материала различают наплавку: компактной и порошковой проволокой, лентой, электромагнитной шихтой и проволокой, порошками. По степени автоматизации наплавку подразделяют на ручную, полуавтоматическую и автоматическую.

По виду защиты сварочно-наплавочной ванны от влияния атмосферного воздуха наплавка бывает: без защиты, под слоем флюса, в среде защитных газов, самозащитной проволокой. В зависимости от вида источника диспергирования частиц напыляемого материала и источника тепловой энергии различают следующие основные способы газопаламенного напыления: электродуговое, газопламенное, детонационное и плазменное. Плазменное напыление, в свою очередь, подразделяется на индукционное и плазменно-дуговое. По виду защиты рабочей зоны напыления покрытий различают следующие его виды: без защиты, с местной защитой и в герметичной камере.

Работоспособность создаваемых покрытий оценивается такими основными критериями: прочностью сцепления (соединения) их с основой, сохранением или повышением усталостной прочности элементов восстановленной детали и износостойкостью поверхностей.

Выбор способа создания ремонтной заготовки определяет как трудоёмкость процесса восстановления изношенной детали, расход материалов и энергии, так и последующую надёжность восстановленной детали.

2.3. Материалы наплавки покрытий

2.3.1. Общая характеристика материалов

Материал – это исходный предмет труда, потребляемый для изготовления изделия.

Основной материал – это материал исходной заготовки (детали). К основному материалу относят также материал, масса которого входит в массу детали при выполнении технологического процесса её восстановления (наплавочного электрода, покрытия и др.). Основной материал при восстановлении деталей претерпевает существенные изменения свойств, а в ряде случаев и химического состава. Поэтому различают материалы, применяемые для восстановления деталей и получаемые в результате создания ремонтных заготовок покрытия на этих деталях.

Материалы для восстановления деталей обладают двумя группами свойств: *технологическими* и *эксплуатационными*. При электродуговой наплавке важными являются сварочно-технологические свойства наплавочных электродов: свариваемость, устойчивость горения дуги, разрывная длина и др. Для процессов газопорошковой наплавки и напыления большое значение имеет текучесть исходного порошка. В случае газотермического напыления покрытий существенны теплопроводность, теплоёмкость, а также температура плавления материала.

Под *эксплуатационными* свойствами материала понимают свойства нанесённого и обработанного на детали покрытия. Традиционно материалы для восстановления деталей классифицируют по следующим основным признакам: виду материала, химическому составу, назначению, методам получения покрытий. Существенным при-

знаком классификации является структура покрытия, т.к. она определяет *эксплуатационные* свойства покрытия, а, следовательно, работоспособность, надёжность и долговечность восстановленной детали.

В общем случае структура восстановленного слоя детали может быть гомогенной и композиционной (рис. 2.2, [48]). *Гомогенные покрытия* представляют собой однофазную систему с высокой химической стойкостью. Ряд гомогенных покрытий имеют высокую твёрдость и обеспечивают высокую износостойкость. *Композиционные покрытия*, широко распространённые для восстановления деталей, представляют собой гетерофазные системы, состоящие из двух и более фаз, разделённых границей раздела и отличающихся по химическому составу и свойствам.

Фазы композиционных покрытий преимущественно различны по геометрическому признаку. Одна из фаз, обладающая непрерывностью по всему объёму слоя, является матричной фазой. Фаза, разделённая на отдельные фрагменты в объёме композиционного покрытия, является армирующей. Наиболее часто роль матричной фазы выполняют твёрдые растворы металлов, а упрочняющими фазами являются высокотвёрдые химические металлоподобные соединения – кабиды, бориды, нитриды, интерметаллиды, оксиды. Композиционные покрытия, как правило, обладают более высоким комплексом эксплуатационных свойств, особенно триботехнических, чем гомогенные покрытия. Вследствие этого в настоящее время гетероген-

низация является доминирующим направлением в разработке износостойких и антифрикционных покрытий.

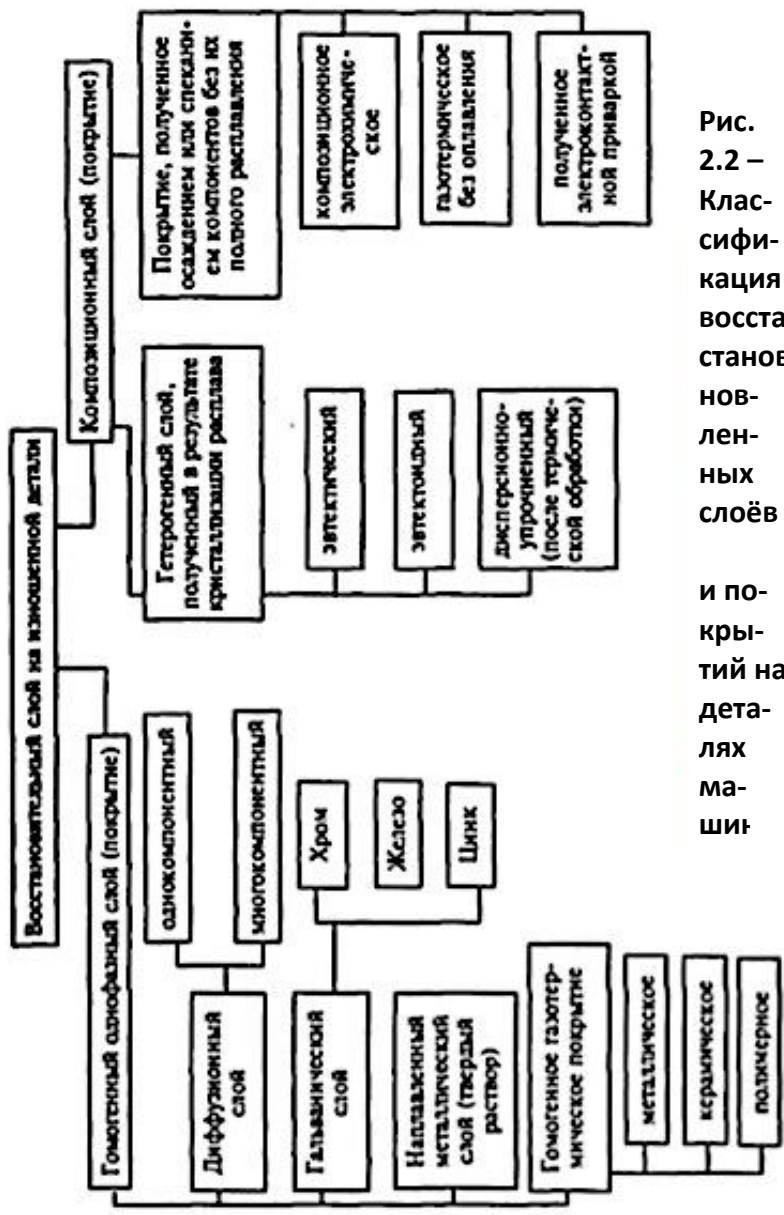


Рис. 2.2 – Классификация восстановленных слоев и покрытий на деталях машин

Существуют два основных пути получения композиционной структуры покрытий:

- кристаллизация из легированного многокомпонентного расплава;
- спекание компонентов без их полного расплавления и гомогенизации расплава.

При кристаллизации из легированного многокомпонентного расплава формируется близкая к равновесной гетерогенная структура покрытия. Наибольшее распространение получили гетерогенные эвтектические наплавленные слои, содержащие эвтектику и избыточные фазы (призматических боридов $(\text{Fe}, \text{Cr})\text{B}_2$, например). Эффективным приёмом получения гетерогенной структуры является термическая обработка наплавленного слоя, поскольку происходящее при этом дисперсионное твердение посредством выделения вторичных высокотвёрдых фаз дополнительно упрочняет наплавленный слой.

В случае спекания порошковых смесей (табл. 2.3, [51]), в т.ч. композиционных (рис. 2.3), гетерогенная структура покрытия формируется вследствие полного или частичного (без их полного расплавления и гомогенизации расплава) сохранения структуры порошковых частиц. Такие покрытия получают газотермическим напылением, электроконтактной приваркой, а также гальваническим осаждением материалов. Возможности конструирования этих покрытий с различным сочетанием упрочняющих (армирующих) и матричных фаз значительно шире, чем у на-

плавленных слоёв, получаемых кристаллизацией из расплава.

Таблица 2.3

Состав порошковых материалов

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

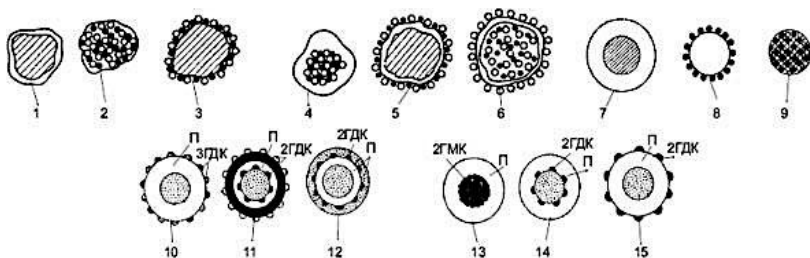


Рис. 2.3 – Схемы конструкций порошковых композиционных частиц [7; 49]:

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

Создание композиционных покрытий (КП) базируется на основе сочетания в объёме покрытия материалов различных классов, обладающих различными исходными свойствами (металл, керамика и др.). Природа исходных компонентов, их фазовое состояние и соотношение, состояние границы раздела фаз и создание заданной микро- и макроструктуры определяют свойства КП.

Матричная фаза материала композиционного покрытия может быть металлической или керамической, а также полимерной. Именно матричная фаза придаёт по-

крытию монолитность, связывает его с основой детали, обеспечивает передачу и перераспределение нагрузки по объёму покрытия, защищает армирующие элементы от внешних воздействий. Тип матричной фазы непосредственно определяет технологию получения композиционного покрытия, его термическую и коррозионную стойкость, электрические и теплозащитные свойства, старение и другие важнейшие характеристики покрытия в целом.

Большой интерес представляют материалы и покрытия системы «металл – полимер», обладающие комплексом свойств, присущих как металлам, так и полимерам. Металлическим материалам свойственны большая теплопроводность и высокая прочность, но они уступают по антифрикционным свойствам, коррозионной стойкости, упругости многим полимерным материалам. В свою очередь, полимеры обладают небольшой плотностью и значительной эластичностью, лучшими антифрикционными свойствами, легко обрабатываются, но имеют очень низкую электро- и теплопроводность, невысокую контактную прочность, малое сопротивление срезу, склонность к ползучести и др.

2.3.2. Выбор материалов для восстановления деталей

Восстановление изношенной части элемента поверхности детали предполагает нанесение (наплавкой, напылением и др.) покрытия, основные эксплуатационные свойства которого близки к свойствам основного металла, из которого изготовлена деталь. Зависят эксплуатацион-

ные свойства деталей машин во многом от состояния поверхностного слоя: физико-механических свойств, микрогеометрии, остаточных напряжений. Внешняя поверхность наружного слоя детали с изменёнными в процессе эксплуатации геометрическими параметрами износа, структурой, фазовым и химическим составом граничит с окружающей средой или с сопряжённой деталью.

В поверхностном слое (рис. 2.4, [8]) можно выделить следующие основные зоны:

- зона 1 толщиной $1,0-10^2$ нм, состоящая из адсорбированных из окружающей среды молекул и атомов органических и неорганических веществ (смазки, СОЖ, воды);

- зона 2 толщиной $10^{-3}-1,0$ мкм, состоящая из продуктов химического взаимодействия металла с окружающей средой (обычно оксидов);

- граничная зона 3, толщиной в несколько межатомных расстояний, металл которой имеет иные, чем в объёме изношенной детали кристаллическую и электронную структуры;

- зона 4 толщиной от 0,01 мм до 0,1 мм с изменённой структурой, фазовым и химическим составом, которые возникают в процессе эксплуатации детали.

Формирование на изношенной части элемента поверхности детали предполагает нанесение покрытия, полностью идентичного по химическому составу, структуре и свойствам изношенному слою, что является, как правило, технически сложной и экономически преимущественно нецелесообразной задачей. Поэтому нанесённые покры-

тия в подавляющем большинстве значительно отличаются от металла изношенного слоя.

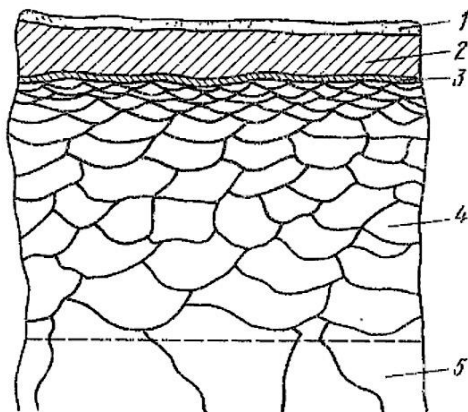


Рис. 2.4 – Схема поверхностного слоя детали [8]:

1 – адсорбированная зона; 2 – зона оксидов; 3 – границная зона металлов; 4 – зона металла с измененной структурой, фазовым и химическим составом; 5 – основной металл

При выборе материала для нанесения покрытия руководствуются следующими соображениями:

- воздействию каких видов изнашивания подвержена деталь;
- из какого материала изготовлена деталь;
- какой технологический способ является предпочтительным для нанесения покрытия;
- какие свойства должны быть у детали после восстановления работоспособности;
- какова допустимая стоимость восстановления работоспособности детали.

Определяющими являются эксплуатационные свойства поверхностного слоя детали, которые, в свою оче-

редь, зависят от условий эксплуатации и характера разрушения.

Большую часть номенклатуры восстанавливаемых деталей составляют гладкие и шлицевые валы, оси и крестовины. В большинстве случаев именно эти детали лимитируют ресурс узлов агрегатов машин.

При восстановлении гладких и шлицевых валов, осей и крестовин необходимо обеспечивать следующие требования:

- точные размеры и шероховатость поверхности;
- твердость поверхности;
- сплошность покрытия;
- прочность сцепления нанесенных слоёв с основным металлом, а также симметричность и соосность сопрягаемых поверхностей, отсутствие радиального и торцового биений.

Из всех известных способов восстановления деталей наплавка удовлетворяет все вышеперечисленные требования и по сравнению с другими ремонтными способами дает возможность получать на поверхности детали слой необходимой толщины и нужного химического состава, высоких значений твердости, износостойкости и ударной вязкости.

Номенклатура основных деталей агрегатов автомобилей, подлежащих восстановлению сваркой и наплавкой, приведена в табл. 2.4 [52].

Для обеспечения высокой стойкости против износа и разрушения при различных видах изнашивания наплав-

ленный металл по составу, структуре, морфологии и физико-механическим свойствам высокотвёрдых фаз, эксплуатационным свойствам должен отвечать требуемым значениям нормативных параметров.

Таблица 2.4

Восстанавливаемые детали автомобиля

| | |
|--|--|
| Коленчатый вал | Шатунные и коренные шейки коленчатого вала |
| Впускные и выпускные клапаны | Торец клапана и фаска тарелки |
| Блок цилиндров | Опорные поверхности коренных подшипников |
| Головка блока цилиндров | Поверхность разъёма, отверстия под клапаны |
| Гильза цилиндров | Посадочные пояски |
| Трансмиссионные валы | Опорные шейки |
| Картер коробки | Отверстия под подшипники |
| передач | ведущего, ведомого и промежуточного валов |
| Картер редуктора заднего моста | Отверстия под подшипники ведущего зубчатого колеса. Отверстия под гнёзда подшипников ведущего зубчатого колеса. Отверстия под подшипники дифференциала |
| Гнездо подшипника ведущего зубчатого колеса редуктора заднего моста. Крестовины карданного вала. | Наружные и внутренние посадочные поверхности. Наружные поверхности шипов. |

2.3.3. Штучные электроды и прутки для восстановления деталей

Электрод сварочный – это стержень, по которому подводится к восстанавливаемой детали электрический ток во время сварки, наплавки или резки. Электроды бы-

вают плавящиеся и неплавящиеся. Неплавящийся электрод изготавливают из электротехнического, реже синтетического графита или вольфрама. Основой плавящегося электрода является сварочная проволока, материал которой в процессе сварки или наплавки переносится в виде валика на восстанавливаемую деталь. Electroды для наплавки обозначают буквами ЭН и числом, указывающим гарантированную твёрдость наплавленного материала. Для сварки и наплавки применяют электроды с покрытиями. Покрытия защитнолегирующего типа включают в себя следующие составляющие (рис. 2.5, [53]):

- Стабилизирующие добавки, способствующие легкому зажиганию и устойчивому горению дуги, что достигается применением веществ, содержащих различные соединения калия, как, например, поташ (K_2CO_3 , ГОСТ 10690–73), селитра (KNO_3), хромат (K_2CrO_4) и др. Хорошим стабилизирующим действием обладают: двуокись титана (TiO_2), карбонат кальция ($CaCO_3$) и карбонат бария ($BaCO_3$).

- Шлакообразующие добавки, обеспечивающие получение шлаков, которые защищают сварочную ванну от действия атмосферы, химически связывают или растворяют в себе окислы металла и замедляют скорость охлаждения металла сварно-наплавочного валика. К этой группе относятся: марганцевая руда, полевой и плавиковый шпаты (концентрат плавиковошпатовый, ГОСТ 4421–73), ильменит, рутил (рутиловый концентрат, ГОСТ 22938–78) и др.

- Раскисляющие добавки, предназначенные для активной защиты металла сварочной ванны от окисления, кото-

рое может происходить за счет кислорода из воздуха или из компонентов покрытия.

Для восстановления окислов металла применяют: ферромарганец, ферросилиций, ферротитан, ферроалюминий, графит и др.

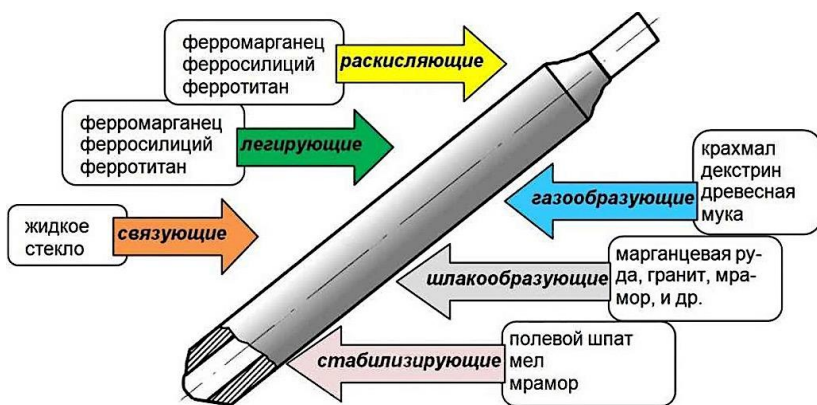


Рис. 2.5 – Составляющие покрытия плавящегося электрода защитно-легирующего типа

– Легирующие добавки, обеспечивающие получение металла валика заранее заданного химического состава, что гарантирует необходимые свойства сварных соединений. В качестве легирующих компонентов применяются: феррохром, ферротитан, ферромолибден, феррованадий, ферромарганец, ферросилиций, графит и др.

– Газообразующие добавки, являющиеся источником выделения газов при плавлении покрытия, которые способствуют защите металла сварочной ванны, идущего через дугу, от влияния окружающей атмосферы. К ним относятся: крахмал, древесная мука, целлюлоза, мрамор (ГОСТ 4416–94) и др.

– Формующие добавки, предназначенные для придания покрытию хороших пластических свойств, которые необходимы при прессовом нанесении покрытия на электродные стержни. Хорошими пластификаторами являются бентонит, каолин и др.

– Связующие добавки, придающие необходимую прочность слою покрытия. Для этой цели чаще всего применяют жидкое стекло – водный раствор силиката натрия или калия.

В наплавочных покрытых электродах (рис. 2.6, [54]), как правило, для электродного стержня применяют низкоуглеродистую сварочную проволоку, а нужный химический состав наплавки формируется за счёт легирующих порошкообразных добавок, вводимых в электродное покрытие.

Легированную сварочную проволоку для электродного стержня применяют значительно реже, в частности для получения высоколегированных наплавки, когда традиционное легирование через электродное покрытие неэффективно.

Предпочтительной является наплавка на постоянном токе обратной полярности, реже – наплавка на переменном токе.

Для наплавочных работ в некоторых случаях используются сварочные электроды, например, электроды, предназначенные для сварки высоколегированных коррозионностойких, жаростойких, жаропрочных и других марок сталей, включительно электроды для сварки и наплавки специальных марок сталей.

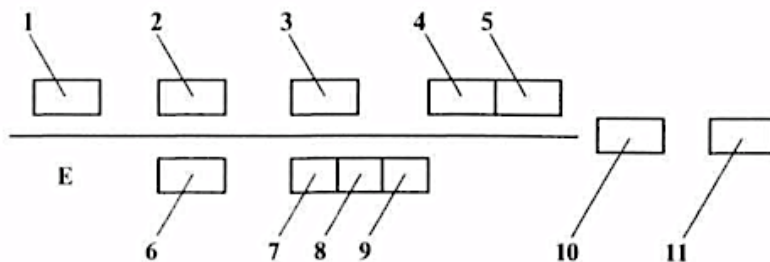


Рис. 2.6 – Структурная схема условного обозначения электрода:

1 – тип электрода; 2 – марка электрода, присвоенная разработчиком; 3 – диаметр электрода, мм; 4 – назначение электрода; 5 – коэффициент толщины покрытия; 6 – группа индексов, указывающих характеристики наплавленного металла или металла шва; 7 – обозначение вида покрытия: кислым – А; основным – Б; целлюлозным – Ц; рутиловым – Р; прочими видами – П; 8 – обозначение допустимых пространственных положений сварки или наплавки; 9 – обозначение рода применяемого при сварке и наплавке тока, полярности постоянного тока и номинального напряжения холостого хода источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц; 10 – обозначение стандарта на покрытые металлургические электроды для ручной дуговой сварки и наплавки; 11 – обозначение стандарта на типы электродов

Согласно ГОСТ 10051-75 электроды для наплавки по химическому составу наплавленного материала и твёрдости при номинальной температуре классифицированы на сорок четыре типа (например, электроды типа Э-16Г2ХМ, Э-110Х14В13Ф2, Э-13Х16Н8М5С5Г46). В зависимости от принятой системы легирования наплавленного покрытия детали и условий работы получаемого наплавленного металла электроды для наплавки условно разделены на 6 групп [9]:

1. Электроды, обеспечивающие получение низкоуглеродистого низколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях трения металла о металл и

ударных нагрузок (по назначению к этой группе относятся некоторые марки электродов 3-й группы).

2. Электроды, обеспечивающие получение среднеуглеродистого низколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях трения металла о металл и ударных нагрузок при нормальной и повышенной температурах (600–650 °С).

3. Электроды, обеспечивающие получение углеродистого, легированного (или высоколегированного) наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях абразивного изнашивания и ударных нагрузок.

4. Электроды, обеспечивающие получение углеродистого высоколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях больших давлений и высоких температур (650–850 °С).

5. Электроды, обеспечивающие получение высоколегированного аустенитного наплавленного металла с высокой стойкостью в условиях коррозионно-эрозионного изнашивания и трения металла о металл при повышенных температурах (570–600 °С).

6. Электроды, обеспечивающие получение дисперсноупрочняемого высоколегированного наплавленного металла с высокой стойкостью в тяжелых температурно-деформационных условиях (950–1100 °С).

Выполнение наплавочных работ соответственно назначения и твердости наплавленного слоя металла при восстановительном ремонте требует применения специ-

альной технологии с соблюдением необходимых технологических параметров (табл. 2.5, [55]).

Таблица 2.5

Параметры специальных технологий наплавки покрытий

| Марка электрода | Тип наплавленного металла | Диаметр, мм | Положение наплавки | Основное назначение. Твёрдость наплавленного металла |
|-----------------|---------------------------|-------------|--------------------|---|
| ОЗН-300М | 11Г3С | 4,0; 5,0 | нижнее | Наплавка быстроизнашиваемых деталей из углеродистых и низколегированных сталей (валы, оси, крестовины автомобилей). HV 270–360 |
| ОЗН-400М | 15Г4С | 4,0; 5,0 | нижнее | Наплавка быстроизнашиваемых деталей из углеродистых и низколегированных сталей (валы, оси, крестовины автомобилей). HV 360–430 |
| T-590 | Э-320Х25 С2ГР | 4,0; 5,0 | нижнее, наклонное | Наплавка быстроизнашиваемых стальных и чугунных деталей машин (ударные нагрузки минимальные). HRCэ 58–64 |
| T-620 | Э-320Х23 С2ГР | 4,0; 5,0 | нижнее, наклонное | Наплавка быстроизнашиваемых стальных и чугунных деталей машин (ударные нагрузки умеренные). HRCэ 56–63 |
| ЭНУ-2 | 360Х15 ГЗР | 4,0; 5,0 | нижнее, наклонное | Наплавка быстроизнашиваемых стальных и чугунных деталей машин (ударные нагрузки умеренные). HRC > 58 |

Специальные технологии в зависимости от химического состава и состояния основного и наплавляемого металлов могут включать обязательное выполнение таких операций, как предварительный и сопутствующий подог-

рев, термообработку для получения заданных эксплуатационных свойств наплавляемой поверхности.

Достичь эффективного результата наплавки при плавлении сердечника сварочного электрода под воздействием сварочной дуги можно только при правильном выборе расходных материалов и точном соблюдении технологии наплавки.

К наиболее эффективным электродам для наплавки быстроизнашиваемых деталей из углеродистых и низколегированных сталей (валы, оси, крестовины автомобилей) относятся ОЗН-300М и ОЗН-400М, а для наплавки быстроизнашиваемых стальных (в т.ч. низколегированных) и чугунных деталей машин Т-590 и Т-620 (ударные нагрузки минимальные и умеренные соответственно).

К группе электродов для сварки и наплавки чугуна относятся электроды, предназначенные для устранения дефектов и восстановления изношенных поверхностей в чугунных отливках наплавкой. Они позволяют получать наплавленный слой с заданными свойствами в виде стали, сплавов на основе Cu, Ni, Fe-Ni-сплава.

В табл. 2.6 приведены марки электродов, тип наплавленного металла (химический состав) и основное назначение реализуемых технологических способов сварки и наплавки при ремонтном исправлении дефектов литья в чугунных отливках наплавкой, а также изношенных поверхностей в деталях из серого и ковкого чугунов [56].

Таблица 2.6

**Марки электродов для сварки и наплавки серого,
ковкого и высокопрочного чугунов**

| Марка электрода | Тип наплавленного металла. Химический состав, мас. % | Основное назначение |
|-----------------|--|---|
| ЦЧ-4 | Сталь легированная (0,13 С; 0,9 Мн; 0,5 Si; 8,6 V; остальное Fe) | Сварка, наплавка дефектов литья в деталях из серого, ковкого и высокопрочного чугунов (отливка блока цилиндров крупнотоннажных автомобилей) |
| ОЗЧ-2 | Сплав на медной основе (1,8 Мн; 0,2 Si; 2,0 Ni; 10,0 Fe) | Сварка, наплавка и заварка отливок из серого и ковкого чугунов |
| ОЗЧ-6 | Сплав на медной основе (0,05 С; 1,1 Мн; 0,3 Si; 1,2 Ni; 0,7 Cr; 10,0 Fe; 0,2 В) | Сварка деталей (предпочтительно тонкстенных) из серого и ковкого чугунов |
| МНЧ-2 | Сплав медно-никелевый (2,2 Мн; 66,0 Ni; 2,9 Fe; остальное Cu) | Наплавка быстроизнашиваемых стальных и чугунных деталей машин (ударные нагрузки умеренные). HRCэ 56–63 |
| ОЗЖН-1 | Сплав медно-никелевый (0,1 С; 0,4 Мн; 0,6 Si; 48,0 Ni; следы Al; остальное Fe) | Сварка, наплавка и заварка отливок из серого и высокопрочного чугунов |
| ОЗЖН-2 | Сплав медно-никелевый (0,08 С; 1,0 Мн; 1,0 Si; 27,0 Ni; 2,0 Мо; 3,5 Со; 5,0 Cr; 1,3 W; остальное Fe) | Сварка, наплавка и заварка дефектов литья в деталях из серого и высокопрочного чугунов |
| ОЗЧ-4 | Сплав никелевой основе (0,3 С; 0,05 Мн; 0,5 Si; 1,5 Cu; 0,5 Fe) | Сварка, наплавка и заварка дефектов литья в деталях из серого и высокопрочного чугунов |

К группе марок электродов для рациональной реализации технологических процессов сварки и наплавки алюминия и его сплавов, меди и её сплавов, никелевых сплавов относят электроды (табл. 2.7, [57]), марки которых обеспечивают химический состав наплавленного слоя с регламентированно заданными свойствами металла и основные его практические области назначения.

Таблица 2.7

**Марки электродов для сварки и наплавки сплавов
на основе алюминия, меди и никеля**

| Марка элект- рода | Химический состав наплавленного слоя, мас. % | Основное назначение |
|---|--|--|
| <i>Электроды для сварки и наплавки алюминия и его сплавов</i> | | |
| ОЗА-1 | 0,4 Si; 0,2 Ti; Cu – следы; 0,1 Fe; Al – основа | Сварка, наплавка технически чистого алюминия |
| ОЗА-2 | 5,0 Si; 0,2 Ti; 0,1 Fe; Al – основа | Наплавка изделий из алюминиевых сплавов |
| ОЗАНА-1 | ≤ 0,05 Si; ≤ 0,2 Fe; Al – основа | Сварка, наплавка изделий из технически чистого алюминия |
| ОЗАНА-2 | ≤ 0,05 Si; ≤ 0,2 Fe; Al – основа | Наплавка изделий из алюмино-вокремнистых сплавов |
| <i>Электроды для сварки и наплавки меди и её сплавов</i> | | |
| АНЦ/ ОЗМ-2 | 0,16 Mn; 0,06 Si; 0,19 Al; ≤ 0,005 Ti; ≤ 0,15 Fe; Cu – основа | Сварка и наплавка технически чистой меди, содержащей ≤ 1 % O ₂ |
| АНЦ/ ОЗМ-3 | ≤ 0,4 Mn; ≤ 0,15 Si; ≤ 0,15 Al; ≤ 0,15 Fe; ≤ 0,03 V; Cu – основа | Сварка и наплавка технически чистой меди, содержащей ≤ 1 % O ₂ |
| ОЗБ-2М | 1,0 Mn; 0,8 Ni; 6,0 Sn; 0,5 Fe; 0,35 P; 1,5 Cu – основа | Сварка и наплавка бронз, заварка дефектов бронзовых и чугуновых отливок |
| <i>Электроды для сварки и наплавки никелевых сплавов</i> | | |
| ОЗЛ-32 | 0,07 C; 1,8 Mn; 1,2 Si; 65,0 Ni; 1,1 Ti; 0,3 Al; 1,8 Fe | Сварка технически чистого никеля, наплавка коррозионностойких слоёв на углеродистые и высоколегированные коррозионностойкие стали. Сварка никеля с углеродистыми и высоколегированными коррозионностойкими сталями |
| В-56У | 0,03 C; 4,1 Mn; 0,3 Si; 65 Ni; 0,2 Ti; 0,2 Al; 0,9 Fe | Сварка монель-металла, наплавка коррозионностойкого слоя на углеродистую сталь. Сварка монель-металла с углеродистой сталью. Сварка двухслойных сталей (СтЗсп + монель-металл) с углеродистой сталью |

Наплавочные прутки. Прутки применяют в основном для газопламенной и аргонодуговой наплавки в качестве присадочных материалов без приложения к ним электрического напряжения. Прутки получают литьём. Их изго-

тавливают диаметром 4; 6; 10; 14 и 16 мм и длиной 250; 300; 350; 400; 450 и 500 мм.

Литые прутки используют также для изготовления покрытых электродов для ручной дуговой наплавки, например, марки ГН-1 со стержнем из литого твёрдого сплава Сормайт, обладающего наибольшей твёрдостью – порядка 50 HRC (Fe – основа, 25–31 % Cr, 2,5–3,5 % C, 2,8–4,2 % Si, 3–5 % Ni, до 1,5 % Mn, до 0,08 % S и до 0,08 % P) и ЦН-2 со стержнем из стеллита ВЗК – твёрдого высокоуглеродистого сплава, состоящего преимущественно из кобальта (в легированной матрице (28–32 % Cr, 4–5 % W, 1,75–2,75 % Si, 2 % Fe, 0,9–1,3 % C, 0,5–2 % Ni, 0,07 % S и 0,03 % P).

Литые прутки для износостойкой наплавки подразделяют на четыре группы:

- сплавы на железо-хромовой основе с марганцем и никелем – сормайты;
- сплавы на основе кобальта – стеллиты;
- литые карбиды вольфрама – релиты;
- сплавы на железоуглеродистой основе, содержащие 24–26 % Cr, 6–9 % Mn, до 3 % Si и 7–10 % C (сталиниты).

Область применения прутков из сормайт-сплавов марок ПР-С27, ПР-С1 и ПР-С2 – абразивное изнашивание с умеренными ударными нагрузками, а стеллитов – абразивное и эрозионное изнашивание при температуре 750–800 °С с умеренными ударными нагрузками.

Область применения прутков из релит-сплавов марок ТЗ-25-7, ТЗ-11-5, ТЗ-6-6 и ТЗ-4-3 – высокая износостой-

кость в условиях абразивного изнашивания.

Применяют для наплавки на рабочие поверхности изделий из легированных сталей также прутки из керамических материалов – стержни марок ЦСК-3-Х13 и ЦСН-80ЧГС в сочетании с электродной проволокой, например, Св-08А.

2.3.4. Порошки для восстановления деталей

Промышленное применение порошковых сплавов для восстановления деталей наплавкой и напылением включает металлические и композиционные порошки, порошковые смеси, тугоплавкие соединения (рис. 2.7, [55]).



Рис. 2.7 – Классификация порошков для наплавки и напыления

Наиболее распространёнными порошковыми материалами для наплавки и напыления при восстановлении

работоспособности деталей машин являются порошки высокоуглеродистых легированных сплавов (табл. 2.8, [58]).

Таблица 2.8

Порошки на основе высокоуглеродистых легированных сплавов

| Марка | Химический состав, мас. % | Свойства покрытий |
|------------|--|---|
| ПГ-С27 | Fe – основа; 3,9 С; 26 Cr; 1,5 Si; 1,7 Ni; 1,1 W | Высокая износостойкость при абразивном изнашивании. HRC 59 |
| ПГ-С1 | Fe – основа; 2,9 С; 29 Cr; 3,5 Si; 4,2 Mn; 4,0 Ni | Высокая износостойкость при абразивном изнашивании. HRC 51 |
| ПГ-УС25 | Fe – основа; 4,9 С; 38 Cr; 2,1 Si; 2,5 Mn; 1,4 Ni | Высокая износостойкость при абразивном изнашивании. HRC 55 |
| ПГ-ФБХ6-2 | Fe – основа; 4,5 С; 34 Cr; 1,7 Si; 2,7 Mn; 1,6 В | Высокая износостойкость при абразивном изнашивании. HRC 52 |
| ПР-ЧН15Д7 | Fe – основа; 2,6 С; 1,7 Cr; 2,2 Si; 1,0 Mn; 15 Ni; 6,5 Cu | Хорошая износостойкость при повышенной температуре. HRC 40–50 |
| ПР-ХЗОСРНД | Fe – основа; 4,9 С; 30 Cr; 3,2 Si; 1,0 Mn; 1,4 Ni; 2,0 В | Износостойкость в сочетании с жаростойкостью. HRC 59 |
| ПР-ХЗОГСР | Fe – основа; 30 Cr | Износостойкость в сочетании с жаростойкостью. HRC 58 |
| ПР-ФМИ | Fe – основа; 3,5 С; 2,5 Si; 12 Mn; 3,0 В | Высокая износостойкость. HRC 55 |
| ПГ-АН1 | Fe – основа; 2,0–2,9 С; 26,0–32,0 Cr; 1,5–2,5 Si; 0,5–1,5 Mn | Высокая износостойкость. HRC 54 |

Порошки коррозионностойких сталей и сплавов (табл. 2.9, [59; 61]), наносимые наплавкой и газотермическим напылением, применяют для уплотнительных и защитных слоёв на деталях ДВС, валов и подшипников, в частности.

Таблица 2.9

Порошки коррозионностойких сталей и сплавов

| Марка | Химический состав, мас. % | Свойства покрытий |
|----------------|--|--|
| ПР-Х18Н9 | Fe – основа; 18 Cr; 9,5 Ni | Износостойкость и высокая устойчивость к химической коррозии в воде и агрессивных жидкостях, хорошая сопротивляемость изнашиванию потоком абразивных частиц при 500–550 °С |
| ПР-06ХН12МДТ | Fe – основа; 23,5 Cr; 27,5 3,0 Мо; 1,0 Ti 3,0 Cu | « – » |
| ПР-04Х19Н9Ф2С2 | Fe – основа; 19 Cr; 2,5 Мо; 11 Ni | « – » |
| ПР-08Х19Н9Ф2С2 | Fe – основа; 19 Cr; 9 Ni; 2,0 V; 1,6 Si | « – » |
| ПР-10Х16Н25АМ6 | Fe – основа; 16 Cr; 25 Ni; 6,7 Мо; 0,5 N | « – » |
| ПР-Х20Н80 | Ni; – основа; 20,5 Cr | « – » |
| ПХ13М2 | Fe – основа; 13 Cr | « – » |
| ПХ30 | Fe – основа, < 0,3; 30 Cr | « – » |
| ПР-Х17Н125М3 | Fe – основа, 12 С; 17 Cr | « – » |

Порошки коррозионностойких сталей и сплавов применяются для нанесения коррозионностойких и износостойких покрытий на детали машин методами плазменной и лазерной наплавки, газодинамического и плазменного напыления. Выбор материала для покрытий определяется целью защиты от коррозии и достижения специальных свойств поверхности деталей машин и оборудования, а также методом нанесения упрочняющих покрытий.

Технические требования к порошкам для наплавки, которые изготавливают по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке, с гранулометрическим составом в части величины частиц (в мм) должны соответствовать следующим требованиям стандарта ГОСТ 21448-75:

- по классу К (крупные) 1,25–0,8;
- по классу С (средние) 0,25–0,4;
- по классу М (мелкие) 0,4–0,16;
- по классу ОМ (очень мелкие) 0,06–0,16.

В зависимости от способа использования порошки поставляются различного гранулометрического состава: наплавочные порошки имеют размер частиц 0,06–0,160 мм (60–160 мкм), порошки для напыления 0,4–0,16 мм (40–100 мкм), а порошки для высокоскоростного напыления 0,015–0,025 мм (15–25 мкм) [10–11].

Для увеличения технико-технологической и экономической эффективности процессов восстановительных способов работоспособности деталей, придания им кроме износостойких ещё жаропрочных и жаростойких свойств,

увеличения их остаточной долговечности и повышения надёжности форм наплавочных порошков и порошков для напыления предпочитают использовать сферической или округлой, а состав – композиционный с интерметаллидными составляющими (рис. 2.8) [10–11].

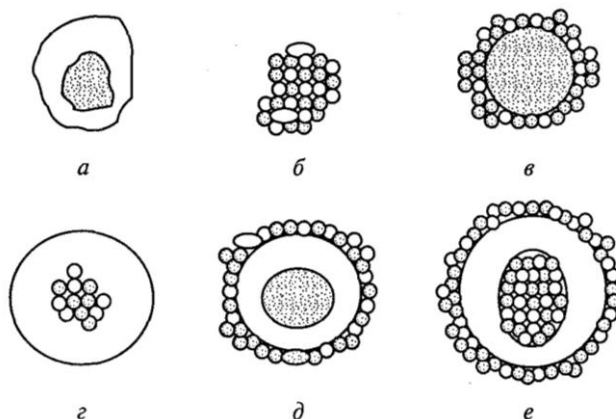


Рис. 2.8 – Конструкция композитных порошков:
a – плакированная частица; *б* – гидродисперсные конгломератные частицы; *в* – гетеродисперсные конгломератные частицы; *г*, *д*, *е* – структуры смешанного типа

Основные виды композитных порошков, в составе которых содержится несколько элементов металлов в «связанном» друг с другом состоянии:

– Порошок для напыления ПВ-Н70Ю30: интерметаллид на основе соединения никель–алюминий. Используется для нанесения жаропрочных, износостойких и теплостойких покрытий, устойчивых при температурах до 1 200 °С в авиакосмической, машиностроительной отраслях и деталях энергетического оборудования.

– Порошок для напыления ПВ-НХ16Ю6Ит: порошковый суперсплав с исключительной чистотой химического состава и иррегулярной формой частиц мелкодисперсных фракций используется для нанесения покрытий, обладающих значительно повышенными прочностными характеристиками, исключительной жаропрочностью и износостойкостью.

– Порошок металллада ПР-Х28Н10М5С1, каждая частица которого представляет собой соединение металла с металлом. В состав сплава может вводиться один или несколько легирующих компонентов, улучшающих их физико-химические свойства. Порошок разработан для плазменного и детонационного напыления защитных покрытий на поверхности деталей машин.

– Порошок ПВ-Н55Т45: порошковый суперсплав, полученный методом восстановления на основе никеля с титаном – «никель–титан» с максимально чистым химическим составом и иррегулярной формой частиц порошка. Может использоваться методом плазменного напыления и наплавки, а также газопламенного, детонационного и высокоскоростного напыления с целью получения износостойких покрытий, обладающих устойчивостью в щелочах, морской воде, на воздухе при температурах до 600 °С.

– Порошок ПВ-Н85Ю15: порошковый суперсплав которого, никель–алюминий, произведён методом восстановления на основе никеля с алюминием – «никель–алюминий». Обладает высокой жаропрочностью и стойкостью в агрессивных средах, используется методами плазменно-

го напыления, плазменной наплавки, газопламенным, детонационным и высокоскоростным напылением.

– ПВ-Н70Ю30: металлический суперсплав в виде порошка для плазменного и газоплазменного напыления покрытий, обладающих исключительными жаростойкими и термостойкими свойствами при температурах до 1200 °С, уникальными антикоррозионными и износостойкими свойствами. Он обладает коррозионной стойкостью в воде, щелочах, атмосфере, твёрдостью покрытия в районе 40 HRC.

– ПВ-НХ16Ю6Ит: комбинированный интерметаллид «никель–хром–алюминий–иттрий» с иррегулярной формой частиц, используется для напыления жаростойких покрытий методами плазменной наплавки, плазменного напыления, газопламенным, детонационным и высокоскоростным напылением. Этот порошковый сплав содержит углерод и иттрий, в напыленных покрытиях отличается высокой устойчивостью к рекристаллизации при высоких температурах.

– ПВ-Т65Ю35: интерметаллид на основе Ni и Ti, имеет мелкодисперсную однородную фракцию, высокую чистоту химического состава и, что особенно важно, – иррегулярную и развитую поверхность частиц, обеспечивающих высокие физико-химические свойства у композитных изделий.

– ПГ-НА80: гранулированный материал на основе никеля и алюминия с округлой формой частиц порошка. В процессе напыления экзотермически реагирует и обеспечивает эффект микросварки порошка с поверхностью восста-

навливаемой детали. Металлический порошок ПГ-НА80 представляет собой конгломераты сферической формы, состоящие из никелевой основы и поверхностного слоя из частиц алюминия. Он используется для нанесения износостойких, коррозионностойких и уплотняющих покрытий методом газотермического напыления.

– ПКХ27Ю7С3Ит: порошковый сплав на основе кобальта с содержанием хрома до 30%, алюминия до 8,5%, иттрия до 1,5%, кремния до 4%, кальция до 0,2% и серы до 0,02% при применении методов плазменного напыления и наплавки, детонационного напыления обеспечивает высокую коррозионную стойкость и износостойкость восстанавливаемых деталей при высоких температурах. Такие покрытия особенно востребованы в авиационной отрасли и других отраслях, где требуются износостойкие, жаропрочные покрытия.

– ПН75Ю23В (ВКНА): многокомпонентный суперсплав на основе металла «никель–алюминий», фазоупрочненный включениями тугоплавких металлов в порошке для плазменного и газоплазменного напыления, позволяет обеспечивать стойкость восстанавливаемых деталей к износу, снижает трение и термобарьерный эффект. Покрытия с использованием порошка ВКНА имеют структурную термостабильность, жаростойкость, износостойкость и характеризуются примечательными физико-механическими свойствами. Структура и свойства покрытия зависят от гранулометрического состава напыляемого порошка: с уменьшением размеров частиц порошка улучшается заполнение

покрытия – увеличивается его плотность, объём микропустот уменьшается, строение покрытия становится более однородным. Однако слишком мелкие порошки не пригодны для плазменного напыления. Большие затруднения возникают при попытках транспортировки и ввода в распылитель частиц размером 10 мкм и менее, поэтому гранулометрический состав ограничен нижним пределом фракций в 20 мкм. Был разработан для покрытий деталей ГТД в условиях работы при 1200 °С, в настоящее время используется и в других отраслях, где необходима стойкость детали к абразивному, диффузионному и окислительному износу, снижению трения и термобарьерного эффекта. Порошок ВКНА также используется для нанесения покрытий из тугоплавких оксидов в качестве материала для подслоя. Оксидные пленки на подслое из этих материалов при благоприятных условиях напыления покрытий из тугоплавких оксидов могут образовывать с ними прочные химические соединения шпинельного типа.

– Порошок ПХ20Н80 – восстановленный иррегулярный порошковый материал на основе никеля, меди и других элементов для плазменного напыления, плазменной наплавки, а также используемый в газопламенном, детонационном и высокоскоростном напылении с целью создания коррозионностойких, износостойких покрытий в машиностроительной и авиационной отраслях.

Порошки медных сплавов применяют для исправления дефектов бронзовых отливок, восстановления вкладышей подшипников скольжения, уплотнений деталей

ДВС с использованием процессов газотермического напыления и наплавки (табл. 2.10, [55; 61]).

Таблица 2.10

Порошки медных сплавов

| Марка | Химический состав, мас. % | Свойства покрытий |
|---------------|--|--|
| ПР-БрОН8,5-3 | Cu – основа; 3 Ni; 8,5 Sn | Антифрикционные свойства в сочетании с хорошей износостойкостью в условиях смазки маслом или без неё и скольжения с возможным внедрением абразивных частиц |
| ПР-БрКМц3-1 | Cu – основа; 3 Si; 1,3 Mn; 1,8 Al; 1,5 Fe; 41 Ni; 1,4 Mn | « – » |
| ПР-МН40 | Cu – основа; 41 Ni; 1,8 Al; 1,5 Fe; 1,1 Mn; 0,3 Ti | « – » |
| ПР-АМц9-2 | Cu – основа; 2 Mn; 9 Al; | « – » |
| ПР-БрОЦС5-5-5 | Cu – основа; 5 Sn; 5 Zn; 5 Pb | « – » |
| ПР-БрА7Н6Ф | Cu – основа; 7 Al; 5,5 Ni; 1 P | « – » |
| ПР-БрА8,5 | Cu – основа; 8,5 Al | « – » |

Материалами, удовлетворяющими антифрикционные требования к трущимся деталям узлов и механизмов автомобилей, долгое время являлись литые материалы на основе меди, главным образом, оловянные бронзы. Однако они дороги и не всегда соответствуют требованиям экс-

плуатационных характеристик современных машин и механизмов. В настоящее время существует значительное количество порошковых антифрикционных материалов, которые широко используются в изделиях общего машиностроения, работающих в обычных условиях, и в изделиях специального назначения, эксплуатирующихся в сложных условиях. При этом они в полной мере удовлетворяют антифрикционным требованиям в зависимости от условий работы вследствие обладания:

- начальной прирабатываемостью в работе, т.е. время, необходимое для снижения коэффициента трения между подшипником и валом до заданной величины, должно быть минимальным;

- высокими триботехническими свойствами (коэффициент трения $\leq 0,3$, в том числе при наличии смазки $< 0,1$; P_v в зависимости от режима работы от 20 до 40,0 МПа·м/с при скорости скольжения (v) от 2 до 200 м/с и удельных нагрузках (P) от 45 до 0,2 МПа);

- способностью выдерживать нагрузку, скорость и температуру без разрушения и изменения формы и функциональных свойств;

- способностью образовывать самосмазывающие или легко притирающиеся продукты истирания коллоидного характера (пленку), которые могут сберечь шейку вала от износа даже при затрудненной смазке;

- меньшей твердостью, чем у шейки вала: твердость должна снижаться как можно меньше в процессе нагрева;

- высокой теплопроводностью для хорошего отвода теплоты трения, достаточными выносливостью или сопротивлением усталости;
- достаточной вязкостью в случае ударной нагрузки;
- хорошими технологическими свойствами;
- микропористостью или микрокапиллярностью, способствующими удержанию смазки на своей поверхности;
- хорошими антикоррозионными свойствами.

Созданию хорошей сопротивляемости изнашиванию в сопряжениях деталей машин способствуют антифрикционные материалы (табл. 2.11, [60; 61]).

Таблица 2.11

Химический состав и свойства антифрикционных материалов

| Марка | Химический состав, мас. % | | | | Пористость П, в % | Твёрдость НВ, не менее |
|---------|---------------------------|---------|---------|-----------------|-------------------|------------------------|
| | Cu | C | S | Другие элементы | | |
| ПА-ЖД | 2,5–3,5 | 0,3 | – | – | 12–18 | 450 |
| ПА-ЖД5 | 4,8–10,0 | 0,5 | – | – | 16–17 | 500 |
| ПА-ЖК | – | 0,3 | 0,1–0,5 | – | 17–22 | 400 |
| ПА-ЖДК | 2,3–3,5 | 0,5 | 0,2–0,4 | – | 15–23 | 450 |
| ПА-ЖГр | – | 0,5–1,2 | – | – | 15–25 | 500 |
| ПА-ЖГрД | 2,3–3,5 | 0,5–1,2 | – | – | 15–25 | 600 |
| ПА-ЖФ1К | – | – | 0,8–1,2 | 0,8–1,2 P | До 18 | 600 |
| ПА-ЖГрЛ | 12–15 | 0,4–1,5 | – | 5,0–7,0 Zn | До 20 | 950 |
| ПА-ЖГрК | – | 0,6–1,2 | 0,6–1,0 | – | 17–23 | 500 |

Порошки самофлюсующиеся, в обеспечении самофлюсования которых бор и кремний являются основными химическими элементами, получили особенно широкое

распространение в практике восстановительно-упрочняющих технологий [15–18].

Особое преимущество порошковых материалов, в качестве основы которых служат Fe, Ni, Co и бронза, состоит в том, что они подвержены оплавлению в окислительной или нейтральной атмосфере в беспористое покрытие за счёт раскисляющего действия бора, кремния и некоторых других элементов без применения дополнительных флюсов или защитных сред [19–21].

Для придания служебных свойств в основу (матрицу) добавляют C, Cr, W, Mn, которые образуют *упрочняющие фазы* – бориды хрома и никеля, карбиды хрома типа Cr_{23}C_6 и карбобориды хрома.

С повышением дополнительного содержания углерода наблюдается образование ещё более прочного карбида Cr_7C_3 . Кроме того, в состав самофлюсующегося порошка добавляют тугоплавкие карбиды ванадия различной степени дисперсности и формы.

В качестве исходного материала для получения обширного класса диффузионно-легированных самофлюсующихся порошков (ДЛСП) на Fe-основе сталей аустенитного класса, обладающих высокой устойчивостью к воздействию высоких температур и коррозионных сред (табл. 2.12, [55; 61]), предложен сферический порошок ПР-Х18Н9, подвергнутый магнитной сепарации после химико-термической обработке (ХТО) при различных условиях при температуре $T = 900^\circ\text{C}$ в течение времени $t = 1, 3, 5$ ч. [22].

Самофлюсующиеся порошки, предназначенные для восстановительно-упрочняющих технологий наплавки и напыления с последующим оплавлением, являются специфическим продуктом порошковой металлургии.

| Марка порошка | Химический состав, мас. % | Твёрдость наплавленных покрытий, HV | Назначение и характеристика |
|------------------------------------|---|-------------------------------------|--|
| ПЖР-С1 (ТУ 230-130-009--91) | 0,02 С; 0,06 Si; 0,02 Mn; 0,5–2,5 В | 150–1000 | Износостойкие покрытия, полученные газопорошковой наплавкой и электроконтактной приваркой для работы с ударными нагрузками |
| ПР-45Р4 | 0,4–0,5 С; 0,1–0,4 Si; 0,4–0,5 Mn; 2,0–5,0 В | 400–850 | Износостойкие покрытия для условий трения скольжения |
| ПР-С3 (борированный) | 2,8–3,5 С; 1,5–3,0 Si; 0,4–0,8 Mn; 2,0–4,0 В | 500–950 | Износостойкие, антифрикционные покрытия для работы без ударных нагрузок |
| ПР-10Р6М5 (борированный) | 0,95–1,05 С; 0,5 Si; 3,8 Cr; 0,4 Mn; 2,0–3,5 В; 6,0 W; 5,0 Mo; 0,4 Ni; 1,0–1,72 V | 1000–1300 | Покрытия для работы в условиях абразивного изнашивания. Покрытия повышенной теплоустойчивости |
| ПР-Х18Н9Р4 (ТУ 230-130-012-92) | 0,12 С; 0,8 Si; 16–18 Cr; 1,0 Mn; 2,0–4,0 В; 8–11 V | 300–900 | Износостойкие покрытия для работы в агрессивных технологических средах. Износостойкие покрытия, полученные лазером |
| ПР-280Х28Н3Р3 | 2,8 С; 28 Cr; 2 Ni; 3 В | 700–1000 | Износостойкие покрытия абразивного изнашивания |
| Боромеденная стружка серого чугуна | 3,2 С; 1,9 Si; 0,78 Mn; 18 Cu; 1,8 В | | Антифрикционные и подшипниковые |

полученные лазерной наплавкой

Диффузионно-легированные самолущающиеся порошки на сталях аусте

Технологические методы наплавки и напыления обуславливают следующие требования к самофлюсующимся порошкам:

- Температура плавления порошка 950–1200 °С во избежание пережога и оплавления поверхности материала восстанавливаемой стальной детали.

- Высокая наплавляемость порошка, обусловленная способностью удалять оксидные плёнки с подложки, хорошо смачивать её и формировать беспористое (малопористое) покрытие.

- Высокая текучесть порошка для обеспечения бесперебойной его подачи дозирующими системами в зону наплавки. Высокая текучесть характерна для порошков, имеющих сферическую форму частиц.

- Однородность фракционного состава и высокая устойчивость против сегрегации (процесса образования неоднородности сплава по химическому и фазовому составу, структуре и неметаллическим включениям, возникающая при кристаллизации). В противном случае покрытие формируется со значительной неоднородностью химического и фазового состава, структуры и неметаллических включений, а, следовательно, и эксплуатационных свойств.

- Близость теплофизических характеристик материала порошка и подложки, в частности, коэффициента линейного расширения. Иначе при охлаждении наплавленного покрытия возникают значительные растягивающие напряжения и существует опасность растрескивания покрытия.

– Заданный комплекс эксплуатационных свойств наплавленного покрытия (твёрдость, износо- и коррозионная стойкость и т.д.) при достаточных значениях обрабатываемости резанием (точением, шлифованием).

Приведенным требованиям наиболее полно отвечают (удовлетворяют) самофлюсующиеся сплавы.

Прочность соединения нанесенного слоя с основой (адгезия), прочность самого слоя (когезия), а также износостойкость покрытия из сплавов одинакового состава при сухом трении и абразивном воздействии повышается с увеличением плотности покрытия за счёт снижения его пористости. Пористость покрытий из самофлюсующихся сплавов при плазменном напылении может достигать 10–12 %, газопламенных процессах – до 20 %. Оплавление покрытия при плазменной и газопорошковой наплавке в печи или токами высокой частоты снижает пористость, увеличивая в 5–10 раз показатели прочности покрытия.

Существует технология напыления самофлюсующихся сплавов, позволяющая получать покрытия с пористостью до 1 % за счет высокой скорости перемещения частиц – детонационный метод напыления.

Наиболее распространёнными самофлюсующимися порошками являются сплавы на никелевой, медной и железной основах, легированные бором и кремнием (табл. 2.12, [55; 61]), в которые нередко добавляют карбиды, бориды тугоплавких металлов (вольфрам, ванадий, хром, молибден) для образования композиционных сплавов с более высокими физико-механическими свойствами.

Таблица 2.12

**Самофлюсующиеся порошки на никелевой,
медной и железной основах**

| Марка порошка | Химсостав наплавленного слоя, мас. % | Твёрдость покрытия |
|-----------------------------------|---|--------------------|
| <i>Сплавы на никелевой основе</i> | | |
| ПР-НС2РП | < 0,05 С; 0,35 Cr; 2,15 Si; 0,7 В; Ti; 2,0 Р; < 0,15 Fe | 17–21 HRC |
| ПР-НД42СР | 42,5 Cu; 0,2 С; 0,9 Si; 1,0 В; < 3,0 Fe | 190–230 HB |
| ПР-НС2Р | < 0,15 С; 2,4 Si; 1,4 В; < 1,5 Fe | 90–92 HRB |
| ПР-НХ13СР | 0,3 С; 13,0 Cr; 2,4 Si; 1,5 В; < 5,0 Fe | 26–34 HRC |
| ПР-НХ13СР3 | 0,6 С; 13,0 Cr; 4,0 Si; 2,8 В; 3,2 Fe | 45–52 HRC |
| ПР-НХ7С4Р3 | 0,45 С; 7,0 Cr; 3,7 Si; 2,8 В; < 5,0 Fe | 50–52 HRC |
| ПР-НХ16СР3 | 0,75 С; 16,0 Cr; 3,2 Si; 2,2 В; < 5,0 Fe | 47–52 HRC |
| ПР-НХ7С4Р3-У | 0,52 С; 15,5 Cr; 3,2 Si; 2,2 В; < 5,0 Fe | 42–48 HRC |
| ПР-НХ17СР4 | 1,0 С; 17,0 Cr; 4,1 Si; 3,6 В; < 5,0 Fe | 55–60 HRC |
| ПР-НХ17СР4-У | 1,0 С; 17,0 Cr; 4,2 Si; 3,6 В; < 5,0 Fe | 56–60 HRC |
| ПР-НХ17СР4-Р | 0,8 С; 17,0 Cr; 4,2 Si; 3,1 В; < 5,0 Fe | 55–62 HRC |
| ПР-НХ18С5Р4 | 1,2 С; 17,5 Cr; 4,6 Si; 4,2 В; < 5,0 Fe | 60–62 HRC |
| <i>Сплавы на железной основе</i> | | |
| ПР-Х4ГСР | < 0,5 Cu; 1,2 С; 3,8 Cr; 2,3 Si; 3,6 В; V и Mn; Fe – основа | 60–64 HRC |
| ПГ-Ж14 | 1,4 С; 14 Cr; 2,5 Si; 2,2 В; Мо и W; Fe – основа | 38–45 HRC |
| <i>Сплавы на медной основе</i> | | |
| ПР-БрОл8НСР | 8,0 Sn; 0,8 Si; 4,8 Ni; 0,6 В; < 2,0 Fe | 140–160 HRB |

Самофлюсующиеся сплавы производятся распылением расплава газом с получением полидисперсных порошков, которые подвергаются рассеву на узкие по размерам частиц фракции для различных технологий напыления и наплавки покрытий (табл. 2.13, [61]). Форма и структура частиц порошков распылённых газом порошков имеют преимущественно сферическую форму частиц со структурой литого состояния материала (рис. 2.9, [61]).

Таблица 2.13

Основные фракции порошков для различных технологий получения покрытий

| Метод нанесения покрытий | Размер частиц порошка, мкм |
|---|--|
| Детонационное и высокоскоростное напыление | < 40, < 63 (20–63) |
| Газопламенное и плазменное напыление, газопорошковая, лазерная и электроискровая наплавка | 20–63, < 100, 40–100, 45–90, 45–125, < 125 |
| Плазменная наплавка-напыление | 63–125, 80–160, 94–280, 140–280 |
| Индукционная наплавка | 94–280, 40–630, 100–630, < 630, < 800 |

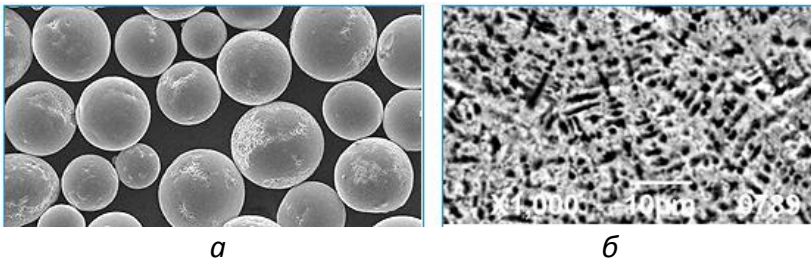


Рис. 2.9 – Форма (а) и структура (б) частиц порошка сплава на основе никеля ПР-НХ15СР2 [23]

При выборе порошков для напыления и наплавочных порошков необходимо обратить внимание на следующие характеристики: химический состав, размер частиц, сферическая форма частиц, условия хранения.

Только высокое качество порошка позволяет рассчитывать на качественное покрытие.

Порошковые материалы используются практически в любой области техники, и объем их применения непре-

рывно расширяется. Это связано как с возрастающей ролью, которую выполняют материалы вообще, так и со специфическими особенностями, присущими только порошковым материалам.

Нередко для создания покрытий деталей, работающих в агрессивных средах, для улучшения работоспособности этих деталей применяются жаростойкие и теплоустойкие легированные порошки следующих марок: ВКНА, ПВ-НХ16Ю6Ит, ПР-Х20Н80, ПХ20Н80, ПНХ20К20Ю13, ПВ-Х20Ю6Ит и др. системы Me (Fe, Ni, Co)-Cr-Al. Порошковый сплав ПВ-Н85Ю15 (рис. 2.10) используется при создании газотермических жаростойких, стойких в воде и щелочи покрытий, подслоев для покрытий из оксидов и карбидов.

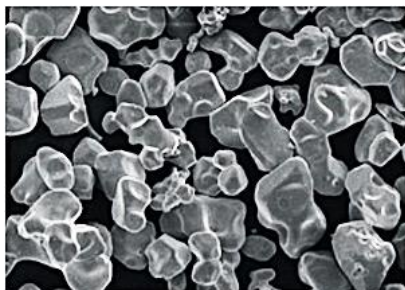


Рис. 2.10 – Форма и структура частиц порошка жаростойкого сплава ПВ-Н85Ю15 [61]

Жаропрочный суперсплав ВКНА на основе металла Ni_3Al (никель триалюминий – γ' -фаза), фазоупрочненно-го добавками тугоплавких металлов, характеризуется великолепными физико-механическими свойствами плазменных покрытий: структурной термостабильностью, жаростойкостью и износостойкостью в условиях работы дета-

лей при 1150–1200 °С. Плазменное покрытие твёрдостью около 300 НВ из порошкового сплава ПВ-Н85Ю15 на основе металлida $Ni_{85}Al_{15}$, обладающее высокой прочностью соединения со сталью и медью, является стойким в атмосфере, воде и щелочах.

Прочные плазменные покрытия твёрдостью около 40 HRC со сталью и медью с исключительно высокой жаростойкостью при нагреве на воздухе, превышающей в три раза сопротивление коррозии известного жаропрочного сплава ХН77ТЮР, образует порошковый на основе металлida $Ni_{70}Al_{30}$ сплав ПВ-Н70Ю30, обладающий коррозионной стойкостью в атмосфере, воде и щелочах (растворах NaOH, KOH).

В настоящее время легированные металлические порошки используют практически во всех отраслях промышленности, также проводят разработки и исследования новых марок металлических порошков с лучшими качествами и низкой себестоимостью.

В последние годы отечественная промышленность и зарубежные фирмы [«Метко» (Италия), «Кастолин» (Швейцария) и др.] расширяют выпуск биметаллических терморегулирующих порошковых сплавов, обладающих экзотермическими свойствами, повышающими прочность сцепления покрытия с основой и физико-механические свойства в целом. Их применяют в качестве подслоя или для напыления основного слоя. Они состоят из частиц сферической или близкой к ней формы.

Каждая частица экзотермических порошков состоит из никелевого ядра, покрытого тонким слоем мелкодисперсного алюминия.

Представленные в табл. 2.14 [24] порошки используются не только как износостойкие покрытия для восстановления деталей машин. Их можно применять как жаро-, тепло-, коррозионностойкие покрытия для деталей, работающих при повышенных температурах, в условиях окислительных сред, что способствует повышению долговечности деталей механизмов различных агрегатов машин.

Порошки ПТ-19Н-01, ПТ-НА-01 – биметаллические, экзотермические, состоящие из смеси никеля и алюминия. Порошок ПТ-19Н-01 коррозионно- и износостойкий; его применяют для напыления изношенной юбки поршня автомобильных и тракторных ДВС.

Напыленную поверхность обрабатывают шлифованием.

Порошок ПТ-НА-01 применяют в качестве подслоя, на который напыляют другие порошки, соответствующие эксплуатационным требованиям.

При восстановлении поршней компрессоров, посадочных мест валов, цапф валов различных машин, шпинделей станков и других деталей на подслое из этого порошка напыляют сравнительно мягкий порошок ПГ-19М-01 на медной основе. Покрытие легко обтачивается.

Таблица 2.14

Состав наиболее распространенных порошковых сплавов отечественного и зарубежного производства, %

| Марка сплава | C | B | Si | Ni | Cr | Fe | Прочие элементы | Твердость HRC |
|---------------|-------------|------------|------------|---------|--------------|------------|--------------------------|---------------|
| ПГ-10Н-01 | 0,6 1 | 2,8 3,4 | 4 4,5 | Основа | 14 20 | 34 | — | 55–62 |
| ПГ-10Н-04 | До 0,1 | 1,2 1,8 | 2,3 2,8 | » | — | 0,2 0,6 | — | HRB 89-96 |
| ПГ-12Н-01 | 0,3 0,6 | 1,7 2,5 | 1,2 3,2 | » | 8 14 | 1,2 1,3 | — | 35–40 |
| ПГ-12Н-02 | 0,4 0,8 | 24 | 3 5 | » | 10 16 | 3 5 | — | 45–50 |
| ПГ-12Н-03 | 0,5 1,5 | 2,5 4,5 | 3,5 5,5 | » | 12 18 | 3,5 5 | — | 55–62 |
| ПТ-НА-01 | — | — | — | — | — | — | 4-5 Al | — |
| ПТ-19Н-01 | 0,3 0,6 | 1,7 2,5 | 1,2 3,2 | » | 3,9 14 | 1,2 3,2 | 0,8-1,3 Al | 35–40 |
| ПГ-19М-01 | — | — | — | — | — | 4 | Си - основа, 8,5-10,5 Al | HRB 65-70 |
| ПГ-СР3 | 0,4 0,7 | 2 2,8 | 2,5 3,5 | Основа | 13,5 16,5 | 5 | — | 48–52 |
| ПР-Н80Х13С2Р | 0,2 6,4 | 1,2 1,8 | 2 2,8 | » | 12 14 | До 5 | — | 25–35 |
| » | | | | | | | | |
| ПР-Н77Х15С3Р2 | 0,35 0,6 | 1,8 2,3 | 2,8 3,5 | » | 14 16 | До 5 | — | 35–45 |
| ПР-Н73Х16С3Р3 | 0,6 0,9 | 2,3 3 | 2,7 3,7 | » | 15 17 | До 5 | — | 45–50 |
| ПР-Н70Х17С4Р4 | 0,8 1,2 | 3,1 4 | 3,8 4,5 | » | 16 18 | До 5 | — | 55 |
| ПР-Н67Х18С5Р5 | 0,9 1,5 | 4 4,7 | 4 5 | » | 16 18 | До 5 | — | 60 |
| ПР-Н65Х25С3Р3 | 0,9 1,5 | 2 3 | 2,1 2,3 | » | 23,5 26,5 | До 5 | — | 45 |
| ПН68Х21С5Р | 0,35 0,5 | 1 1,3 | 4 5 | » | 20 22 | 4 7 | — | 40 |
| ПН70Ю30 | 0,07 | — | — | » | — | 0,2 | 28-33 Al | 40 |
| ПН85Ю15 | 0,07 | — | — | » | — | 0,2 | 12-15 Al | 30–35 |
| ПН55Т45 | 0,07 | — | — | » | — | 0,2 | 43-47 Ti | 55–60 |
| ПТ88Н12 | 0,07 | — | — | 10 12,5 | — | 0,2 | Ti-основа | — |
| ПТ65Ю35 | 0,07 | — | — | — | — | 0,2 | Ti-основа, 35-40 Al | — |

Окончание таблицы 2.14

| Марка сплава | C | B | Si | Ni | Cr | Fe | Прочие элементы | Твёрдость HRC |
|--------------|---------|---------|---------|--------|-------|------|------------------|---------------|
| 12C | 0,15 | 2,5 | 2,3 | Основа | 10 | 2,5 | – | – |
| 16C | 0,5 | 4 | 4 | » | 16 | 2,5 | – | – |
| 31C | 0,5 | 2,5 | 2,5 | 46 | 11 | 2,5 | 35 W | – |
| Колмоной 4 | 0,45 | 2 | 2 | Основа | 8 | 3 | – | 35–40 |
| Колмоной 5 | 0,65 | 2,5 | 3,75 | » | 11,5 | 4,25 | – | 45–50 |
| Колмоной 6 | 0,75 | 3 | 4,25 | » | 13,5 | 4,75 | – | 56–61 |
| Колмоной 70 | 0,75 | 2,5 | 3,25 | » | 11,5 | 3,75 | 16 W | 50–55 |
| MSFNi 1 | До 0,25 | 1-2,5 | 1,5-3,5 | » | 0-10 | До 4 | До 4 Cu | 15–30 |
| MSFNi 2 | До 0,5 | 1,5-2,5 | 2-3,5 | » | 9-11 | До 4 | – | 30–40 |
| MSFNi 3 | 0,4-0,7 | 2-3 | 3-4,5 | » | 10-15 | До 5 | – | 40–50 |
| MSFNi 4 | 0,4-0,9 | 2,5-4 | 3,5-5 | » | 12-17 | До 5 | До 4 Mo; до 4 Cu | 50–60 |
| MSFNi 5 | 0,5-1,1 | 3-4,5 | 2-5 | » | 15-20 | До 5 | | 55–65 |
| MSFCo 1 | До 1,5 | 1,5-4 | 2-4,5 | 10-30 | 16-21 | До 5 | До 10 W; до 7 Mo | 35–50 |
| MSFCo 2 | До 1,5 | 2-3 | 1,5-3 | 0-15 | 19-24 | До 5 | 4-15 W | 50–65 |

Твёрдость порошков марок ПГ-12Н-01, ПГ-12Н-02, ПГ-10Н-01, составленных на никелевой основе системы Ni-Cr-B-Si-C-Fe, регулируется содержанием химических элементов C, B, Cr. Напыленные покрытия из порошков данных марок имеют низкий коэффициент трения, высокую допустимую рабочую температуру (до 800 °С); их широко применяют для традиционного напыления и напыления с оплавлением при восстановлении работоспособности деталей из углеродистых, коррозионно-стойких сталей и чугуна: шеек коленчатых валов, толкателей поршневых насосов, фасок клапанов.

При твёрдости до HRC 40 такие покрытия обрабатывают резанием, а свыше HRC 40 – шлифованием.

Нанесённые покрытия из низкоуглеродистых порошков ПГ-10Н-03, ПГ-10Н-04 системы Ni-B-Si, отсутствие в

составе которых хрома значительно снижает их твёрдость, обладают высокой коррозионной стойкостью, хорошо сопротивляются ударным нагрузкам. Их применяют для восстановления посадочных мест под подшипники, зубчатых колес, кулачковых муфт. Покрытия хорошо обрабатываются резанием.

Порошок ПС-12НВК-01 (HRC 57-64) состоит из композиции: порошок ПГ-10Н-01 (65%) + порошок карбида вольфрама WC (35%). Покрытия этой композиции обладают высокой износостойкостью. Их применяют для восстановления подвижных и неподвижных соединений. Покрытие обрабатывают шлифованием. Для напыления применяют порошки с размером частиц не более 200 мкм.

Порошки марок ПН70Ю30, ПН85Ю15, ПН55Т45, ПТ88Н12, ПТ65Ю35 являются металлдами, частицы которых представляют собой химическое соединение двух металлов (NiAl, Ni₃Al; AlTi и др.). Их можно применять для плазменного, детонационного и газопламенного напыления.

Порошки ПН85Ю15 и ПТ88Ю35 (температура плавления 1400 °С), ПН70Ю30 (температура плавления 1600 °С), применяют в качестве жаро- и износостойких покрытий, пригодных для работы в окислительных и щелочных средах, для защиты труб, деталей металлоконструкций различного оборудования, для восстановления посадочных мест валов. Прочность сцепления покрытий со сталью составляет 35–45 МПа. Покрытие обрабатывается точением и шлифованием.

Порошок ПН55Т45 (температура плавления 1240 °С) применяют как износостойкое покрытие для деталей типа «вал». Он обладает высокой стойкостью в щелочных и окислительных средах. Прочность сцепления покрытия со сталью составляет 45–50 МПа. Покрытие шлифуется.

Порошок ПТ65Ю35 (температура плавления 1460 °С) используют главным образом в качестве жаростойкого покрытия. Прочность сцепления 40–50 МПа. Покрытие обрабатывается точением, шлифованием.

В литературе нет единого мнения относительно фазового состава упрочняющих соединений самофлюсующихся сплавов. Во многих работах, ориентированных на изучение самофлюсующихся сплавов системы Ni-Cr-Si-B, зафиксированы следующие типы упрочняющих соединений: карбиды (Me_7C_3 , Me_3C_2 , $Me_{23}C_6$), бориды (MeB , Me_5B_3 , Ni_3B) и карбобориды ($Me_3(C,B)$, $Me_{23}(C,B)_6$ различной стехиометрии ($Me - Cr, Fe$)). На рисунке 2.11 [25] схематически представлена диаграмма, отражающая возможные типы превращений в самофлюсующихся сплавах.

Способ формирования покрытий на основе самофлюсующихся сплавов (в т.ч. с применением высококонцентрированных источников энергии – лазерного, электронного излучения и др.) является мощным фактором, оказывающим влияние на фазовый состав модифицированных слоев. Это объясняется тем, что при формировании покрытий вышеуказанными способами вследствие существенного отклонения температурно-временных условий от

равновесных возможно образование метастабильных соединений и пересыщенных твердых растворов [26].

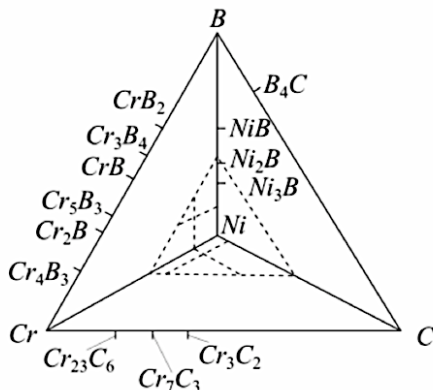


Рис. 2.11 – Схематическая диаграмма образования упрочняющих соединений в сплавах системы *Ni-Cr-Si-B*

Существенное влияние на структурно-фазовый состав самофлюсующихся сплавов оказывает содержание бора и углерода в наплавочных смесях (0,2–5 мас. %) [27; 28]. Перечень упрочняющих соединений, образующихся при формировании покрытий системы Ni-Cr-Si-B с использованием различных технологий, а также их структурный тип и некоторые свойства приведены в таблице 2.15 [62].

Эксплуатационные характеристики покрытий на основе самофлюсующихся сплавов определяются тремя основными факторами:

1. Типом основы самофлюсующегося сплава в зависимости от свойств его матричного материала, вследствие чего в значительной степени варьируется область применения поверхностного упрочнения деталей машин.

2. Объемной долей и стехиометрией упрочняющих фаз: перечень упрочняющих соединений в матрице самофлюсующихся сплавов очень вариативен, имеет стабильные и комплексные метастабильные соединения.

3. Методом формирования покрытия: объемной долей, стехиометрией и гомогенностью распределения упрочняющих соединений, находящихся в зависимости от особенностей технологии нанесения покрытий на рабочую поверхность восстанавливаемой детали.

Таблица 2.15

Структура и свойства упрочняющих соединений в самофлюсующихся сплавах на Ni-основе

| Фаза | Сингония/пространственная группа симметрии | Температура плавления, °С | Твёрдость, ГПа |
|--------------|--|---------------------------|----------------|
| Карбиды | | | |
| Cr_7C_3 | Ромбическая / $Pm\bar{c}m$ | 2041 | 13,7–24 |
| $Cr_{23}C_6$ | Кубическая / $Fm\bar{3}m$ | 1550 | 12,2–22 |
| $Cr_{23}C_6$ | Ромбическая / $Pn\bar{a}m$ | 2086 | 13,5–18 |
| Бориды | | | |
| CrB | Ромбическая / $Cm\bar{c}m$ | 2090 | 19, 2 |
| Cr_5B_3 | Тетрагональная / $I4\bar{1}m\bar{c}m$ | 1890 | 14,2 |
| Cr_2B | Ромбическая / $Fddd$ | 1870 | 25,7 |
| Ni_2B | Тетрагональная / $I4\bar{1}m\bar{c}m$ | 1513 | 11, 3 |
| Ni_3B | Ромбическая / $Pn\bar{m}a$ | 1478 | 11,9 |
| Ni_4B_3 | Ромбическая / $Pn\bar{m}a$ | 1600 | 14,8 |
| Силициды | | | |
| Ni_3Si_3 | Кубическая / $Fm\bar{3}m$ | 1150 | – |
| Cr_5B_3 | Ромбическая / $Cm\bar{c}2_1$ | 830 | – |

Самофлюсующиеся Ni-сплавы нашли широкое применение в качестве матричных материалов, составляющих

основу композиционных покрытий. Пластичный γ -твердый Ni -раствор прочно удерживает упрочняющие фазы, обладающие более высокой твёрдостью, стойкостью к изнашиванию и воздействию высоких температур. В процессе нанесения композиционных слоев со строением « $Ni-Cr-Si-B$ -сплав + дополнительные упрочняющие соединения» независимо от способа обработки возможна добавка как тугоплавких соединений (преимущественно карбидов или боридов), так и материалов, вступающих в реакцию и образующих упрочняющие соединения непосредственно в процессе наплавки и напыления [27; 28]. Систематизация экспериментальных данных по формированию поверхностных слоев на основе самофлюсующихся сплавов из работ, выполненных в период с 2000 по 2013 гг., приведена в обзорной работе К. Simunovic [27; 28] (рис. 2.12). Перечень упрочняющих фаз и элементов, используемых для модифицирования поверхностных слоев, приведен в табл. 2.16.

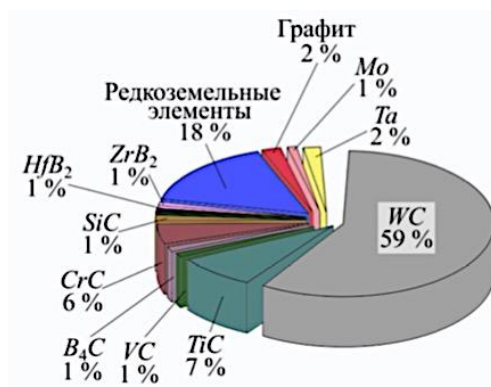


Рис. 2.12 – Перечень упрочняющих элементов и химических соединений, используемых для легирования материалов системы $Ni-Cr-Si-B$ [27; 28]

Таблица 2.16

Упрочняющие фазы и элементы, используемые для формирования поверхностных композиционных слоев на основе Ni-Cr-Si-B-сплавов [27; 28]

| Добавка | Добавка |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| <i>WC</i> | <i>TiC</i> |
| <i>WC-Co</i> | <i>VC</i> |
| <i>WC-Ni</i> | <i>B₄C</i> |
| <i>WC/W₂C</i> | <i>Cr₃C₂</i> |
| <i>W₂C</i> | <i>Cr₃C₂-Ni</i> |
| <i>ZrB₂</i> | <i>CrC</i> |
| <i>HfB₂</i> | <i>SiC</i> |
| <i>TiB₂</i> | <i>C</i> |
| <i>La₂O₃</i> | <i>Ce</i> |
| <i>Y₂O₃</i> | <i>Nb</i> |
| <i>Fe₂O₃</i> | <i>Mo</i> |
| <i>ZrO₂</i> | <i>Ta</i> |

Большое число работ посвящено исследованию свойств покрытий на никелевой основе, упрочненных карбидами вольфрама *WC/W₂C*.

Уровень твёрдости поверхностных слоев, полученных методом лазерной наплавки порошковых смесей, содержащих 40–60 % *WC*, достигает 65 HRC.

В неравновесных условиях плавления и кристаллизации возможно образование хрупких интерметаллидов и карбидных фаз различной формы и стехиометрии, например, *Me₇W₆*, *Me₆W₇* (*Me* – *Fe*, *Co*, *Cr*, *Ni*), *M₆C*, *M₁₂C* (*M* – *W*, *Fe*, *Ni*, *Mo*). Несмотря на многочисленные преимущества, материалы системы *Ni-Cr-Si-B+WC* демонстрируют низкое

сопротивление окислению в условиях критически высоких температур (диффузия кислорода происходит в более глубокие слои по фазовым границам).

В литературе широко освещено влияние добавок карбида титана и хрома на триботехнические свойства самофлюсующихся сплавов.

В работах Н.Н. Соболевой совместно с А.В. Макаровым проведен анализ влияния объемной доли карбида титана TiC (5, 15, 25 мас. %) на структуру и износостойкость поверхностных слоев, сформированных по технологии газопорошковой лазерной наплавки смесей « $Ni-Cr-B-Si - TiC$ ». Композиционные материалы с 15 и 25 мас. % TiC отличается высокая износостойкость в условиях сухого трения скольжения и при воздействии закрепленных абразивных частиц.

В работах Е.Е. Корниенко рассмотрено влияние добавки Nb (2–8 мас. %) на структуру, фазовый состав и свойства материалов из самофлюсующегося сплава, полученных по технологии искрового плазменного спекания и плазменного напыления. Печное оплавление (1100 °С, выдержка 10 минут, охлаждающая среда – воздух) стали с напыленными покрытиями сопровождается значительными структурными преобразованиями поверхностных слоев. Связанный углерод, содержание которого в сплаве не превышает 1 %, вступает в реакцию с ниобием, образуя карбид ниобия NbC . При реализации технологии искрового плазменного спекания на границах между частицами са-

мофлюсующегося сплава *Ni-Cr-Si-B* образуется соединение *NbC*.

Легирование самофлюсующегося сплава на никелевой основе ниобием в количестве (2–8 мас. %) способствует увеличению уровня микротвердости и износостойкости материалов.

Прочностные свойства и стойкость к окислению боридов переходных металлов в несколько раз превышают характеристики карбидов данных металлов. Уровень твердости карбида *TiC* составляет 23 ГПа, а бориды титана *TiB* – 27 ГПа. Особо следует выделить дибориды переходных металлов, такие как *TiB₂*, *HfB₂*, *NbB₂* и др. Высокий уровень их твердости объясняется особенностями строения, плотностью упаковки и жесткостью кристаллической решетки.

Объем данных о модифицировании самофлюсующихся сплавов диборидами тугоплавких металлов в технической литературе относительно мал.

Установлено, что соединение *NbB₂* не растворяется в азотной и соляной кислотах, слабо растворяется в серной кислоте и в смеси кислот $H_2SO_4 + H_2C_2O_2$. В условиях длительной выдержки на воздухе при температуре 700 °С диборид ниобия практически не окисляется. Помимо соединения *NbB₂* для системы «*Nb-B*» характерно наличие еще четырех стабильных боридов – *Nb₃B₂*, *NbB*, *Nb₅B₆* и *Nb₃B₄*.

Сочетание положительных свойств разных порошков и получение частиц, удовлетворяющих комплексу требований, реализуются в *композиционных порошках*. В за-

висимости от типа строения различают плакированные и конгломератные композиционные частицы (рис. 2.13, [63]).

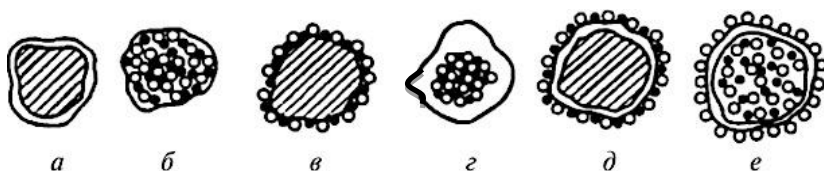


Рис. 2.13 – Основные разновидности конструкций частиц композиционных порошков:
а – плакированные; *б–е* – конгломератные

Плакированная композиционная частица – это частица одного из материалов, на поверхности которой расположен слой или несколько слоёв других материалов.

Конгломерированием можно достичь большего разнообразия в строении композиционных частиц (рис. 2.13 *б, в*). При использовании исходных порошков с частицами одинаковых размеров (отношение диаметров $1/3$) образуются гомодисперсные конгломератные частицы (рис. 2.13 *б*). Если одна частица служит ядром, на поверхности которого размещены мелкодисперсные частицы остальных компонентов, то формируются гетеродисперсные конгломератные частицы (рис. 2.13 *в*).

Комбинации плакированных и конгломерированных частиц позволяют получать порошки смешанного типа (рис. 2.13 *г–е*). Причем одни и те же компоненты могут присутствовать как в виде плакирующей оболочки, так и в составе конгломератов.

Композиционные порошки предназначены для напыления подслоёв, получения (табл. 2.17, [55]) износо-

стойких слоёв на поверхности различных деталей. Это экзотермические реагирующие при напылении порошки, образующие соединения Ni с Al. Покрyтия отличаются хорошей износостойкостью в сочетании с коррозионной стойкостью и сопротивлением ударным нагрузкам.

Таблица 2.17

Композиционные порошки

| Марка | Химический состав, мас. % | Твердость, НВ | Прочность сцепления, МПа |
|-------------|---|---------------|--------------------------|
| ПТ-Ю5Н | Ni + 5,2 % Al | 210 | 55 |
| ПТ-Ю10Н | Ni + 9 % Al | 170 | |
| ПТ-ЮХ15СР2 | Ni; 0,3 % С; 15 % Cr; 3,1 % Si; 2 % В; 1,2 % Al | 360 | 35 |
| ПТ-ЮХН16СР3 | Ni; 0,7 % С; 16 % Cr; 3,2 % Si; 2,6 % В; 1,2 % Al | 380 | |

Композиционный порошок ПТ-19Н-01 получен методом конгломерирования ядра самофлюсующегося Ni-сплава слоем частиц алюминия. При напылении он обладает экзотермическим эффектом. Наплавленный слой устойчив к коррозии и изнашиванию, применяется для восстановления шеек валов и других деталей.

Эффективной технологией получения композиционных порошков является высокотемпературный синтез тугоплавких соединений в присутствии матрицы – металлсвязки (табл. 2.18, [55]).

Таблица 2.18

Композиционные порошки Белорусского концерна порошковой металлургии

| Марка порошка | Химический состав, мас. % | Описание порошка | Область применения |
|---------------|---|---|--|
| ASCT-50 | 42...44 Al; 5...6 Si; 8...10 C; >0,5 O; остальное Ti | Каждая частица порошка состоит из большого количества мелких зерен TiC, окруженных алюминиевым сплавом. Порошок получен высокотемпературным синтезом TiC в присутствии алюминиево-кремниевое сплава | Плазменное, детонационное, высокоскоростное газопламенное напыление. Высокая стойкость покрытий к абразивному, эрозионному изнашиванию, низкотемпературной коррозии. |
| PSCT-75 | 21...22 Al; 2...3 Si; 15...17 C; > 0,7 O; остальное Ti | Каждая частица порошка состоит из дисперсных зерен карбида титана, равномерно распределенных в стальной матрице | Рекомендуется для защиты деталей из алюминиевых и титановых сплавов, восстановления алюминиевых деталей |
| FCT-50 | 48...51 Fe; 9...11 C; > 0,1 O; остальное Ti | Каждая частица порошка состоит из дисперсных зерен карбида титана, равномерно распределенных в стальной матрице | Высокая стойкость покрытий в условиях абразивного изнашивания и трения скольжения. Относительно низкая стоимость покрытий |
| FCCT-65 | 49...52 Ti; 11...13 C; 0...11 Cr; > 0,5 O; остальное Fe | Каждая частица порошка состоит из дисперсных зерен карбида хрома, окруженных нихромом | Высокая стойкость к абразивному и эрозионному изнашиванию и высокотемпературной коррозии |

2.3.5. Порошковая проволока, ленты и шнуры для восстановления деталей

В настоящее время выпускается множество различных порошковых проволок, лент и шнуров для восстановления деталей машин. Важнейшими преимуществами этих материалов являются равномерность подачи присадочного материала в зону наплавки, отсутствие сегрегации порошковых компонентов и широкий диапазон легирования наплавленного слоя или напыленного покрытия.

Порошковая проволока состоит из оболочки и сердечника-наполнителя, который представляет собой смесь порошков ферросплавов, чистых металлов, карбидов, боридов, раскислителей, шлакообразующих и стабилизирующих горение дуги при наплавке (рис. 2.14, [55]). Содержание порошкового наполнителя составляет 50–70%.

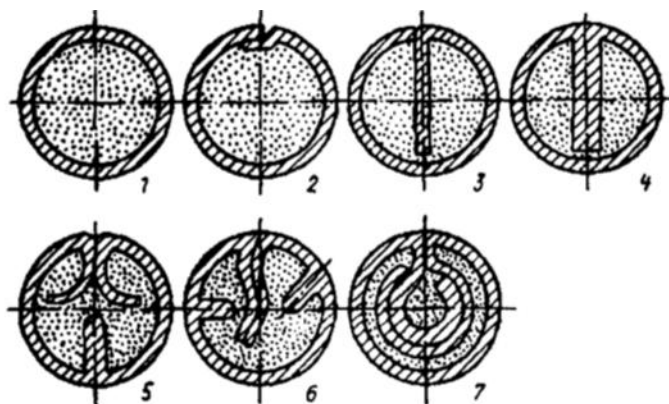


Рис. 2. 14 – Конструкция порошковой проволоки [55]:

1 – с плотным стыком; 2 – со стыком внахлёстку; 3 – с одним загибом оболочки; 4 – с двумя загибами оболочки; 5, 6 – с ложным сечением; 7 – двухслойная

В качестве газообразующих материалов используют карбонаты кальция, магния, натрия, например, мрамор,

магнезит, кальцинированную соду и органические вещества (целлюлозу, крахмал, древесную муку). В качестве шлакообразующих материалов используют рутиловый концентрат, алюмосиликаты, окислы щелочноземельных металлов, флюоритовый концентрат.

В качестве раскислителей применяют активные элементы, обладающие высоким сродством к кислороду, в виде ферросплавов (ферромарганец, ферросилиций и др.) и металлических порошков. Легирующие материалы, такие как марганец, кремний, хром, бор, никель и другие, обеспечивающие металлу шва необходимые свойства, вводят также в виде ферросплавов и металлических порошков.

Введение дополнительного металла в виде железного порошка (до 30 %) позволяет увеличить производительность наплавки и улучшить сварочно-технологические свойства. В качестве компонентов сердечника можно использовать порошки из различных материалов без обработки и связующих веществ. Это дает широкую возможность изменять составы порошковых сердечников и создавать такие композиции, которые невозможно получить в других сварочных материалах. По составу сердечника порошковые проволоки делятся, также как и электроды, по виду покрытия на рутил-органические, рутиловые; рутилосодержащие и основные.

Оболочкой для большинства порошковых проволок для сварки и наплавки сталей, сплавов и чугуна является холоднокатаная лента толщиной 0,2–0,8 мм из низкоуглеродистой стали, имеющая высокую пластичность, необхо-

димую для формования и волочения проволоки. Оболочка порошковой проволоки для сварки и наплавки цветных металлов соответствует свариваемому металлу. Наиболее распространенный диаметр порошковой проволоки – 2,6–3,6 мм, а для наплавки крупногабаритных деталей используют проволоку диаметром 8 мм.

Порошковая проволока имеет два вида – самозащитные и газозащитные (рис 2.15, [64]). Первый вид считается более распространенным, т.к. внутри такой порошковой проволоки, совместимой с низколегированными и углеродистыми сталями, находится флюс, защищающий наплавочный слой от содержащихся в воздухе примесей.



Рис. 2.15 – Виды порошковой проволоки [64]:
а – самозащитная; б – газозащитная

Самозащитная проволока является хорошим вариантом для функционирования полуавтоматов. С её помощью паяют алюминиевые изделия, а также их сплавы.

Газозащитная проволока требует закрытие поверх наплавляемого слоя покрытия. С данной целью используют аргон либо иной газ инертного типа. Газозащитный атрибут для сварки обычно применяют для сваривания или

наплавки углеродистой, низколегированной стали. Этой проволоке присущи следующие преимущества:

- стабильность дуги;
- лёгкость выхода шлака на поверхность;
- отсутствие пористости;
- низкий уровень разбрызгиваний;
- простота шлаковой ликвидации;
- глубокое проплавление.

При наплавке порошковым проволочным материалом шов всегда будет находиться под обзором, поэтому внешне технология будет напоминать стандартное пользование электродами.

Маркировка порошковых проволок выполняется согласно ГОСТ 26271-84, например, ПП-Нп-18Х1Г1М-С- 2,2-1:

– ПП-Нп-18Х1Г1М – порошковая проволока для наплавки, материал 18Х1Г1М.

– С – наплавка производится без газовой или другой защиты, самозащитная (может иметь метку Ф – наплавка под флюсом, Г – наплавка в защитных газах, У – универсальная проволока, применяется во всех случаях).

– 2,2-1 – диаметр 2,2 мм и класс точности 1.

Марки легированной и высоколегированной порошковой проволоки для износо- и коррозионностойкой наплавки приведены в таблице 2.19 [55].

Таблица 2.19

Марки порошковых наплавочных проволок и лент

| Марка (тип или ГОСТ) | Наименование детали (по табл. 3.3) | Режим наплавки | | Условия применения |
|--------------------------------------|---|--|-----------------------|--|
| | | Постоянный ток обратной полярности, А | Напря- жение, В | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ПП-Нп-10Х15Н2ГТ (ТУ 14-4-840-77) | 28 | 260...280 в нижнем положении | 24...26 | Без предваритель- ного подогрева |
| | | 220...250 в верти- кальном положении | 24...27 | |
| | | 180...200 в потолочном положении | 20...22 | |
| ПП-Нп-70Х4М3Г4ФТР (ГОСТ 26101-84) | 4; 9; 11-14; 16; 17; 42 | 350...450 | 32...36 | Последующий слой на предыдущий ре- комендуется нано- сить при остывании до 250...150 °С. При большом объ- еме наплавки нано- сить уширенные (25...30 мм) валики длиной ≥ 400 мм |
| ПП-Нп-14СТ (ГОСТ 26101-84) | 18; 19; 21 | 280...340 | 24...26 | Без предваритель- ного подогрева |
| ПП-Нп-25Х5ФМСТ (ГОСТ 26101-84) | 33; 34 | 280...320 | 25...27 | Предварительный подогрев до 250... 300 °С. После на- плавки медленное охлаждение со ско- ростью 40...60 °С/ч, отпуск при 400 °С, выдержка 2 ч |

Продолжение таблицы 2.19

| Химический состав, мас. % | Свойства наплавленного металла | | | | |
|--|--|--|------------------------------|------------------------------|--|
| | Твердость, HRC | Износостойкость | Сопротивление ударам | Термическая выносливость | Обрабатываемость |
| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 0,1 C; 0,6 Mn; 0,2 Si; 15,0 Cr; 2,0 Ni; 0,2 Ti | 240... 260 HB | Высокая стойкость против кавита- ции и коррозии | Высокое | Удовле- твори- тельная | Без затруд- нений |
| 0,7 C; 3,5 Mn; 0,5 Si; 4,0 Cr; 3,0 Mo; 1,0 V; 0,7 B; 0,1 Ti | 57...62 | Высокая | Удовле- твори- тельное | | Шлифо- вание. Резание только после отжига |
| 0,14 C; 0,6 Mn; 0,8 Si; 0,4 Ti | 240... 260 HB | | | | Без затруд- нений |
| 0,25 C; 0,6 Mn; 1,2 Si; 5,0 Cr; 1,2 Mo; 0,4 V; 0,2 Ti | 40...46; 47...50 после термо- обра- ботки | Высокая | | Очень высокая | Затруд- нена |

Продолжение таблицы 2.19

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------------------|--------------------------|-----------|---------|---|
| ПП-Нп-30Х4В3М3ФС (ГОСТ 26101-84) | 33; 34 | 150...200 | 20...25 | Предварительный подогрев до 250...300 °С, отпуск при 400 °С и медленное охлаждение со скоростью 40...60 °С/ч |
| | | 210...260 | 22...27 | |
| | | 250...300 | 23...28 | |
| ПП-Нп-30Х4Г2СМ (ГОСТ 26101-84) | 21; 25; 26 | 200...230 | 24...26 | Предварительный подогрев до 250...300 °С. Рекомендуется широкая наплавка с поперечным колебанием электрода |
| ПП-Нп-30Х5Г2СМ (ГОСТ 26101-84) | 18; 22; 25; 30 | 320...360 | 25...27 | Предварительный подогрев до 250...300 °С |
| ПП-Нп-50Х6СГТР (ТУ ИЭС 516-85) | 20; 31 | 180...220 | 21...24 | Предварительный подогрев до 400 °С, одночасовой отпуск при температуре 300...400 °С с последующим замедленным охлаждением |
| | | 280...320 | 25...27 | |
| ПП-Нп-40Х4Г2СМНТФ | 8; 25; 26 | 150...300 | 22...26 | При наплавке на углеродистые стали предварительный подогрев до 250...300 °С |
| ПП-Нп-40Х7М1ФСЦ (ТУ ИЭС 311-81) | 34; 35 | 200...220 | 22...24 | Предварительный подогрев до 350 °С, затем медленное охлаждение со скоростью 40...60 °С/ч |
| | | 220...260 | 24...26 | |
| ПП-Нп-90Г13Н4 (ГОСТ 26101-84) | 10; 11; 13; 14; 23 | 220...240 | 20...22 | Не допускается чрезмерный разогрев наплавляемого изделия. При многослойной наплавке обязательна проковка каждого наплавленного слоя |

Продолжение таблицы 2.19

| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--|--|------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| 0,35 C; 0,6 Mn; 0,9 Si; 3,8 Cr; 2,8 W; 2,8 Mo; 0,5 V | 47...50 | | | | Затруд- нена |
| 0,3 C; 1,6 Mn; 0,8 Si; 4,0 Cr; 0,6 Mo; 0,2 Ti | 50...56 | Высокая | Удовле- твори- тельное | Высокая | Шлифо- вание. Резание только после отжига |
| 0,3 C; 1,6 Mn; 0,8 Si; 5,0 Cr; 0,6 Mo; 0,2 Ti | 28...32 после термо- обра- ботки | | | | |
| 0,5 C; 0,5 Mn; 1,2 Si; 8,0 Cr; 0,2 Ti; 0,7 B | ≥ 57 | Очень высокая | | | |
| 0,4 C; 1,8 Mn; 1,0 Si; 1,0 Cr; 1,0 Mo; 0,3 V; 1,1 Ni; 0,3 Ti | 48...56 | | | Удовле- твори- тельная | |
| 0,45 C; 0,8 Mn; 1,2 Si; 7,5 Cr; 1,5 Mo; 0,8 V; 0,1 Al; 0,1 Ti; 0,05 Zr | 52...56 | Высокая | Высокое | | |
| 0,9 C; 13,0 Mn; 0,5 Si; 4,0 Ni | До 20; 40...45 после накле- па | | | Высокая | |

Продолжение таблицы 2.19

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------------------|------------------|-----------|---------|---|
| ПП-Нп-200ХГСР (ТУ ИЭС 435-84) | 25; 26 | 120...140 | 19...22 | Рекомендуется наплавка в один слой с поперечными колебаниями электрода с максимально возможной погонной энергией (изменяется за счет уменьшения скорости наплавки). При увеличении тока дуги (> 220 А) возможно образование отдельных поперечных трещин |
| ПП-Нп-200Х15С1ГРТ (ГОСТ 26101-84) | 9; 12; 13; 17 | 400...420 | 28...32 | Рекомендуется широкослойная наплавка на увеличенном вылете с колебательными движениями электродной проволоки. Общая толщина наплавленного слоя ≤ 12 мм |
| ПП-Нп-250Х10Б8С2Т (ГОСТ 26101-84) | 9; 16; 17 | 380...420 | 30...34 | Рекомендуется наплавка на повышенном вылете (70...90 мм) с поперечными колебаниями электродной проволоки 30...55 мм. Сварочная ванна – с пониженной жидкотекучестью. Допускается многослойная наплавка отдельных участков толщиной до 40...50 мм |
| ПП-Нп-350Х10Б8Т2 (ТУ 14-283-16-83) | 9; 17; 18 | 220...650 | 26...34 | При наплавке с колебаниями размахом 30...80 мм допускается многослойная наплавка общей толщиной до 20...25 мм, а также повторная наплавка деталей без удаления остатков наплавленного слоя |

Продолжение таблицы 2.19

| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---------|---------------|--------------------|--------------------|--|
| 2,0...2,2 C; 1,0...1,3 Mn; 0,7...1,1 Si; 0,3...0,5 Cr; 0,06...0,1 B; 0,08...0,12 Ti; 0,15...0,18 Al | 48...56 | Высокая | Низкое | Удовлетворительная | Шлифование. Резание только после отжига |
| 2,0 C; 1,0 Mn; 1,5 Si; 15,0 Cr; 0,3 Ti; 0,7 B | 50...58 | | Удовлетворительное | Высокая | |
| 2,6 C; 2,0 Si; 10,0 Cr; 8,0 Nb; 1,0 Ti | | Очень высокая | Низкое | | |
| 3,5 C; 10,0 Cr; 8,0 Nb; 2,0 Ti | 54...60 | | | | |

Продолжение таблицы 2.19

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|-------------------|------------|---------|--|
| ПЛ-Нп-450Х20Б7М6В2Ф (ТУ ИЭС 325-82) | 5; 11; 13 | 750...1000 | 32...36 | Рекомендуется на- плавка с колебатель- ными движениями электрода. Размах 100...500 мм |
| ПЛ-Нп-10Г2СТ (ТУ ИЭС 353-83) | 18; 19; 21; 30 | 600...900 | 28...32 | Без предварительного подогрева |
| ПЛ-Нп-350Х25С3Г3МН (ТУ ИЭС 387-83) | 1; 5; 10 | 700...1200 | | Рекомендуется на- плавка с колебатель- ными движениями электрода. Размах 100...400 мм |
| ПП-Нп-300Х22МР2Т (ТУ 14-4-80) | 4; 9; 18 | 320...380 | 30...34 | Рекомендуется на- плавка в один слой на повышенном вы- лете (50...70 мм) с поперечными коле- баниями электрод- ной проволоки. При необходимости на- плавки второго слоя нельзя допускать охлаждения предва- рительно наплавлен- ного слоя до темпе- ратуры 400 °С |
| ПП-Нп-80Х20Р3Т (ГОСТ 26101-84) | 9; 17 | 400...420 | 30...32 | |
| ПЛ-Нп-500Х40Н40СРГТ (ТУ 14-1-2942-80) | 5 | 650...900 | 30...34 | Рекомендуется на- плавка с колебатель- ными движениями электрода. Размах 100...450 мм |
| ПЛ-Нп-500Х40Н40СТРЦ (ТУ 14-1-2942-80) | | | | |

Окончание таблицы 2.19

| 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---------|---------------|--------------------|---------|---|
| 4,5 C; 20,0 Cr; 2,0 W; 6,0 Mo; 7,0 Nb; 0,8 Ti | 58...62 | Высокая | Низкое | Высокая | Шлифование. Резание только после отжига |
| 0,1 C; 1,8 Mn; 0,8 Si; 0,2 Ti | 20...26 | Низкая | | Низкая | Удовлетворительная |
| 3,5 C; 2,5 Mn; 3,0 Si; 25,0 Cr; 0,7 Mo; 1,0 Ni | 52...58 | Высокая | Удовлетворительное | Высокая | Шлифование. Резание только после отжига |
| 3,0 C; 22,0 Cr; 0,8 Mo; 1,8 B; 0,6 Ti | 56...63 | Очень высокая | | | |
| 0,8 C; 22,0 Cr; 3,0 B; 0,6 Ti | 58...67 | | Низкое | | |
| 5,0 C; 1,0 Mn; 2,5 Si; 40,0 Cr; 40,0 Ni; 0,2 B; 1,0 Ti | 48...58 | Высокая | | | |
| 5,0 C; 1,0 Mn; 2,5 Si; 40,0 Cr; 40,0 Ni; 0,2 B; 0,5 Zr | | | | | |

Ленточные ленты (электроды) позволяют повысить производительность процесса наплавки с минимальной

долей участия основного металла восстанавливаемой детали в металле слоя наплавки [29]. Сущность этого способа наплавки заключается в применении специального ленточного электрода – порошковой ленты (рис. 2.16, [55; 65]). Это даёт возможность наплавлять за один проход слой металла шириной до 100 мм. Ленточный электрод можно рассматривать как электрод, состоящий из большого количества обычных электродов малых диаметров, расположенных в один ряд.

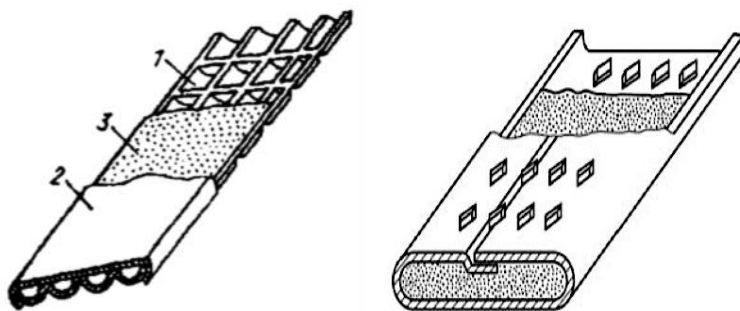


Рис. 2.16 – Конструкция порошковой ленты:

- 1 и 2 – нижняя гофрированная стальной оболочки и верхняя соответственно;
- 3 – шихта молотых порошков

В ленточном электроде дуга непрерывно перемещается по торцу в направлении ширины, что даёт равномерное и неглубокое (до 1,5 мм) проплавление основного металла восстанавливаемого изделия. Поэтому доля основного металла в наплавленном покрытии составляет от 8 до 10 %. Этот способ наряду с высокой производительностью обеспечивает ещё и высокий коэффициент наплавки, который в зависимости от типа ленты изменяется в пределах от 15 до 20 Г/а-ч.

Холоднокатаную ленту ленточных электродов можно изготовить только из пластичных деформируемых сплавов с невысоким содержанием углерода, поэтому изготавливают спеченную и порошковую ленты. Нижняя лента делается гофрированной с отдельными ячейками. Это позволяет равномерно распределить шихту в порошковой ленте и придать ленте необходимую гибкость.

Шихта для ленты готовится так же, как и для порошковой проволоки. В отдельных случаях в качестве шихты применяется сталинит.

Спеченную металлокерамическую ленту на железной основе производят из смеси металлических порошков, ферросплавов, графита и других компонентов путем холодной прокатки смеси и последующего спекания в защитной среде. Порошковую ленту изготавливают из стальной оболочки и молотых порошков. В отличие от порошковой проволоки её не подвергают волочению.

Автоматическая наплавка ленточными электродами имеет ряд преимуществ:

1. Значительно упрощается по сравнению с многоэлектродной наплавкой или с наплавкой при зигзагообразном перемещении электрода.
2. Глубина проплавления основного металла восстанавливаемого изделия (детали) весьма мала при обеспечении надёжного провара по всей наплавляемой поверхности.
3. Высокая производительность процесса наплавки ленточными электродами.

4. Имеется возможность наплавки равномерного слоя покрытия на большую площадь поверхности восстанавливаемого изделия.

Наряду с нанесением твёрдых сплавов автоматические установки с ленточными электродами используют для наплавки деталей из специальных сталей, наряду с углеродистыми и низколегированными сталями, или из цветных металлов и сплавов. Данный способ наиболее экономичный, технологичный и производительный по сравнению с прочими видами автоматической дуговой наплавки при восстановлении изношенных деталей.

Метод наплавки двойным ленточным электродом состоит в том, что при наплавке между основным металлом и ленточным электродом помещают холодную ленту из той же стали, что и электрод, но несколько меньшей ширины. На расплавление холодной ленты расходуется часть энергии дуги, в результате чего уменьшается расплавление основного слоя.

Метод наплавки двойным ленточным электродом обладает следующими преимуществами по сравнению с другими способами:

- 1) повышенной производительностью;
- 2) пониженным разбавлением плакирующего слоя (10 % толщины, тогда как другие способы дают разбавление 15–30 %);
- 3) уменьшенным расходом флюсов.

В сравнении с автоматической наплавкой обычной сварочной проволокой обладает рядом преимуществ и

способ автоматической наплавки ленточным электродом, разработанный в Институте электросварки им. Е.О. Патона.

Примеры применения автоматической наплавки ленточными электродами приведены в табл. 2.20 [66].

Таблица 2.20

**Назначение наплавки ленточными электродами,
материал ленты и марка флюса**

| Назначение наплавки | Материал ленты | Марка флюса |
|--|----------------|-------------|
| Защита деталей от коррозии | Сталь X18H9T | АН-26 |
| Покрытие медью подпятников подшипников | Медь М2 | АН-26 |
| Облицовка деталей из закаливающейся стали | Сталь 08 | АН-348 |
| Восстановление изношенных частей поверхности деталей | Сталь 65Г | АН-60 |

Примечание. Для износостойкой наплавки могут применяться легирующие флюсы в сочетании с лентой из низкоуглеродистой стали или лента необходимого состава в сочетании с флюсом АН-20 или АН-26.

Наилучшее формирование полосы наплавленного металла получается при скоростях наплавки от 10 до 16 м/ч, хорошее – при скоростях 18–24 м/ч, заметно ухудшается формирование наплавленного слоя металла при скоростях более 24 м/ч. Правильный выбор температуры предварительного подогрева изношенной детали, температуры процесса наплавки и скорости охлаждения от 10 до 30 °С/с способствует предупреждению образования трещин наплавленного покрытия. Характеристики и область применения порошковых лент даны в табл. 2.21 [67].

Таблица 2.21

Характеристики и область применения

порошковых лент

| Порошковая лента | Твёрдость наплавленного слоя, HRC после | | Условия эксплуатации наплавленных деталей |
|------------------|---|-------|--|
| | нанесения слоя | ТО*) | |
| ПЛ-101 | 52-54 | - | При абразивном и газоабразивном износе, при нормальных и повышенных температурах |
| ПЛ-111 | 48-54 | - | « - » |
| ПЛ-ЖС-2 | 30-40 | 40-50 | При абразивном, гидроабразивном, кавитационном износе |
| ПЛ-45Г5МЗБ2ФТ | 54-58 | - | В условиях ударно-усталостного нагружения при нормальных и повышенных температурах |
| ПЛ-120Х6МЗБ2ФТ | 47-49 | 52-54 | При абразивном, газоабразивном износе, при нормальных и повышенных температурах |
| ПЛ-Х18Н9С2Т | 25-27 | 36-42 | Детали плунжеров и узлов, работающих в агрессивных средах |
| ПЛ-60Х6МЗФБ2Т | 52-54 | 56-58 | В условиях ударно-усталостного нагружения при нормальных и повышенных температурах |
| ПЛ-30Х10Г10Т | 35-37 | 52-54 | То же и в условиях кавитационного износа |
| ПЛ-3Х2В8 | 25-27 | 36-42 | То же и при абразивном износе при повышенных температурах |

*) После термической обработки (ТО)

Особую группу материалов для напыления покрытий представляют гибкие порошковые шнуровые матери-

лы (ГШМ) серии «Сфекорд-Экзо», созданные в 70-е годы XX века французской фирмой «Sfec». Они представляют собой получаемый экструзией композиционный материал шнурового типа, состоящий из порошковых наполнителей и органического связующего, выгорающего при напылении покрытия – связующее сублимирует в процессе нагрева при температуре 600–650 °С без отложения на обрабатываемую поверхность. Покрытия обрабатываются шлифованием.

Свойства ГШМ:

- стойкость к абразивному износу;
- низкий коэффициент трения;
- стойкость к коррозии;
- высокая рабочая температура;
- возможность упрочнения твердыми частицами карбидов (WC);
- высокие адгезионные свойства;
- толщина от 0,5 мм до 3,0 мм.

Преимущества ГШМ:

- напыление без необходимости оплавления;
- повышенная плотность покрытий;
- стабильность физических и химических свойств, структуры покрытий из многокомпонентных порошковых смесей, широкий диапазон областей применения, в т.ч. для повышения стойкости к фреттинг-коррозии и температурным воздействиям (табл. 2.22, [68]).

Таблица 2.22

Характеристики и область ГШМ

| Материал | Хим. состав | Свойства | Применение |
|------------------|------------------------|--|---|
| Сфекорд-Экзо №20 | Ni, Cr, B, Si, Al | Плотное, прочное покрытие. Обладающее антифрикционными свойствами и стойкостью к фреттинг-коррозии. Твердость 23–27 HRC. Высокая чистота поверхности после шлифовки. | Плунжеры и поршни, опорные поверхности |
| Сфекорд-Экзо №40 | Ni, Cr, B, Si, Al + Mo | Износостойкость, композиционное покрытие самоплавляемого типа, стойкое к фреттинг-коррозии. Имеет повышенную плотность. Твердость до 42 HRC. Превосходные свойства при трении в паре с Cu- и Al-подшипниковыми сплавами. | Коленчатые валы, противозносные кольца, Плунжеры и поршни, втулки. Замена твердого хрома. |
| СфекордЭкзо №50 | Ni, Cr, B, Si, Al + WC | Композиционное покрытие, твёрдое с карбидом фольфрама для защиты от абразивного износа и температурных воздействий. Твердость до 55 HRC. | Втулки рабочих колёс, крыльчатки насосов |
| Ниалип | NiAl | Высокая прочность сцепления с чёрными и цветными металлами | Подслой для материалов серии СфекордЭкзо |
| Нихробонд-20 | NiCr | Высокая прочность сцепления при термоциклировании | Подслой при работе в агрессивных средах при термоциклировании |

Обобщенная информация о шнуровых материалах приведена в таблице 2.23 [55; 69].

Таблица 2.23

Шнуровые материалы для напыления

| Наименование материала | Химический состав порошкового наполнителя, мас. % | Размер зерен порошкового наполнителя, мкм | Твердость |
|--|--|---|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| <i>Сер. Сфекорд-керамика</i> | | | |
| Ниалид | 95,0 Ni; 5,0 Al | 40...125 | ≤ 40 HRC |
| Оксид хрома | > 50,0 Cr ₂ O ₃ ; 32,0 Al ₂ O ₃ ; 10,0 SiO ₂ ; 6,0 TiO ₂ | 16...63 | 60 HRC |
| Алюмин (корунд) | > 99,5 Al ₂ O ₃ | | 55 HRC |
| Голубой корунд | > 96,5 Al ₂ O ₃ ; 3,0 TiO ₂ | | |
| Черный корунд | 87,0 Al ₂ O ₃ ; 13,0 TiO ₂ | | |
| Нихробонд-20 | 80,0 Ni; 20,0 Cr | 40...125 | ≤ 50 HRC |
| <i>Сер. Сфекорд-рокдюр</i> | | | |
| Рокдюр 47 | Ni-Cr-B-Si; 9,0 Cr | 40...125 | 35...40 HRC |
| Рокдюр 57 | Ni-Cr-B-Si; 12,0 Cr | | 45...50 HRC |
| Рокдюр 67 | Ni-Cr-B-Si; 16,0 Cr | 40...100 | 55...62 HRC |
| Рокдюр 6740 (композиционный материал с карбидом вольфрама) | Ni-Cr-B-Si + 40 % WC (композит) | | 57...63 HRC |
| Рокдюр 6750 (композиционный материал с карбидом вольфрама) | Ni-Cr-B-Si + 40 % WC-W ₂ C | | 55...62 HRC |
| Рокдюр кобальт-45 | Co-Cr-Mo-B-Si | 16...125 | 42...48 HRC |
| Рокдюр кобальт | Co-Cr-W-B-Si | | 45...50 HRC |

Окончание таблицы 2.23

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---------------------------|----------|------------------------------|
| <i>Сер. Сфекорд-экзо</i> | | | |
| Сфекорд-экзо № 101 | Ni, Mo, Al | 40...100 | 100 HRB |
| Ниллид-экзо | Ni, Al | 40...125 | |
| Сфекорд-экзо № 10 | Cu, Ni, Cr, Al | 40...140 | ≥ 95 HRB |
| Сфекорд-экзо № 15 | Ni, Cr, B, Si, Al | 16...125 | ≥ 15 HRC |
| Сфекорд-экзо № 150 | Ni, Cr, B, Si | | |
| Сфекорд-экзо № 20 (Рокдюр 48-А) | Ni, Cr, B, Si, Al | 40...100 | ≥ 20 HRC (63...67 HRA) |
| Сфекорд-экзо № 250 | | | ≥ 25 HRC |
| Сфекорд-экзо № 30 | | | >30 HRC (65...70 HRA) |
| Сфекорд-экзо № 300 | Ni, Cr, B, Si | 16...100 | ≥ 30 HRC |
| Сфекорд-экзо № 35 | Ni, Cr, Fe, Mo, B, Si, Al | 40...100 | ≥ 35 HRC (65...72 HRA) |
| Сфекорд-экзо № 40 (Рокдюр 48-АМ) | Ni, Cr, Mo, B, Si, Al | | 28...42 HRC (65...72 HRA) |
| Сфекорд-экзо № 400 | WC, Ni, Cr, B, Si, Al | 16...100 | ≥ 40 HRC |
| Сфекорд-экзо № 50 | | | |
| Сфекорд-нихром | Ni, Cr, Mn | 40...125 | ≥ 95 HRB |
| Сфекорд-нихром 2 (инконель) | Ni, Cr, Fe, Si | | ≥ 90 HRB |
| Сфекорд-бронза №1 | Cu, Al, Fe | 40...140 | ≥ 75 HRB |
| Сфекорд-бронза №2 | Cu, Pb, Zn, Sn | 40...125 | |
| Сфекорд-бронза №3 | Cu, Al, Fe, Ni | 40...140 | ≥ 80 HRB |

Контрольные вопросы

1. К какой группе сталей относятся сварочные проволоки марок Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА?
2. Электроды каких марок имеют рутиловое покрытие?
3. Укажите правильное подразделение электродов по типу покрытия по ГОСТ 9466?
4. Укажите требования, предъявляемые к качеству подготовки поверхности восстанавливаемых деталей перед наплавкой?
5. Какой тип прутков используется для наплавки?
6. Какой тип флюсов используется для наплавки?
7. Какие порошки используются для наплавки?
8. Какие порошковые проволоки применяются для наплавки?
9. Какие виды электродных лент используются для наплавки?
10. Какие виды ленточных электродов применяются для наплавки?
11. Что представляют собой плавные карбиды вольфрама (релиты)?
12. К каким сплавам относится Сармайт?
13. Расшифруйте состав наплавочного электрода:
Э-15Х28Н10СЗ-М2ГТ ?
14. Расшифруйте состав спеченой ленты ЛС-5Х4ВЗФС?

Глава 3. НАПЛАВКА ПОКРЫТИЙ

3.1. Определение и общая характеристика способа

Наплавка покрытий – это процесс нанесения покрытия из расплавленного материала на разогретую до температуры плавления поверхность восстанавливаемой детали. По своей сути наплавка – это один из видов сварочных технологий, т.к. она основана на тех же физических и технологических принципах, что и традиционные виды сварки. С помощью этой технологии можно наплавлять на рабочие плоскости стальных конструкций металлы различного химического состава, в том числе медь, бронзу, чугун, а также никелевые, кобальтовые и хромовые сплавы. Получаемые наплавкой покрытия характеризуются отсутствием пор, высокими значениями модуля упругости и прочности на разрыв. Технология наплавки позволяет получить не только требуемые физические и химические характеристики наплавленного слоя, но и добиться надежного сцепления наносимого металла с основой. Первое достигается правильным подбором сварочных материалов, а второе – качественной подготовкой базового изделия и точным соблюдением технологических режимов. 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 – в основном для проведения последующих работ по восстановлению расположения, формы и размеров изношенных элементов.

Восстановительная наплавка при этом обеспечивает также получение новых свойств поверхностей: коррозионной, эрозионной, кавитационной износо-, жаростойкости и др.

Наплавка изношенных поверхностей занимает ведущее место вследствие своей универсальности.

Сущность наплавки состоит в равномерном нанесении полос расплавленного металла на поверхность детали так, чтобы они соединились в сплошной металлический слой заданной толщины. При нанесении защитного покрытия он может составлять от десятых долей миллиметра до десяти миллиметров. В последнем случае должна быть обеспечена толщина припуска, достаточная для механической обработки детали (обточки, расточки или фрезеровки) до требуемого размера. Перед механообработкой наплавленный слой, как правило, отжигают, а после подвергают закалке с отпуском.

Задача, решаемая при наплавке покрытий – получить покрытие без пор, необходимой толщины, прочно соединенное с поверхностью детали, нужного химического состава с заданной структурой. Технология наплавки должна обеспечивать как качество наплавленного слоя, так и минимальное воздействие на металл базовой детали, чтобы избежать ее деформации.

Разные способы наплавки имеют различные скорости обработки и отличаются расходом сварочных материалов на единицу наплавленного металла. Каждый из них характеризуется собственным соотношением качества с производственными и экономическими показателями.

Способы наплавки подразделяют на группы в зависимости от видов применяемых источников тепла, характера легирования и способа защиты формируемого покрытия от влияния кислорода и азота воздуха.

Большинство наплавочных технологий ориентированы на работу с изделиями из стали, в том числе с нанесением на нее покрытий из цветных металлов. Как правило, среди них выделяются следующие виды:

- электродуговая;
- вибродуговая;
- газопламенная;
- плазменная;
- лазерная;
- индукционная;
- электрошлаковая;
- электроискровая.

Важной характеристикой процесса является производительность наплавки (табл. 3.16, [70]), которая измеряется массой металла или площадью поверхности, наплавляемых в единицу времени (кг/ч; м²/ч).

Наибольшее распространение в ремонте при нанесении покрытий получили способы ручной и механизированной электродуговой наплавки:

- под флюсом;
- в среде защитных газов;
- вибродуговая.

Отдельной разновидностью этих технологий наплавки покрытий является наплавка баббитами, которая

производится при температурах 300–400 °С с использованием газопламенного нагрева.

Таблица 3.1

Сравнительная характеристика некоторых способов наплавки

| Способ наплавки | Производительность, кг/ч | Доля основного металла, % | Толщина наплавленного слоя, мм |
|--|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Газовая с присадкой прутков или проволоки | 0,5–1,5 | 1 | 0,8–5,0 |
| Газопорошковая | 0,5–3,0 | 1 | 0,3–3,0 |
| Аргоно-дуговая неплавящимся электродом | 1,0–7,0 | 10–30 | 2,5–5,0 |
| Плавящимся электродом в защитном газе | 1,5–9,0 | 30–60 | 3,0–5,0 |
| Ручная дуговая, покрытыми электродами | 0,8–3,0 | 20–50 | 2,0–5,0 |
| Под флюсом одной проволокой | 2–12 | 30–60 | 3,0–5,0 |
| Под флюсом многоэлектродная | 5–40 | 15–30 | 5,0–8,0 |
| Под флюсом лентой | 5–40 | 10–20 | 2,5–5,0 |
| Дуговая самозащитной проволокой | 2–9 | 25–50 | 2,5–5,0 |
| Дуговая самозащитной лентой | 10–20 | 15–40 | 2,5–5,0 |
| Электрошлаковая двумя электродными лентами | 10–60 | 5–15 | 1,5–5,0 |
| Электрошлаковая электродными проволоками | 20–60 | 10–20 | 6,0–50 |
| Электрошлаковая зернистым присадочным материалом | 20–200 | 5–10 | 15,0–50 |
| Плазменная порошком | 0,8–6,0 | 5–15 | 0,3–6,0 |
| Индукционная | 2–15 | 5–15 | 0,4–3,0 |

3.2. Электродуговая наплавка

3.2.1. Основные особенности и условия технологии дуговой наплавки

Электродуговая наплавка при восстановлении работоспособности деталей машин остаётся актуальной и продолжает широко применяться даже несмотря на общую склонность к автоматизации. Главное, что она позволяет с достаточной равномерностью нанести на поверхность изношенной составляющей поверхности восстанавливаемой

детали слои металла с необходимыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами, в т.ч. в труднодоступных местах, куда не забраться при помощи техники, и выполнить тем самым ремонт необходимого изделия.

Чаще всего для наплавления металла применяют традиционное электродуговое оборудование. При ручной дуговой наплавке это стандартные выпрямители и инверторы постоянного тока, подключенные плюсом на электрод, а минусом – на деталь (рис. 3.1, [71]). Такая схема включения используется для снижения глубины проплавления и общего нагрева изделия.

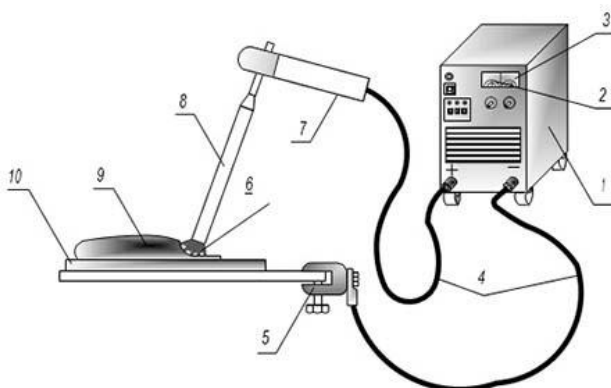


Рис. 3.1 – Схема ручной электродуговой наплавки:
1 – источник питания; 2 – вольтметр; 3 – амперметр;
4 – сварочные кабели; 5 – электродный зажим; 6 – сварочная дуга; 7 – электрододержатель; 8 – электрод;
9 – присадочный металл; 10 – основной металл

Основные условия и особенности технологии наплавки дуговой сваркой для её проведения:

– Перед выполнением процедуры наплавки изношенная составляющая поверхности восстанавливаемой детали должна быть тщательно зачищена – так, чтобы на ней не

оставалось ни малейшего следа ржавчины, ни одного жирного пятна.

– Подбор электродов осуществляют в зависимости от того, в каких условиях эксплуатируется восстанавливаемое изделие. Электродное покрытие служит для защиты ванны жидкого металла от кислорода и азота воздуха, стабилизации дуги, повышения технологичности процесса наплавки и введения легирующих элементов в состав наплавленного металла. Применяют следующие виды электродного покрытия:

– ильменитовое с содержанием более 30% ильменита ($\text{FeO}\cdot\text{TiO}_2$);

– высокоцеллюлозное, содержащее 20–30 % целлюлозы;

– карбонатно-рутиловое; основное (фтористо-кальциевое), основными компонентами которого являются карбонат кальция и флюорит;

– высокорутиловые с содержанием до 35 % рутила (TiO_2).

Процесс выполнения наплавочных работ сопровождается нанесением валиков. Применять их следует поочередно – так, чтобы предыдущий перекрывался последующим на 0,3–0,5 ширины (рис. 3.2, [72]). При большом шаге наплавки доля основного металла в шве велика, и необходимая твердость наплавленного слоя не обеспечивается. С уменьшением же шага наплавки уменьшается переход примесей из основного металла в шов, и химиче-

ский состав наплавленного металла становится близким к составу электродной проволоки.

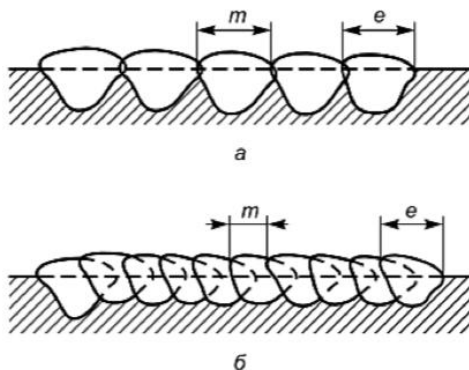


Рис. 3.2 – Схема наплавки валиков при разной величине шага наплавки:

а – большой шаг; б – малый шаг;
m – шаг наплавки; e – ширина шва

Можно накладывать наплавочные валики так называемым методом поперечных колебаний – точно так же, как при увеличении сварочного шва.

Для наплавки используют электроды диаметром 3–6 мм. При толщине наплавленного слоя покрытия менее 1,5 мм применяют электроды диаметром 3 мм, при большей – диаметром 4–6 мм. При увеличении диаметра электрода уменьшается глубина проплавления и увеличивается ширина наплавленного валика. Допустимо и создание промежутков с дальнейшим их заполнением (после снятия шлака и зачистки).

Главное, чтобы в итоге вся изношенная поверхность была равномерно покрыта слоем, восстанавливающим её исходную геометрию.

Если сравнивать технологию наплавки с классической соединительной сваркой, ручная наплавка металла обладает одним важным отличием: в её случае наносимый материал может серьезно отличаться от основного по своему химическому составу. Поэтому важно правильно подобрать электроды – так, чтобы они помогали обеспечить подходящую структуру (однородную и прочную). Когда достичь этого не удаётся, стоит отдавать предпочтение другим решениям, например, нанесению легирующих порошковых, пастообразных, брикетных примесей или погружению в защитную газовую среду. При этом может применяться различная техника, в том числе и автоматическая. Но во всех ситуациях необходимо минимизировать остаточные напряжения, деформации и допуски.

Ручная дуговая наплавка далеко не единственная из актуальных технологий. Другие варианты дуговой наплавки тоже заслужили право на популярность:

- под флюсом с использованием проволок – одной или нескольких, порошковых или сплошных, ленточных или круглых по своему сечению;

- в защитном газе с погружением в среду из водорода, азота, аргона, когда происходит некоторая переоценка производительности труда – её измеряют по размерам, площади или массе нанесенного материала;

- вибродуговая с воздействиями на электрод колебаний с амплитудой в 0,75–1,0 его диаметра, что позволяет убыстрить процесс и добиться более равномерного распространения восстанавливающего слоя;

– открытой дугой с выполнением наплавки без использования газовой среды или флюса достаточно универсальным механизированным путем, который дает возможность восстанавливать даже сложные, вогнутые или выпуклые поверхности, малые диаметры и может быть задействован на упрочнение изделий, подверженных стабильно высоким нагрузкам.

3.2.2. Ручная дуговая наплавка: ГОСТ и технические условия

В результате выполнения ручной дуговой наплавки нанесенный материал может обладать теми же свойствами, что и основной, или другими, изменяя таким образом эксплуатационные характеристики детали. Все зависит от марки используемых электродов.

Как проходит процесс наплавки? Ручную дуговую наплавку выполняют с применением плавящихся или неплавящихся (графитовых, угольных, вольфрамовых, гафниевых) электродов.

Ручная дуговая наплавка с применением плавящихся электродов

В стандартных ситуациях предпочтение отдается стержням (электродам) «Э» и «Ф» типа. Особенно интересны варианты электродов из серий У и УОНИ с фтористо-кальциевым покрытием, основными компонентами которого являются карбонат кальция и флюорит; высокорутиловые с содержанием до 35 % рутила (TiO_2). Они дают мелкозернистый наплавочный слой покрытия, отличающе-

гося высокими показателями ударной вязкости, а это залог отсутствия трещин.

Благодаря простоте применения для восстановления деталей любой формы и другим достоинствам ручная дуговая наплавка плавящимися (покрытыми) электродами является наиболее распространенным способом наплавки. Обычно для этого вида наплавки используют электроды диаметром 3–6 мм, что зависит от геометрических размеров наплавляемых деталей и требуемой толщины наплавляемого слоя: при толщине слоя менее 1,5 мм применяют электроды диаметром 3 мм, при толщине слоя более 6 мм и крупных деталях – диаметром 6 мм. Чтобы меньше расплавлять основной металл, наплавку следует вести короткой дугой при минимальном токе. Кратеры необходимо тщательно заваривать. Производительность ручной наплавки составляет 0,3–2,0 кг/ч.

Технология ручной дуговой наплавки стали зависит от химического состава конструкционного материала подвергаемой восстановлению детали. Если доля углерода в нем не более 0,25%, производить работу можно при любой температуре. Но чем выше процент углерода, тем вероятнее появление закалочных структур в точках термического воздействия. Поэтому восстанавливаемые изделия, содержащие 0,25–0,5 % углерода, необходимо подогреть до температуры 120–350 °С.

Сколько слоев делать при наплавке? Это зависит от той общей толщины, которую нужно соблюсти. Важно добиться правильности их распределения – чтобы новый

слой шел по верхней трети предыдущего, т.к. именно в этом сечении меньше всего пор и посторонних включений, а значит оно лучше всего подходит для создания прочного шва.

При каком токе осуществляется ручная сварка и наплавка деталей? На это влияет целый ряд факторов, в частности, марка и диаметр выбранного электрода, количество, масса и высота итогового покрытия. Чем изделие миниатюрнее, тем меньше должен быть ампераж, и наоборот. Наплавку обычно ведут постоянным током, обеспечивающим высокую стабильность процесса. Сила сварочного тока при наплавке зависит от скорости подачи электрода. С увеличением скорости подачи возрастает сила сварочного тока, а следовательно, и производительность наплавки. Однако с возрастанием силы сварочного тока увеличивается глубина проплавления и доля основного металла в наплавленном. Кроме того, образуются узкие и высокие валики, ухудшается формирование наплавленного шва. Поэтому сила сварочного тока ограничивается условиями качества наплавки. Для обеспечения минимального проплавления основного металла при достаточной устойчивости дуги плотность тока должна составлять 11–12 А/мм².

Возникающие в процессе наплавки деформации восстанавливаемой детали можно уменьшить, для чего достаточно принимать одно или несколько (по ситуации) из следующих рациональных решений:

- подогреть деталь до 200–400 °С и сохранять такую температуру до завершения процесса наплавки: предварительный подогрев обрабатываемой детали снижает склонность наплавленного металла к образованию трещин;
- изгибать изделие (деталь) в обратном направлении;
- погрузить предмет в воду, но не смачивать рабочую поверхность восстанавливаемой детали;
- симметрично располагать валики, уравновешивая тем самым силовые воздействия (рис. 3.3, [73]);
- жестко фиксировать заготовку в кондукторе или аналогичном приспособлении – так, чтобы извлечь ее можно было только по завершении остывания;
- правильно распределять присадку по проблемным участкам, допустим, по спирали, с наложением с обратной стороны, с разбивкой больших плоскостей;
- наплавленные детали следует медленно охладить;
- снимать внутренние напряжения при помощи высоко-температурного отпуска – с термической обработкой при 650 °С.

Цель термической обработки наплавленных деталей после их наплавки заключается в устранении внутренних напряжений или, по меньшей мере, их нивелировании и получении металла покрытия с оптимальной структурой, а также требуемым уровнем физико-механических свойств.

Формирование валиков наплавочного слоя с применением плавящихся происходит благодаря взаимодействию наносимого материала и основного металла поверхностного слоя восстанавливаемой детали (рис. 3.4,

[74]). При использовании неплавящихся электродов наплавочный слой образуется за счёт проплавления присадки (см. рис. 3.1 на стр. 112).

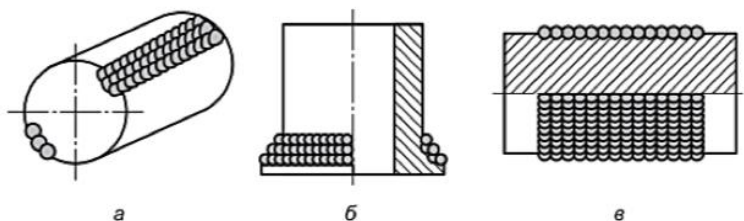


Рис. 3.3 – Схема выполнения наплавки:

а – наплавка вала по образующей; *б* – наплавка вала по спирали горизонтальным швом на вертикальной плоскости; *в* – наплавка вала по спирали горизонтальным швом в нижнем положении

Вариант ручной дуговой наплавки с применением плавящихся электродов популярнее, т.к как его можно реализовать в любом пространственном положении, и он подходит для изделий и деталей какой угодно формы.

Для получения минимальной глубины проплавления основного металла электрод наклоняют в сторону, обратную направлению наплавки.

Покрытие стержней электродов может быть самым разным. По входящим в него веществам покрытия разделяют на следующие группы:

- рудно-кислое (Р);
- рутиловое (Т);
- фтористо-кальциевое (Ф);
- органическое (О) и др.

На практике наиболее распространены рудно-кислое (ОММ-5, ЦМ-7, ЦМ-8 и др.), рутиловое (АНО-1, АНО-3, АНО-4, АНО-12, ОЗС-3, ОЗС-4, ОЗС-6 и др.) и фтористокальциевое покрытия (УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, ЦЛ-9, ОЗС-2, АНО-7 и др.).

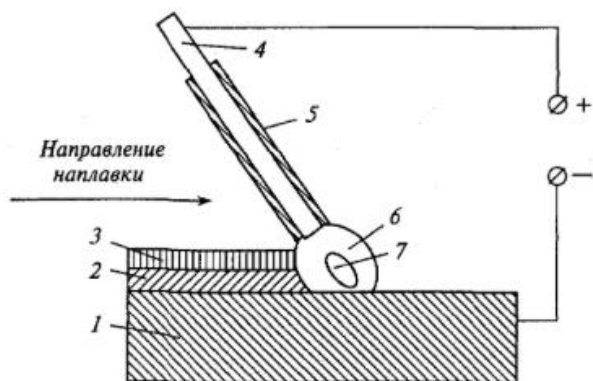


Рис. 3.4 – Схема ручной дуговой наплавки:
 1 – основной металл; 2 – наплавленный металл;
 3 – шлаковая корка; 4 – электродный стержень;
 5 – покрытие электродного стержня; 6 – газ-шлаковая защита; 7 – сварочная ванна

В настоящее время в России разработано более 70 марок наплавочных электродов. Покрытия электродов классифицируются по химическому составу наплавляемого металла. Каждому типу наплавленного металла может соответствовать несколько марок электродов, отличающихся составом стержня, покрытия и технологическими свойствами. К электродам, рекомендуемым для применения в наплавочных работах, относятся электроды марок ОЗН-250У, ОЗН-350У, ОЗН-400У, ОЗИ-3, ОЗШ-1, УОНИ-13/45, ВСН-10, ВСН-6 и ЭН-60М.

В состав рудно-кислого покрытия стержня электрода входят алюмосиликаты, оксиды и раскислители. Когда его составляющие начинают плавиться, выделяется защитный газ. Наплавка сваркой может осуществляться как под постоянным, так и под переменным током. В обоих случаях поверхность детали подвергается активному воздействию углерода, из-за чего ванна кипит (но это самым положительным образом влияет на качество наплавки). Валик слоя наплавочного слоя получается ровным и плотным, даже если наплавка проводится по ржавчине или окалине. Но наплавочный материал зачастую сильно разбрызгивается в процессе формирования валиков слоя покрытия, из-за чего в атмосферу выделяются вредные марганцевые соединения и наблюдается склонность к скорому появлению кристаллизационных трещин. Эти недостатки несколько ограничивают применение электродов марок ОММ-5, ОМА-2, ЦМ-7 и других из этой же группы.

Основное в составе покрытия стержня электрода – это плавиковый шпат, раскислители, мрамор, легирующие добавки вроде ферромарганца. При нагреве происходит диссоциация карбонатов и таким образом обеспечивается газошлаковая защита. Вследствие этого применение ручной дуговой наплавки с использованием стержней из серий УОНИ, ОЗС, ВН, ВСОР достаточно эффективно, т.к. позволяет получить восстанавливающий слой с малым количеством вредных примесей, но зато с высокой ударной вязкостью и пластичностью (даже при минусовых температурах), стойкий к старению и образованию трещин. Это ва-

риант для восстановительной наплавки деталей из низколегированных, углеродистых, литых сталей.

В обеспечение снижения вероятности появления кристаллизационных трещин при наплавке покрытий следует учитывать, что порообразование серьезным образом возрастает, если:

- увеличить длину дуги;
- на контактной поверхности восстанавливаемой детали имеют место влага, масло, ржавчина, окалина.

Выполнять наплавку следует на тщательно подготовленной изношенной части поверхности восстанавливаемой детали при постоянном токе, причем полярность его должна быть обратной. Переменный ток можно подключать только при введении легкоионизирующих элементов в покрытие стержня электрода (т.е. кальцинированной соды, калиевого жидкого стекла, поташа и других добавок).

Использование стержней из серии ОЗС, АНО, МР, т.е. рутилового вида, в составе которых – алюмосиликаты, ферромарганец и целлюлоза, помогает из-за более интенсивной газовой защиты формировать ровный, плотный слой покрытия при малом разбрызгивании и образовании пор, хорошей отделимости шлака. Такие электроды нуждаются в предварительной прокалке в течение 2–2,5 часов при температуре в 80–120, 200–250 или даже 300–350 °С.

Ручная дуговая наплавка применяется не только с использованием плавящихся электродов.

Ручная дуговая наплавка

с применением неплавящихся электродов

Важной разновидностью ручной дуговой наплавки является её разновидность – наплавка неплавящимся (графитовым, угольным, вольфрамовым, гафниевым) электродом, преимущественно угольным электродом с использованием порошковых смесей для создания упрочняющих поверхностных слоев (рис. 3.5, [75]). В этом случае для обеспечения устойчивого плавления металла в присадочном порошке применяют включение с прямой полярностью (плюс на детали), повышающее нагрев поверхностного слоя восстанавливаемого изделия.

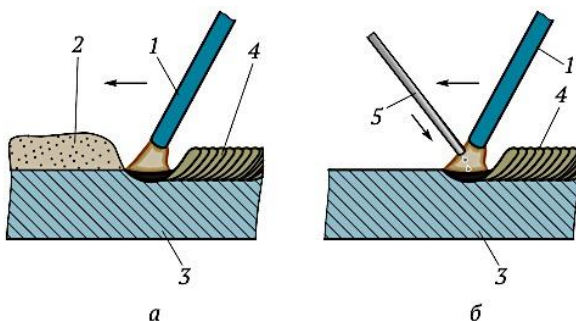


Рис. 3.5 – Схема ручной дуговой наплавки неплавящимся электродом:

а – угольным (графитовым) электродом с расплавлением слоя сыпучего зернистого наплавочного сплава; *б* – угольным (графитовым) электродом в защитных инертных газах с подаваемым в дугу присадочным прутком; 1 – угольный (графитовый) электрод; 2 – сыпучий зернистый сплав; 3 – наплавляемая деталь; 4 – наплавленный слой; 5 – присадочный металл; ← направление наплавки

При дуговой наплавке с использованием угольных плавящихся электродов дуга горит между угольным или

графитовым электродом и наплавляемым изделием. Так как угольный или графитовый электрод имеет близкие по значению температуры плавления (3800 °С) и кипения (4200 °С), то плавления угольного (графитового) электрода при наплавке не наблюдается, т.к как происходит его испарение. Расход угольного электрода при наплавке составляет лишь несколько миллиметров в минуту, а длина дуги достигает 12–15 мм. Небольшие колебания длины дуги в несколько миллиметров на качество наплавки не влияют.

Наплавка угольным электродом производится на постоянном токе прямой полярности (минус на электроде). При сварке на обратной полярности электрод сильно разогревается на большой длине, его испарение увеличивается и острый конец быстро притупляется. Дуга при обратной полярности неустойчива и не может быть растянута более чем на 12 мм. При прямой полярности угольная дуга длиной более 4 мм не производит науглероживания расплавленного металла, содержание углерода в нем даже несколько уменьшается за счет выгорания. При обратной полярности, наоборот, происходит сильное науглероживание наплавляемого металла.

Наплавку угольным электродом на переменном токе не применяют вследствие малой устойчивости дуги.

Ручная дуговая наплавка угольным электродом производится с использованием наплавочных смесей (см. рис. 3.5, а) или дополнительного присадочного металла (см. рис. 3.5, б). Порошкообразные наплавочные материалы представляют собой механическую смесь зерен металлов,

ферросплавов и металлических соединений с углеродом. Химический состав некоторых из них и твёрдость при однослойной наплавке приведены в табл. 3.2 [76].

На очищенную поверхность основного металла восстанавливаемой детали наносятся слой прокаленной буры толщиной 0,2–0,3 мм и слой порошкообразного материала, толщина которого должна быть в 2–3 раза больше необходимой толщины наплавляемого слоя. Смесь расплавляют угольным или графитовым электродом диаметром 8–20 мм. Дуга возбуждается на основном металле, затем переносится на порошкообразный материал; при поступательно-зигзагообразном движении электрода происходит одновременное расплавление шихты и основного материала изношенной поверхности восстанавливаемой детали.

Таблица 3.2

Химический состав и твёрдость порошкообразных наплавочных материалов при однослойной наплавке

| Материал | Содержание элементов | | | | | | HRC |
|----------|----------------------|-----|-------|-------|-------|--------|-----|
| | C | Si | Mn | Cr | W | Fe | |
| Сталинит | 8,0–10,0 | 3,0 | 13–17 | 16–20 | – | 50–60 | 77 |
| Вокар | 9,5–10,5 | 0,5 | – | – | 85–87 | До 0,2 | 84 |
| Релит | 5,0 | – | – | – | 95 | – | 88 |

За один проход рекомендуется наплавлять слой толщиной не более 2 мм и шириной не более 50 мм. Ввиду хрупкости и опасности отколов общая толщина слоя, наплавляемого этим способом, не должна превышать 6 мм.

Отсутствие защиты расплавленного металла от воздуха приводит к частичному окислению легирующих при-

месей, образованию пор, неметаллических включений и других дефектов.

Ручная дуговая наплавка угольным неплавящимся электродом с присадочным металлом (см. рис. 3.5, б на стр. 125) осуществляется на тех же режимах наплавки, что и с применением наплавочной смеси, только присадочный металл подается в зону дуги сбоку. В качестве присадочного металла могут использоваться литые твёрдые сплавы и наплавочная проволока, дающая необходимый по составу наплавленный металл.

Литые твердые сплавы – это сплавы элементов W, Cr, Ni, Si, C с кобальтом (стеллиты марок В2К и В3К), а также элементов Cr, Ni, Mn, Si, C с Fe (сормайт 1 и сормайт 2).

Выбор в качестве присадочного металла наплавочной проволоки необходимого химического состава зависит от требований к служебным характеристикам наплавляемой поверхности. Например, для восстановления слаботонагруженных деталей машин (муфт и некоторых др.) часто применяют в качестве наплавочных материалов углеродистые и низколегированные проволоки марок 15Г2С, 08Г и 25Х3.

В целях повышения производительности способа ручной дуговой наплавки иногда применяют наплавку пучком электродов, ленточных лент, а также трехфазной дугой. Эти приемы пригодны только в нижнем положении: они повышают производительность по сравнению с наплавкой одним электродом, однако часто в таких случаях более целесообразно использование механизированной

наплавки. В составе механизированного (автоматизированного) наплавочного оборудования обычно используют сварочные полуавтоматы с подачей сплошной или порошковой проволоки (лент), позволяющей вести работу под флюсом. Такие установки имеют высокую производительность и обеспечивают высокое качество наплавленной поверхности. Основному процессу предшествует зачистка металла с помощью прямошлифовальной машинки и разогрев места наплавления газовой горелкой. В качестве присадочного материала используется также наплавочная проволока с омеднением.

*Ручная дуговая наплавка
плавящимся электродом под флюсом*

Наплавка под слоем флюса представляет собой процесс, во время которого сварочная дуга между сварочным электродом и металлической деталью защищается с помощью слоя предварительно расплавленного флюса – толщина слоя при этом может колебаться от 20 до 40 миллиметров (рис. 3.6, [77]). Стоит отметить, что до расплавленного состояния флюс доводится при помощи той же сварочной дуги. Такая защита необходима для того, чтобы оградить металл от воздействия окружающего воздуха, предотвращая, таким образом, возникновение окисления металла кислородом. Слой флюса выполняет и еще одну задачу – он не позволяет расплавленному металлу разбрызгиваться и сохраняет тепло. Таким образом, флюс позволяет добиться экономии металла и повышает произво-

дительность процесса ручной дуговой наплавки защитных покрытий плавящимся электродом под флюсом.

При проведении наплавки под слоем флюса, как правило, в качестве электрода выступает сварочная проволока, не имеющая покрытия. Диаметр проволоки выбирается в зависимости от задач, поставленных перед сварщиком, и может варьироваться от 1 до 6 мм.

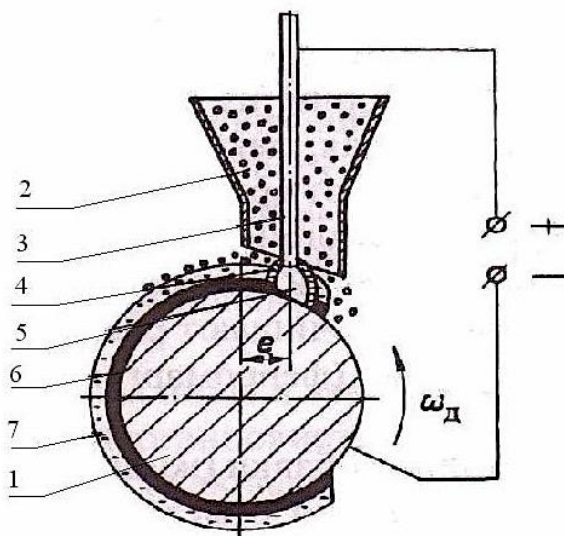


Рис. 3.6 – Наплавка цилиндрической детали под слоем флюса:

1 – изделие; 2 – бункер с флюсом; 3 – электродная проволока; 4 – расплавленный флюс; 5 – сварочная дуга; 6 – слой наплавки; 7 – шлаковая корка

Что касается вида тока, используемого при наплавке плавящимся электродом под слоем флюса, то чаще всего здесь применяется ток с обратной полярностью – плюс от источника электрического тока подается на сварочную

проволоку, а минус – на наплавляемую поверхность изделия.

С целью удержания расплавленного металла ванны и жидкого шлака бункер с флюсом и электродной проволокой устанавливается с некоторым смещением «е» конца электродной проволоки с зенита, а для удержания флюса применяют специальное флюсоудерживающее приспособление в виде насадки-воротника специальной формы в виде мундштука (рис. 3.7, [78]).

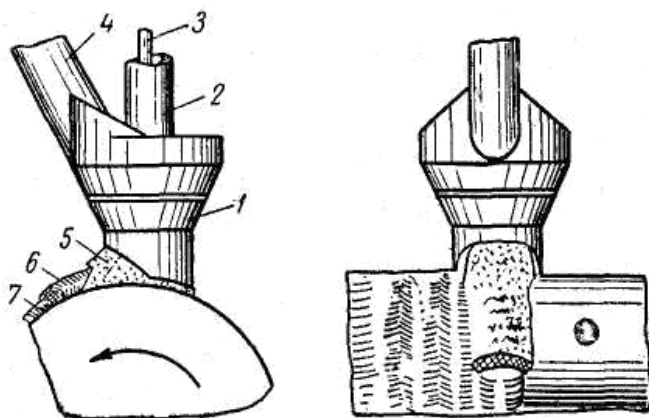


Рис. 3.7 – Флюсоудерживающее приспособление:
1 – воронка; 2 – мундштук автомата; 3 – электродная проволока;
4 – рукав для подачи флюса; 5 – слой флюса; 6 – слой шлаковый;
7 – наплавленный валик

Величина смещения «е» зависит от диаметра наплавляемой детали и параметров режима наплавки и принимается от 10 мм и более. Окружная скорость выбирается от 10 до 50 м/ч. Чем меньше диаметр электрода, тем меньше следует выбирать скорость наплавки. Шаг наплав-

ки определяется в зависимости от желательной толщины слоя, тока и напряжения в пределах от 3 до 12 мм. Сила тока для наплавки и диаметр электродной проволоки устанавливаются в зависимости от диаметра наплавляемой детали.

Для того, чтобы повысить производительность этого метода, часто используют подачу сразу двух и более проволок в зону наплавки с помощью двух полуавтоматических приспособлений или ленточные электроды (рис. 3.8, [79]).

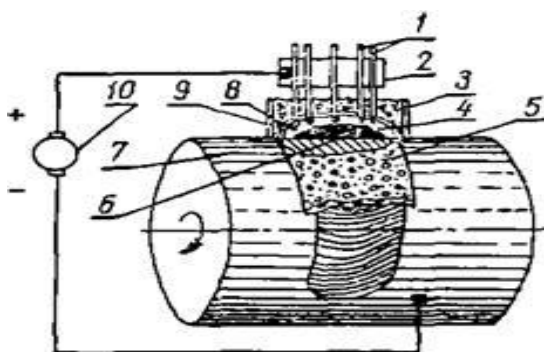


Рис. 3.8 – Схема многоэлектродной наплавки:

- 1 – электроды; 2 – токопроводящий контакт; 3 флюс;
- 4 – дуга; 5 – шлаковая корка; 6 – наплавленный металл; 7 – деталь; 8 – газовый пузырь; 9 – эластичная оболочка расплавленного флюса; 10 – источник тока

Многоэлектродная наплавка (МЭН) относится к широкослойным способам дуговой механизированной наплавки. Сущность способа МЭН заключается в том, что несколько электродов, расположенные по фронту в одну линию на некотором расстоянии один от другого, подаются параллельно и одновременно в зону дуги. Причем все

электродные проволоки подключены к одному полюсу источника сварочного тока и подаются в зону формирования общей ванны расплавленного металла.

Размеры сварочной ванны при наплавке несколькими электродами с общим подводом тока определяются главным образом величиной силы тока, приходящейся на один электрод. На рис. 3.9 показана форма сварочной ванны при наплавке на одинаковых параметрах режима одним, двумя и тремя электродами [80]. Увеличение числа электродов при неизменной силе тока позволяет уменьшить глубину проплавления основного металла, увеличить ширину и сократить длину сварочной ванны. Изменение формы ванны, достигаемое таким путем, используется при многоэлектродной наплавке плоских поверхностей или тел вращения большого диаметра.

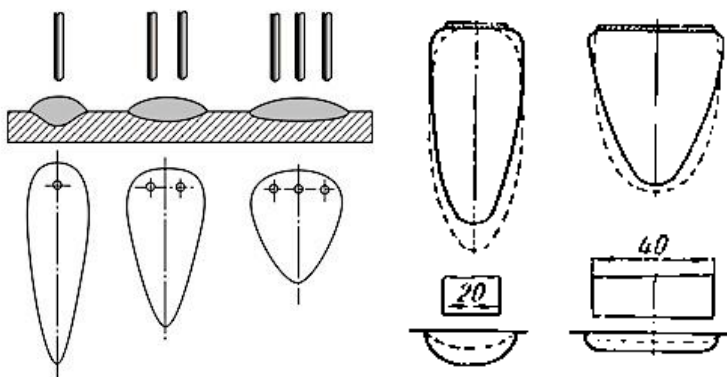


Рис. 3.9 – Форма ванны жидкого металла (в плане и максимальном поперечном сечении) при наплавке проволоками и лентой различной ширины на одинаковом режиме: ток 720 А, напряжение 32 В, скорость сварки 12 м/ч

Технологические возможности МЭН выше, чем у одноэлектродной наплавки: глубина и равномерность проплавления, благоприятные условия легирования наплавленного металла через флюс и в связи с этим более высокая однородность структуры наплавленного металла. При этом производительность МЭН, по сравнению с одноэлектродной наплавкой, увеличивается в 2–3 раза. Присущие процессу МЭН технологические достоинства могут быть реализованы исключительно только при оптимальном сочетании параметров режима и условий наплавочного процесса, для определения которых на первом этапе можно применять расчетный метод.

Дуговая наплавка под флюсом занимает лидирующие позиции среди всех видов наплавки металла, благодаря тем преимуществам, которыми она обладает. К основным достоинствам наплавки под слоем флюса можно отнести:

- высокую производительность труда. Особенно хорошо это достоинство проявляется в тех случаях, когда производится наплавка на большую площадь поверхности изделия, обладающего достаточно простой формой;

- невысокую сложность процесса. Наплавка под слоем флюса не требует высокой квалификации от сварщика, поэтому для ее производства не требуется искать специалиста, обладающего большим опытом именно в этом спектре сварочных работ;

- высокое качество работы. При применении наплавки под слоем флюса внешний вид валика из наплавленного

металла обладает отличными эстетическими характеристиками, что имеет большое значение для внешнего вида всей детали. Кроме того, получаемый в результате наплавки валик обладает высокой прочностью и надежностью и прекрасно проявляет себя в ходе дальнейшей эксплуатации изделия;

- высокую безопасность работы сварщика. Скрытие сварочной дуги под слоем флюса позволяет избежать разбрызгивания расплавленного металла, что значительно повышает безопасность рабочего, предотвращая возможность получения ожогов.

Вместе с несомненными достоинствами наплавка металла под слоем флюса имеет и определенные недостатки. И основными минусами этого вида наплавки можно считать:

- высокую стоимость оборудования. Как правило, оборудование, применяемое в ходе наплавки под слоем флюса, стоит дороже, чем оборудование для ручной дуговой наплавки с применением стержневых электродов с покрытием;

- большую зону нагрева, из-за чего этот вид наплавки не может быть применен в тех случаях, когда требуется наплавка металла на мелкие изделия, особенно в том случае, если эти изделия обладают достаточно сложной формой;

- часто к недостаткам этого вида наплавки относят и тот факт, что он снижает усталостную прочность металличе-

ской детали, причем показатель снижения прочности металла может в некоторых случаях достигать 40 %.

И все же, несмотря на все недостатки, наплавка металла под слоем флюса продолжает оставаться самым распространенным способом наплавки, так как позволяет существенно экономить ресурсы – и не только сам металл, но и энергетические ресурсы предприятия, что, в свою очередь, приводит к снижению стоимости получаемых в результате применения этого способа наплавки изделий.

В общем случае при наплавке под флюсом (рис. 3.10, [81]) дуга горит между электродом и изделием, к которому подведен ток, и образует на поверхности изделия ванночку расплавленного металла.

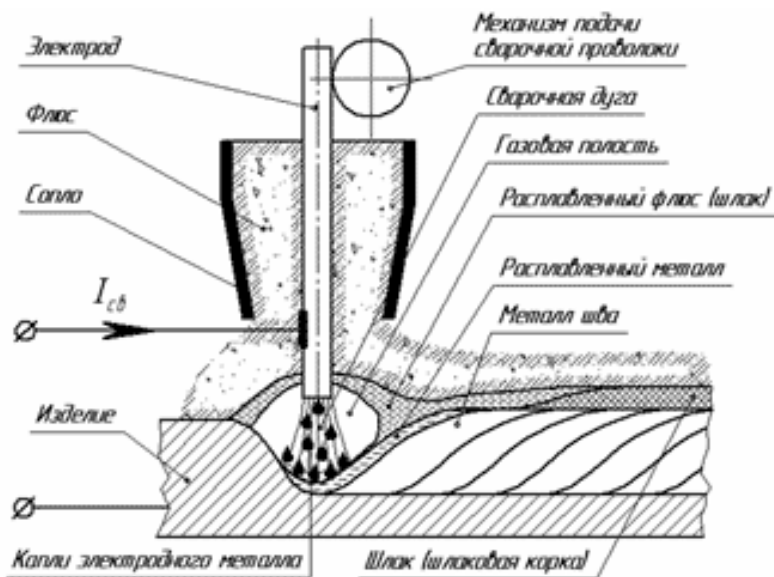


Рис. 3.10 – Схема наплавки под флюсом

Наплавляемый участок подвергаемой восстановлению поверхности изношенной детали покрывает толстый слой сыпучего флюса. Дуга частично расплавляет флюс и горит внутри полости с эластичной оболочкой из расплавленного флюса – шлака. Расплавленный шлак надежно изолирует жидкий и перегретый металл от газов воздуха, предупреждает разбрызгивание и способствует сохранению тепла дуги. После затвердевания металла образуется наплавленный валик, покрытый шлаковой коркой и нерасплавившимся флюсом.

Для электродуговой сварочной наплавки алюминия и его сплавов плавящимся электродом по слою флюса (полуоткрытой дугой) применяют плавные флюсы АН-А1, 48-АФ-1, МАТИ-1а и под слоем флюса — керамические флюсы ЖА-64 и ЖА-64А.

Для наплавки сваркой меди применяют плавные флюсы марок АН-348А, ОСЦ-20С, АН-26С и бескислородные фторидные флюсы, например, марки АН-М1.

Для сварочной наплавки титана и титановых сплавов применяют бескислородные флюсы АНТ-1, АНТ-3, АНТ-7 системы $\text{CaF}_2 - \text{BCl}_2 - \text{NaF}$.

Наплавка сваркой никеля может осуществляться под флюсами двух типов: керамическим (марки ЖН-1) и плавными фторидными бескислородными и высокоосновными (марки АН-Ф5, АН-8, 48-ОФ-6, АН-29 и др.).

Отличительной особенностью процесса механизированной (автоматической) сварочной наплавки защитных покрытий под флюсом является то, что сварочная дуга го-

рит не на открытом воздухе, а под слоем зернистого сыпучего флюса (рис. 3.11, [82]).

Под действием тепла дуги расплавляется основной металл детали, электродная проволока и часть флюса, непосредственно прилегающая к зоне наплавки. Электродная проволока подаётся вниз в зону наплавки со скоростью её плавления, плавится и переходит в пол в виде отдельных капель.

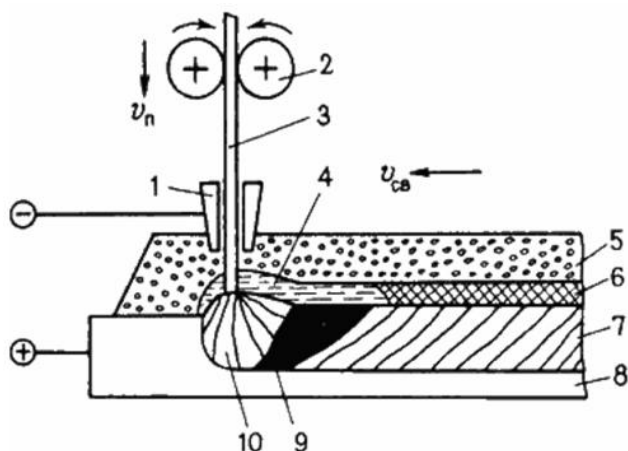


Рис. 3.11 – Схема механизированной наплавки металла под слоем флюса:

- 1 – токоподводящие колодки; 2 – подающие ролики;
- 3 – электродная проволока; 4 – слой шлака; 5 – слой сухого флюса; 6 – шлаковая корка; 7 – наплавленный металл; 8 – основной металл; 9 – сварочная ванна; 10 – электрическая дуга

Расплавленный флюс образует плотную эластичную оболочку – флюсогазовый пузырь. Поверх этого пузыря находится слой жидкого шлака. Флюсогазовый пузырь надёжно защищает расплавленный металл от вредного воз-

действия кислорода и азота в воздухе, а также предохраняет металл от разбрызгивания.

Во флюсовом газе создается большое давление газов, которое оттесняет часть жидкого металла в сторону, противоположную направлению наплавки. После остывания жидкого металла образуется наплавленный слой покрытый затвердевшей шлаковой коркой.

Шлаковая корка удаляется с поверхности наплавленного металла лёгкими ударами молотка или зубила в торец корки. При наплавке больших цилиндрических или конических изделий её удаляют специальным скребком.

Преимущество автоматической наплавки под слоем флюса по сравнению с ручной электродуговой наплавкой включает следующие позиции:

1. Автоматическая наплавка повышает производительность труда на сварочно-наплавочных работах в 6–7 раз.

2. В результате рационального использования тепла дуги уменьшается расход электроэнергии. При ручной наплавке на 1 кг наплавленного металла расходуется 6–7 кВт·ч электроэнергии, а при автоматической – 3,5 кВт·ч.

3. Потери электродного материала в виде огарков на разбрызгивании и угар при ручной наплавке составляет от 20 до 30 %, а при автоматической наплавке под флюсом не более 2–4 %.

4. При автоматической наплавке качество наплавленного слоя не зависит от квалификаций сварщика, в то время как при ручной наплавке качество слоя в значительной степени определяется квалификацией рабочего.

Высокая производительность труда при автоматической наплавке под слоем флюса объясняется тем, что допускаются большие плотности тока ($150\text{--}200\text{ А/м}^2$) без опасности разогрева электрода, т.к. ток подводится через контакт на небольшом расстоянии от конца электрода.

Для наплавки деталей под слоем флюса выпускаются наплавочные головки различных конструкций. Основные части наплавочной головки – механизм подачи проволоки с редуктором для изменения скорости её подачи, бункер для флюса с флюсопроводом и специальной конструкции мундштук для проволоки. Наплавочную головку укрепляют изолированно на суппорте токарного станка, снабжённого редуктором для изменения частоты вращения детали от 0,29 до 4 об/мин. Электродная проволока сматывается с кассеты, а флюс под действием собственного веса подаётся на бункера. Для питания дуги используется источник постоянного тока. Переменным током пользуются сравнительно редко. При колебаниях напряжения переменного тока в сети дуга менее устойчива, вследствие чего получается неровный наплавленный слой. «Минус» источника тока соединяется с массой станка, «плюс» с электродной проволокой. Для автоматического управления процессом (подача проволоки, включения станка и источника тока) предназначен аппаратный ящик.

Главные особенности механизированной наплавки, отличающие её от ручной, заключаются:

1) в непрерывности процесса, который обычно достигается использованием электродной проволоки или ленты в виде больших мотков;

2) в подведении тока к электроду на минимальном расстоянии от дуги, что позволяет применять ток большой силы без перегрева электрода;

3) в использовании специальных устройств для подачи электродного материала в дугу и механизмов для передвижения дуги или наплавляемого изделия.

Применение флюса дает возможность использовать голый (необмазанный) электрод в виде проволоки или ленты, позволяющий максимально приблизить к сварочной дуге место подведения тока. При этом уменьшается так называемый вылет электрода, то есть участок электрода, по которому протекает ток (расстояние от токоподводящего контакта до конца электрода со стороны дуги). В результате повышается величина тока и, следовательно, производительность процесса наплавки под флюсом в сравнении с ручной наплавкой.

Сварочная проволока при наплавке под флюсом нагревается теплом сварочной дуги, которое вводится через пятно нагрева на торце электрода, и теплом, которое выделяется по закону Ленца–Джоуля при протекании сварочного тока по вылету электрода. При наплавке под флюсом он составляет 20–60 мм и сохраняется постоянным. Количество тепла, выделяемое в проволоке, будет тем больше, чем больше ток и время его протекания, удельное сопротивление и длина вылета.

При сварочной наплавке под флюсом вылет электрода небольшой, и в зону дуги непрерывно поступает «холодный» электродный металл, что позволяет без опасности перегрева электрода повышать силу сварочного тока (для проволоки \varnothing 5 мм можно применять ток до 1000 А).

Наплавка под флюсом электродной проволоки является более производительным процессом, в результате которого за 1 час наплавляется 5–8 кг металла, в то время как при ручном способе – 1–2 кг/ч.

При механизированной наплавке под слоем флюса (рис. 3.12, [78]) в зону горения дуги 5 с помощью специальных аппаратов подается электродная проволока или лента 4. Флюс на поверхность изделия поступает из флюсопитателя 3. Относительное перемещение изделия и электрода обеспечивается соответствующими механизмами наплавочной установки (станка).

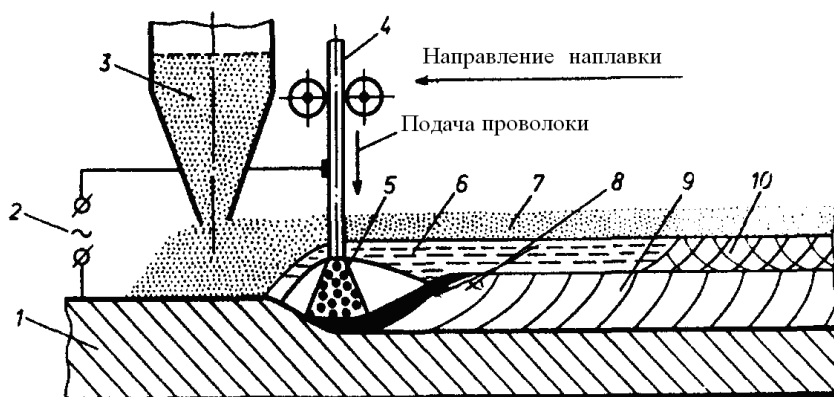


Рис. 3.12 – Схема механизированной дуговой наплавки под слоем флюса

1 – изделие; 2 – источник питания; 3 – флюсопитатель; 4 – механизм подачи проволоки; 5 – сварочная дуга; 6 – расплавленный шлак; 7 – слой флюса; 8 – сварочная ванна; 9 – наплавленный валик; 10 – шлаковая корка

Флюс насыпается из флюсопитателя слоем толщиной 50–60 мм, а статическое давление слоя флюса на жидкий металл составляет 7–9 г/см². Этого незначительного давления, как показывает опыт, достаточно, чтобы устранить нежелательное механическое влияние дуги на ванну жидкого металла, разбрызгивание жидкого металла и нарушение формирования шва даже при очень больших токах. При открытой дуге механическое влияние дуги на ванну жидкого металла делает практически невозможным наплавку при силах тока выше 400–500 А вследствие разбрызгивания металла и нарушения нормального формирования шва.

Перемещение дуги вдоль изделия осуществляется автоматически, поэтому размеры валиков и состав наплавленного металла являются более стабильными, чем при ручной наплавке.

При многослойной наплавке доля основного металла в каждом последующем слое снижается. С помощью наплавки под флюсом можно наплавить слой металла почти любого химического состава толщиной от 2 мм и более.

Дуговая наплавка под флюсом применяется в основном для восстановления плоских поверхностей деталей, а также есть возможность наплавки цилиндрических деталей (рис. 3.13, [83]). При этом предусматривается совмещение нескольких основных движений электродов:

один из них – подача по мере оплавления к детали и перемещение вдоль направления наплавки. В зону горения дуги автоматически производится подача сыпучего флюса и электродной проволоки. Под влиянием высокой температуры образуется так называемый газовый пузырь, в котором существует дуга, она и расплавляет металл. Часть флюса начинает плавиться, образуя вокруг дуги эластичную и гладкую оболочку из жидкого флюса, которая выступает защитой расплавленного металла от окислителя, уменьшает разбрызгивание и угар. После кристаллизации расплавленного металла образуется ровный, плотный слой защитного покрытия.

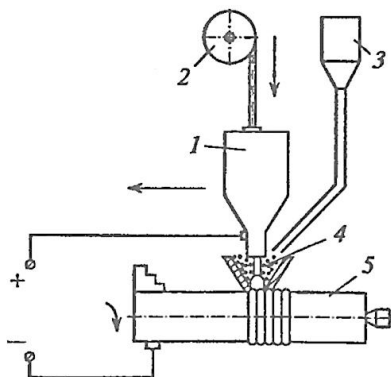


Рис. 3.13 – Схема автоматической наплавки цилиндрических деталей под слоем флюса:

- 1 – патрон; 2 – кассета; 3 – бункер; 4 – флюс;
- 5 – деталь сухого флюса; 6 – шлаковая корка

В итоге автоматическая дуговая наплавка плавящимся электродом под флюсом обеспечивает:

– возможность получения покрытия с определенным химическим составом и свойствами, т.е. легируют металл по-

крытия через проволоку и флюс, которые раскисляют и рафинируют наплавленный металл, а также способствуют устойчивому горению дуги за счет ионизации дугового промежутка при диссоциации компонентов флюса;

- защиту сварочной дуги и ванны жидкого металла от вредного влияния кислорода и азота воздуха;

- выделение растворенных газов и шлаковых включений из сварочной ванны в результате медленной кристаллизации жидкого металла под флюсом;

- возможность использования повышенных сварочных токов, которые позволяют увеличить скорость сварки, что способствует росту производительности труда в 6–8 раз;

- экономичность в отношении расхода электроэнергии и электродного металла;

- отсутствие разбрызгивания металла благодаря статическому давлению флюса с возможностью получения слоя наплавленного металла толщиной 1,5–5 мм и более;

- независимость качества наплавленного металла от квалификации исполнителя;

- лучшие условия труда сварщиков ввиду отсутствия ультрафиолетового излучения; возможность автоматизации технологического процесса.

При этом следует учитывать следующие ограничительные обстоятельства данного способа наплавки:

- значительный нагрев детали;

- невозможность наплавки деталей диаметром менее 40 мм в верхнем положении из-за отека наплавленного металла и трудности удержания флюса на её поверхности;

- возможность возникновения трещин и образования пор в наплавленном металле;
- сложность применения для деталей сложной конструкции, необходимость и определенная трудность удаления шлаковой корки.

Режим наплавки определяется силой тока, напряжением, скоростью наплавки, материалом электродной проволоки, ее диаметром и скоростью подачи, маркой флюса и перемещением электрода, шагом наплавки.

Для наплавки при восстановлении деталей из низко- и среднеуглеродистых сталей используют флюсы следующих марок: АН-348А, АН-348В, ОСЦ-45 и др.

Для деталей из низко- и среднелегированных сталей применяют флюсы марок АН-348А, АН-60, АН-22 и др. в комплекте с электродными проволоками следующих марок: Св-08А, Св-08ГА, а также проволоками с сердечниками, легированными хромом, молибденом или никелем.

При необходимости получения восстановленной поверхности с улучшенными физико-механическими свойствами наплавленного слоя при наплавке под слоем флюса рекомендуется использовать электродные проволоки, которые подразделяются на следующие три группы:

1. Изготовленные из углеродистой стали типа Нп-30, Нп-40, Нп-80.
2. Из легированной стали Нп-30Х5, Нп-30ГСА, Нп-40ХФА.
3. Из высоколегированной стали Нп-4Х13, Нп-45Х4В3Ф, НП-45Х2В8Т.

В табл. 3.3 представлены технические параметры наиболее широко используемых марок электродной проволоки при восстановлении изношенных стальных деталей из конструкционных материалов Нп-30, Нп-40, Нп-80, Нп-30Х5, Нп-30ГСА, Нп-40ХФА, Нп-4Х13, Нп-45Х4В3Ф, Нп-50ХФА, Нп-40Х20Н80Т и др.

Таблица 3.3
Технические характеристики наплавочной проволоки [84]

| Группа стали проволоки | Группа стали проволоки | Твёрдость наплавленного металла, НВ | Примерная номенклатура восстанавливаемых деталей |
|--------------------------|------------------------|-------------------------------------|---|
| Углеродистая сталь | Нп-30 | 160–220 НВ | Оси, валы |
| | Нп-45 | 170–230 НВ | Оси, валы |
| | Нп-50 | 180–240 НВ | Оси, валы |
| | Нп-85 | 280–350 НВ | Коленчатые валы, крестовины карданов |
| | Нп-40Г | 180–240 НВ | Оси, валы, ролики |
| | Нп-50Г | 200–270 НВ | Оси, валы, ролики |
| Легированная сталь | Нп-65Г | 230–310 НВ | Оси опорных роликов |
| | Нп-40Х3Г2МФ | 10–44 HRC | Детали, испытывающие удары и работающие в условиях абразивного износа |
| | Нп-40ХГ2М | 56–57 HRC | Детали, работающие с динамической нагрузкой, коленчатые валы, поворотные кулаки |
| | Нп-50ХФА | 46–52 HRC | Коленчатые валы, шлицевые валы |
| Высоколегированная сталь | Нп-30Х13 | 40–47 HRC | Шейки коленчатых валов, плунжеры |
| | Нп-40Х20Н80Т | 180–220 НВ | Выхлопные клапаны ДВС |

Режимы наплавки:

– диаметр электродной проволоки подбирают так, чтобы обеспечить максимально высокую производительность наплавки при обязательном и неукоснительном соблюдении регламентированных требований по глубине проплавления;

– как правило, наплавка производится с использованием постоянного тока прямой полярности;

– длину вылета наплавочной проволоки определяют в зависимости от величины диаметра проволоки и силы используемого при формировании защитного покрытия наплавочного тока. Минимальным значениям этих параметров соответствует минимальная длина вылета 30 мм, а максимальным – длина вылета до 60 мм.

Для осуществления автоматической наплавки деталей требуется комплекс машин, механизмов и приспособлений, в целом составляющих автоматическую установку. Устройство, производящее зажигание дуги, подачу электродной проволоки по мере плавления и обеспечивающее устойчивое горение дуги, называется автоматической головкой для дуговой сварки и наплавки или дуговым автоматом.

Наиболее важное промышленное значение для ремонтно-восстановительной наплавки имеют автоматы с плавящимся металлическим электродом – проволокой или лентой.

Иногда наплавленный металл защитного покрытия восстанавливаемой детали дополнительно не подвергается легированию и наплавка преследует лишь цель восста-

новления необходимых геометрических размеров и формы детали (рис. 3.14, [85]).

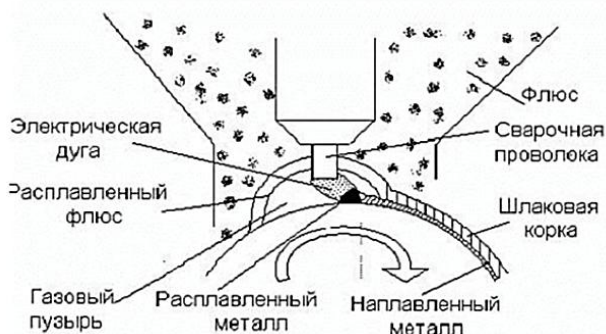


Рис. 3.14 – Схема наплавки под слоем легированного флюса

Автоматическая наплавка под слоем легирующего флюса является одним из прогрессивных способов восстановления изношенных стальных коленчатых валов. Так как слой наплавленного металла в процессе его охлаждения самозакаливается до требуемой твердости, то термическая обработка валов после наплавки не требуется. При этом несколько снижается усталостная прочность коленчатых валов, что практически не сказывается на их долговечности, и при соблюдении режима наплавки вал после ремонта имеет ресурс, близкий к ресурсу нового: ресурс восстановленного таким способом коленчатого вала достигает 97–99 % ресурса нового вала [31].

Стальные коленчатые валы наплавляют чаще всего пружинной проволокой второго класса $\varnothing 1,6\text{--}2$ мм. В качестве флюса наибольшее применение при наплавке шеек стальных валов находит флюс следующего состава (в %, по

массе): флюс марки АН-348А-93; графит порошковый – 2,5 %; феррохром порошковый – 2 %; жидкое стекло – 2,5 %. В табл. 3.4 приведено назначение некоторых марок флюсов и проволоки.

Таблица 3.4

Флюсы и проволока для автоматической сварки и наплавки [86]

| Марка флюса | Назначение флюса | Рекомендуемые марки проволоки |
|-------------------------------|---|--|
| АН-348А, АН-348В, АНЦ-1 | Сварка и наплавка изделий широкой номенклатуры из углеродистых и низколегированных сталей | Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2 |
| АН-60 | Сварка углеродистых и низколегированных сталей | Св-08, Св-08ГА, Св-08ХМ, Св-10НМА |
| АН-22 | Сварка низко- и среднелегированных сталей | Св-08ГА, Св-08ХМ, Св-08ХГНМГА, Св-08ХМФ |
| АНК-30 | Сварка углеродистых и низколегированных сталей, в т.ч. хладостойких мелкозернистых повышенной прочности | Св-08, Св-08ГА, Св-08ХМ, Св-08ХМФ, Св-08ХГНМТА |

Для повышения производительности наплавки под флюсом в качестве наплавочного материала используются сплошные или порошковые ленты толщиной 0,3–1 мм и шириной 20–100 мм.

Из-за снижения потерь металла до 70–80 % на разбрызгивание по сравнению с традиционной (в защитной среде CO₂) производительность данного способа, существенно (до 2 раз) возрастает (рис. 3.15, [87]) и на 10–15 % уменьшаются расходы электрической энергии и расходных материалов.

При наплавочных работах большое значение имеет устойчивость дуги. Она зависит от напряжения, силы и рода сварочного тока, длины дуги, состава флюса и т.п. Правильно установленное напряжение обеспечивает дуге необходимую устойчивость и равномерное растекание наплавленных валиков по поверхности металла. Чрезмерно низкое, или, наоборот, высокое напряжение приводит к возникновению дефектов в наплавленном металле.

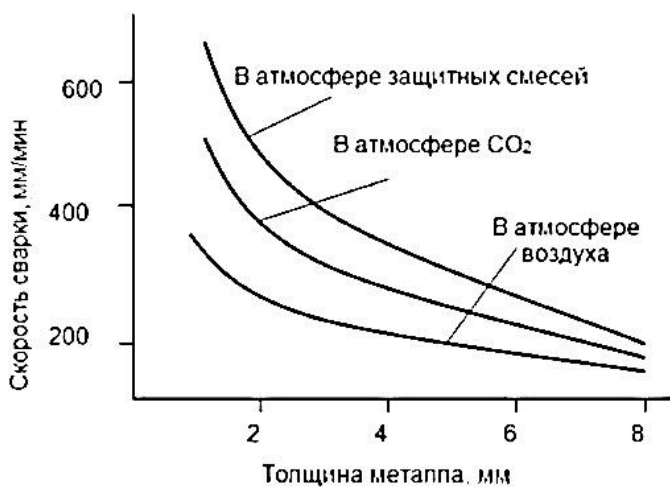


Рис. 3.15 – Влияние защитной среды на производительность наплавки

В процессе наплавки колебания напряжения должны быть наименьшими. Поэтому, учитывая неминуемые резкие колебания напряжения в силовой сети, наплавку лучше выполнять на постоянном токе от сварочного выпрямителя. Переменный ток целесообразно применять для наплавки больших изделий, когда сила тока превышает

ет 600 А, а напряжение холостого хода трансформатора не ниже 70 В.

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

Для получения широкого слоя используют наплавку:

- многоэлектродную;
- многодуговую;
- с поперечными колебаниями электрода;
- стальной электродной лентой.

Исследования Института электросварки им. Е.О. Патона показали, что при автоматической наплавке под слоем флюса можно вместо электродной проволоки использовать ленту малой толщины (0,3–1,0 мм) и большой ширины (10–100 мм и более).

При наплавке лентой получается малая глубина проплавления основного металла вследствие невысокой плотности тока и в то же время обеспечивается надежный провар (рис. 3.16, [88]). Доля участия основного металла в формировании наплавленного валика составляет от 5 до 15 %.

Высокая производительность процесса автоматической наплавки под слоем флюса достигается за счет использования больших токов без увеличения глубины про-

вара основного металла и наложения валика большой ширины за один проход.

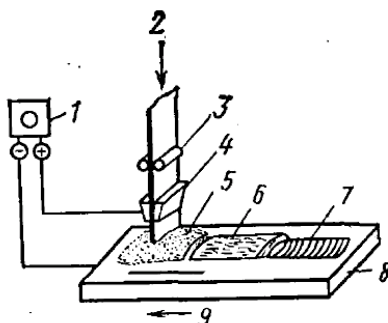


Рис. 3.16 – Схема процесса наплавки ленточным электродом под флюсом:

1 – источник питания; 2 – ленточный электрод; 3 – ролики подачи электрода; 4 – мундштук (токоподвод); 5 – флюс; 6 – слой шлака; 7 – наплавленный металл; 8 – основной металл; 9 – направление наплавки

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

Для наплавки используются электродные ленты различного состава. Например, для износостойкой наплавки можно использовать ленту из ковкого чугуна. Применяя флюс АН-28 и автоматический регулятор напряжения дуги, можно получить хорошее формирование валика с твердостью 40–50 HRC. При этом износостойкость наплавленного

слоя в несколько раз больше износостойкости конструкционной стали. Возможно получение наплавленного слоя не только из чугуна, но также из различных износостойких сталей и цветных металлов.

Для коррозионно-стойких покрытий широкое применение находят ленты из сталей 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т, ЮХ18Н9Б, 10Х19Н11МЗ, 20Х13Н4Г9, 10Х13. При использовании таких лент лучшие результаты по формированию наплавленного слоя дает пемзовидный флюс АН-26, а при наплавке лентой из стали 20Х13Н4Г9 флюс 48-ОФ-10. При наплавке образуются валики, имеющие правильную форму, шлаковая корка легко отделяется.

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

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

Наплавка ленточным электродом обладает следующими преимуществами:

- получение плоского валика наплавленного металла достаточно большой ширины (примерно равной ширине ленточного электрода);

- возможность наплавки слоя требуемой толщины за один-два прохода, что обусловлено малой глубиной проплавления основного металла и в связи с этим незначительным влиянием его на состав наплавленного слоя (доля разбавления составляет 10–20 %);

- высокая производительность в связи с возможностью наплавки с высокой скоростью при большой силе тока.

Рассматриваемый способ наплавки ленточным электродом получил быстрое развитие и нашел широкое применение для наплавки коррозионностойкой стали, сплава «инконель» и других коррозионностойких наплавочных материалов.

Производительность способа может быть еще более повышена, в частности путем увеличения ширины электродной ленты и применения механизированной наплавки, многоэлектродных головок.

Многоэлектродная наплавка может быть осуществлена несколькими вариантами, один из которых – сварочная наплавка двумя электродными лентами с использованием двухэлектродной головки с питанием от одного источника.

При двухэлектродной ленточной наплавке достигают скорости наплавки 30 см/мин, что почти в 2 раза боль-

ше, чем при наплавке лишь одним, в частности, электродом (рис. 3.17, [89]).

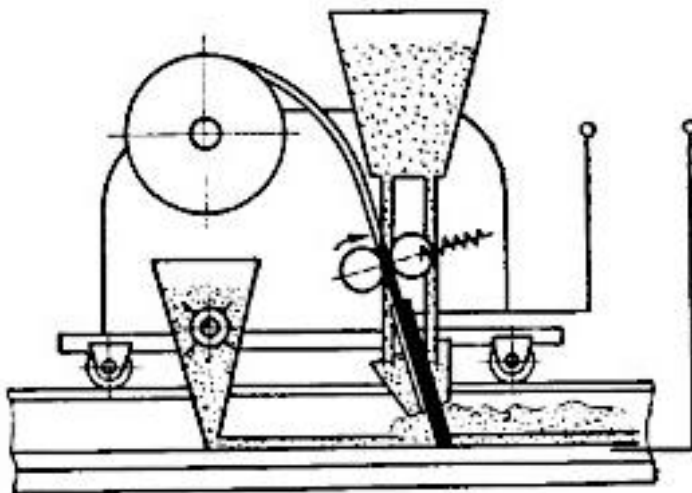


Рис. 3.16 – Общий вид установки для автоматической наплавки под слоем флюса ленточными электродами

При этом получают валик наплавленного металла с хорошим внешним видом и хорошими свойствами.

Применение настоящего способа требует наличия специального сварочного оборудования и оснастки. Он наиболее производителен по сравнению с прочими дуговыми методами наплавки. Его рационально применять при больших объемах наплавки на прямолинейных участках детали, или на деталях, имеющих поверхности вращения большого диаметра. Наплавка криволинейных коротких швов, штампов с криволинейной формой ручьев, деталей с поверхностью вращения небольшого диаметра данным способом невозможна.

На практике используют ленточные электроды шириной до 180 мм, однако при наплавке постоянным током увеличение размеров наплавочной ванны сопровождается нарушением формы наплавляемого валика под действием магнитного дутья. В поиске путей решения этой проблемы предложен способ наплавки в магнитном поле с помощью полюсов электромагнита, поток магнитной индукции которого в пространстве между электродами и наплавляемой деталью способствует увеличению производительности наплавки на 25–30 % (рис. 3.17) [32].

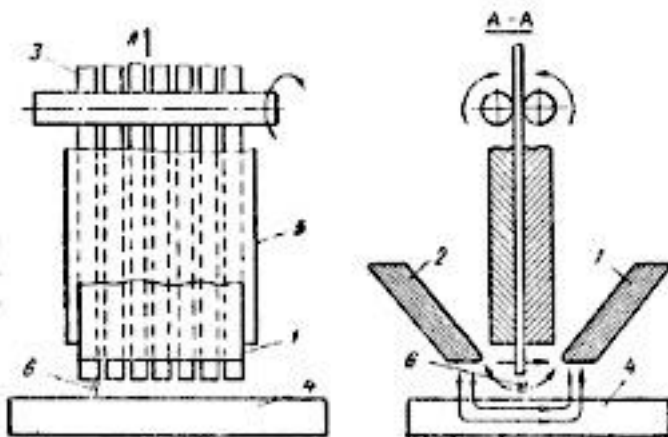


Рис. 3.17 – Общая схема многоэлектродной наплавки плавящимися электродами с магнитным управлением

Использованию магнитных полей при дуговой наплавке посвящён ряд публикаций [33–35 и др.]. Особенностью электромагнитной наплавки (ЭМН) является одновременное воздействие в рабочей зоне электрического тока и магнитного поля на ферромагнитный порошок (ФМП) и поверхность заготовки детали, в результате кото-

рого происходят нагрев и плавление ФМП, генерация и развитие электрических разрядов, полярный перенос материала покрытия и распределение части расплава ФМП по поверхности заготовки. В поверхностных слоях материала детали протекают химические и структурные превращения, вследствие которых на поверхности ее образуется монокристаллическое соединение покрытия с основой восстанавливаемой детали. На рис. 3.18 представлены принципиальные схемы ЭМН на наружные поверхности деталей типа тела вращения [34].

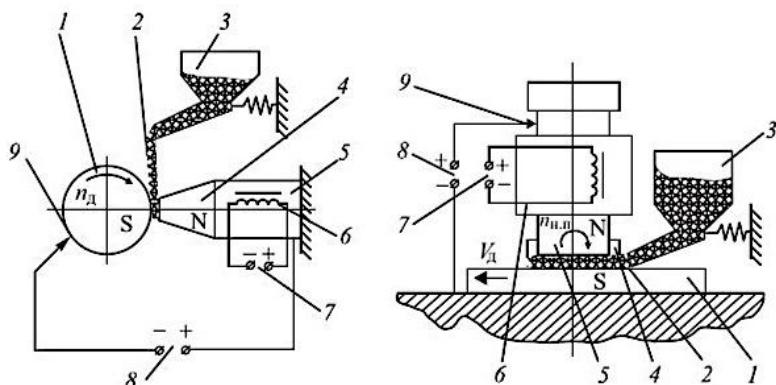


Рис. 3.18. Принципиальная схема электромагнитной наплавки на поверхность заготовки детали типа тела вращения (а) и плоские поверхности (б):

1 – заготовка детали; 2 – ферромагнитный порошок; 3 – бункер-дозатор; 4 – полюсный наконечник; 5 – сердечник электромагнита; 6 – электромагнитная катушка; 7 – источник питания катушки электромагнита; 8 – источник технологического тока; 9 – скользящий контакт и плоские поверхности

Обрабатываемая заготовка детали 1 устанавливается на расстоянии $D = 1,5-2,0$ мм от полюсного наконечника 4 электромагнита 5. В зазор между полюсным наконечником и обрабатываемой поверхностью заготовки де-

тали 1 подают ФМП 2 из бункера-дозатора 3 в потоке рабочей жидкости. На полюсный наконечник и обрабатываемую поверхность детали подается разность потенциалов от источника технологического тока 7, 8. Частицы порошка выстраиваются вдоль магнитных силовых линий в цепочку и замыкают электрическую цепь между заготовкой и наконечником. При этом в рабочей зоне поверхность детали – полюсный наконечник в результате воздействия импульсов электрических разрядов происходит расплавление зёрен ФМП, полярный перенос образующегося материала и его распределение по подплавленной поверхности заготовки в магнитном поле.

На процесс формообразования обрабатываемой поверхности по степени значимости в порядке убывания оказывают влияние такие виды энергии, как электрическая, магнитная и механическая. По функциональному назначению основную роль (генерацию, развитие электрических разрядов, нагрев и плавление цепочек-микроэлектродов из зерен ФМП в рабочей зоне (РЗ)) выполняет энергия электрического тока, вспомогательную (удержание зерен ФМП и формирование многоэлектродной системы в РЗ, взаимодействие наплавляемого материала с основой) – магнитная и механическая энергия.

В зависимости от реализации различных сочетаний характеристик и параметров электромагнитных и механических воздействий, условий проведения, свойств ФМП, рабочей жидкости (РЖ) и обрабатываемых материалов ЭМН используется как для упрочнения рабочих, так и для

восстановления изношенных поверхностей деталей машин. В Приложении 1 представлены известные технологические схемы способа ЭМН, в т.ч. комбинированных с использованием дополнительного наложения вибраций, поверхностной пластической деформации (ППД), обработки абразивным кругом), термического воздействия угольным электродом, механического воздействия калибрующим роликом и их назначение.

Анализ технологических схем ЭМН показывает, что наибольшее распространение получили устройства для восстановления наружных поверхностей тел вращения – однополюсные и двухполюсные установки ЭМН.

Использование в качестве защитного газа в РЗ азота или насыщение им поверхности зерен ФМП практически не изменяет физико-механических свойств покрытий.

Дополнительное термическое воздействие угольным электродом обрабатываемой поверхности в РЗ приводит к накоплению теплоты в теле детали и ее последующей деформации. Перегрев восстанавливаемой детали в процессе ЭМН устраняется использованием охлаждающей жидкости – водных растворов эмульсолов Э-2, «Аквол» различной концентрации.

Способ, сочетающий ЭМН и шлифование, не обеспечивает необходимых толщины наплавляемого слоя и шероховатости поверхности из-за температурного разупрочнения покрытия в РЗ и повышенного изнашивания абразивного круга.

Формировать в покрытиях прогнозируемый уровень остаточных сжимающих напряжений, повышающих усталостную прочность деталей, позволяют устройства комбинированной обработки, обеспечивающие совмещение процесса ЭМН с поверхностным пластическим деформированием (ППД) по различным схемам – с одним, двумя или тремя накатными устройствами. Повысить производительность процесса комбинированной обработки можно за счет создания больших усилий ППД без базирования обрабатываемой заготовки детали.

Для формирования защитных покрытий при ЭМН используют широкую гамму порошковых материалов, что позволяет изменять и прогнозировать физико-механические и эксплуатационные свойства рабочих поверхностей деталей. При этом ФМП должен обладать хорошими магнитными свойствами, электропроводностью и невысокой температурой плавления, а также невысокой стоимостью и формировать покрытия с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Наиболее полно этим требованиям соответствуют гранулированные композиционные порошки на основе железа со сферической формой частиц, упрочненные твердыми фазами карбидного или интерметаллидного типа. Сфероидизированные порошки с гранулометрическим составом 160–320 (ГОСТ 18318–73) отличаются хорошей текучестью, не застревают в дозирующих устройствах и равномерно распределяются в рабочем зазоре процесса ЭМН.

Одними из распространенных материалов для ЭМН являются двухкомпонентные легированные порошки на основе железа Fe-2 %V, Fe-Ti (ГОСТ 9849–86), а также высокоуглеродистый порошковый сплав ФБХ 6-2 (ГОСТ 11546–75). Химический состав композиционных ФМП представлен в табл. 3.5 [90].

Таблица 3.5

Химический состав композиционных ФМП

| Марка ФМП | Содержание элементов, массовая доля, % | | | | | | | | |
|-----------|--|----|-----|-----|-----------|-----|-----------|-----------|----|
| | Fe | Ni | V | Ti | Si | B | C | Mn | Cr |
| Fe-2%V | осн. | – | 2,0 | – | 0...0,5 | – | 0,3...0,5 | 0...0,5 | – |
| Fe-2%Ti | осн. | – | – | 2,1 | 0...0,5 | – | 0,3...0,5 | 0...0,5 | – |
| ФБХ 6-2 | осн. | – | – | – | 1,0...2,5 | 2,0 | 3,5...4,5 | 2,5...4,5 | 35 |

Сплавы Fe-2 %V и Fe-Ti имеют небольшое количество легирующих компонентов, и при их наплавке возможно образование устойчивых твердых карбидов ванадия и титана с углеродом, а также упрочнение твердого раствора интерметаллидными фазами. Ферромагнитный порошок ФБХ 6-2 обеспечивает получение покрытий, сохраняющих высокую твердость, плотность и износостойкость до температуры, не превышающей 500 °С в сопряжениях пар трения.

Технологические факторы оказывают различное влияние на показатели процесса ЭМН. Так, в порядке убывания значимости факторы влияния на исследуемые параметры (производительность ЭМН Q и относительная износостойкость покрытий ϵ_n) располагаются в следующие ряды:

$$Y_1 = Q: V \rightarrow S \rightarrow i \rightarrow q \rightarrow \Delta_p; \quad Y_2 = \varepsilon_{\text{п}}: S \rightarrow i \rightarrow V \rightarrow q \rightarrow \Delta_p.$$

Наибольшее влияние на производительность процесса ЭМН оказывает окружная скорость заготовки V и скорость продольной подачи S . Далее в порядке убывания следуют плотность разрядного тока i , расход ФМП q , величина рабочего зазора Δ_p . На относительную износостойкость оказывают значительное влияние скорость продольной подачи и плотность разрядного тока. Затем по степени значимости располагаются в ряд окружная скорость заготовки V , величина рабочего зазора Δ_p и расход ферропорошка q .

Влияние скоростей V и S на производительность процесса и относительную износостойкость самое большое из всех технологических факторов – при изменении подачи в пределах 0,05–0,25 мм/об и окружной скорости 0,02–0,06 м/с они оказывают основное влияние на эксплуатационные показатели. Однако при дальнейшем увеличении V и S (более 0,35 мм/об и 0,08 м/с соответственно) происходит заметное ухудшение производительности процесса наплавки и относительной износостойкости.

При увеличении плотности разрядного тока производительность возрастает, т.к. нагрев и расплавление цемента-микроэлектродов ФМП возрастают за счет преобразования электрической энергии в тепловую. В результате превышения максимальной величины плотности тока производительность снижается, т.к. повышается вероятность возникновения электрического разряда у поверхности по-

люсного наконечника из-за увеличения коэффициента передачи энергии.

При малых величинах рабочего зазора влияние на эксплуатационные параметры материала детали незначительно, т.к образуется большое количество цепочек-электродов, удерживаемое постоянным магнитным полем ФМП в рабочем зазоре. Количество передаваемой энергии ферропорошку и перенос материала ФМП на поверхность обрабатываемой заготовки вследствие этого снижаются. При увеличении рабочего зазора снижаются производительность и износостойкость из-за большой длины цепочек-микроэлектродов.

В табл. 3.6 представлены рациональные режимы обработки различных поверхностей, обеспечивающие требуемое качество деталей наиболее производительным путем при минимальных затратах [91].

Таблица 3.6

Рациональные режимы ЭМН

| Технологический фактор | Обрабатываемая поверхность | | |
|---|----------------------------|---------|-----------------------|
| | Наружная тел вращения | Плоская | Фасонная тел вращения |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Плотность разрядного технологического тока, А/мм ² | 1,80 | 1,80 | 1,70 |
| Величина магнитной индукции в рабочем зазоре, Ву | 0,20–0,80 | 0,1–0,5 | 0,50–0,90 |

Окончание таблицы 3.6

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|

| | | | |
|--|-------------------------------|---------------------|---------------------|
| Скорость продольной подачи S , мм/об | 0,25–0,35 | – | – |
| Окружная скорость заготовки V , м/с | 0,05 | – | 0,05 |
| Зернистость порошка | 240–320 | 240–320 | 240–320 |
| Величина рабочего зазора L_p , мм | 1,50 | 2,0 | 1,50 |
| Расход ФМП q , г/(с·мм ²)·10 ³ | 2,55 | 2,80 | 2,35 |
| Расход СОЖ ^{*)} u , дм ² /(с·мм ²)·10 ³ | 2,30 | 2,50 | 2,20 |
| ФМП | ФБХ 6-2; Fe-2 %V, Fe-Ti | ФБХ 6-2; Fe-2 %V | ФБХ 6-2; Fe-2 %V |
| СОЖ | а ¹⁾ | а ¹⁾ | Аквол |

^{*)} – Смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ)

^{а¹⁾} 5 % раствор эмульсола 32 в воде

Наплавка в защитных газах плавящимся электродом и порошковой проволокой

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

Наплавка в защитных газах характеризуется универсальностью процесса: возможность наплавки во всех пространственных положениях на объекты сложной геометрической формы без применения каких-либо специальных приспособлений в зависимости от условий наплавки.

Наплавка в защитных газах целесообразна в тех случаях, когда невозможна или затруднена наплавка под флюсом.

Сущность способа наплавки в защитных газах заключается в том, что воздух (кислород, водород, азот, пары воды и др.) оттесняется из зоны сварки струей защитного газа, а окисление самим углекислым газом расплавленного дугой металла компенсируется за счет повышенного содержания элементов-раскислителей в электродной проволоке (рис. 3.19, [92]).

На качество сварных соединений существенное влияние, особенно при полуавтоматической сварке, оказывает техника сварочной наплавки.

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

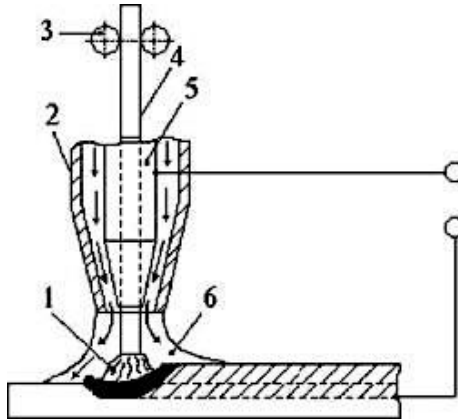


Рис. 3.19 – Схема дуговой сварки в защитном газе плавящимся электродом:

1 – электрическая дуга; 2 – газовое сопло; 3 – подающие ролики; 4 – электродная проволока; 5 – токоподводящий мундштук; 6 – защитный газ

Автоматическая наплавка в защитном газе плавящимся электродом производится подачей проволоки из кассеты к месту наплавки с постоянной скоростью через токоподводящий мундштук. Защитный газ из баллона поступает через сопло горелки к месту горения дуги.

Эффективность газовой защиты зависит от конструктивных особенностей газоподводящего сопла, расстояния между торцом сопла и поверхностью детали, а также от скорости наплавки, давления защитного газа и движения воздуха в месте наплавки.

Наплавка в защитном газе позволяет механизировать процесс работы в любом пространственном положении. Её проводят обычно на постоянном токе обратной полярности, что обеспечивает лучшую устойчивость горе-

ния дуги, мелкокапельный перенос металла, меньшее разбрызгивание.

При наплавке в защитных газах необходим мелкокапельный перенос электродного материала, при котором повышается стабильность горения дуги, уменьшается разбрызгивание, улучшается формирование шва. На характер электродного материала оказывает влияние совокупность следующих факторов: воздействие на металл электрических и магнитных сил, сил тяжести, поверхностного натяжения металла, давления выделяющихся из металла паров и газов. Степень влияния каждого из перечисленных факторов зависит от рода и полярности тока, режимов наплавки, материала электрода, состава дуговой атмосферы и т.д.

Увеличение производительности наплавки ограничивается диапазоном сварочного тока: увеличение тока приводит к повышению разбрызгивания наплавляемого металла, ухудшается формирование наплавляемого валика, процесс наплавки начинает протекать нестабильно.

Для наплавки в среде углекислого газа применяется углеродистая и низколегированная проволока диаметром от 0,8 до 3 мм. Проволоку диаметром 0,8–1,6 мм применяют при незначительном износе деталей и для наплавки цилиндрических деталей малых диаметров при любом износе. Наибольшая толщина наплавляемого однопроводного слоя в этом случае составляет 1,0–2,5 мм. На поверхности проволоки не должно быть ржавчины и различных загрязнений, которые приводят к образованию пористости и

снижают устойчивость горения дуги. Очистка проволоки может проводиться как механическим, так и химическим путем. Химический состав электродной проволоки должен быть таким, чтобы можно было в достаточной степени раскислить ванну расплавленного металла, легировать его и получить плотный наплавленный металл. При наплавке углеродистых и низколегированных сталей в качестве раскислителей используют кремний и марганец.

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

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

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

| | | | | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Диаметр изделия, мм | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,5 |
| Сила тока, А | 60–120 | 80–160 | 90–260 | 120–350 | 200–450 | 250–550 |

Уменьшение силы тока должно соответствовать снижению скорости подачи электродной проволоки.

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

| | | | | | | | |
|---------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Сила тока, А | 60 | 100 | 140 | 200 | 250 | 300 | 400 |
| Напряжение, В | 18 | 19 | 20 | 22 | 25 | 28 | 30 |

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

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

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

Наплавку сталей с повышенным содержанием углерода или легирующих примесей необходимо производить с предварительным подогревом детали и с более высоким подогревом углекислого газа. В противном случае, воз-

можно закалка металла в зоне термического влияния, что приводит к появлению микротрещин и ухудшает обрабатываемость металла режущим инструментом.

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

Наиболее благоприятные условия для формирования валика металла наблюдаются при наплавке в инертных одноатомных газах аргоне и гелии (рис. 3.20, [93]).

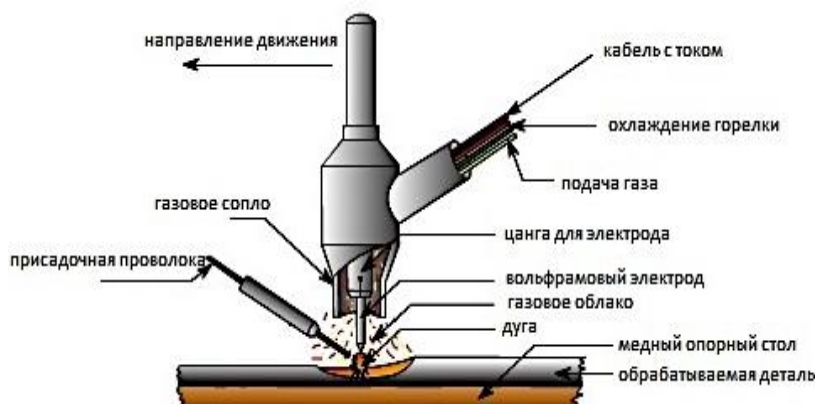


Рис. 3.20 – Схема процесса наплавки электродной электродуговой наплавки неплавящимся электродом (вольфрамовым) в среде аргона

В аргоне имеют место два вида переноса металла через дугу: крупнокапельный без коротких замыканий с небольшим разбрызгиванием на докритическом токе и струйный на токе больше критического значения. Вид переноса металла через дугу влияет на форму проплавления основного металла и на формирование

наплавленного валика. Наплавка со струйным переносом электродного металла нежелательна, так как при этом значительно увеличивается глубина проплавления основного металла.

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

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

В качестве защитных газов при наплавке (сварке) цветных металлов и сплавов применяют аргон, гелий или смесь инертных газов. При наплавке меди и ее сплавов можно применить азот. Для повышения стабильности горения дуги и отвода кислорода в защитный газ добавляют водород в количестве от 2 до 5 %.

Наплавка порошковой проволокой и порошковой лентой

Весьма перспективным способом восстановления и упрочнения поверхностей деталей, позволяющим значительно увеличить производительность труда по сравнению не только с ручной, но и механизированной сварочной наплавкой в углекислом газе, является сварочная наплавка порошковой проволокой. Отличительная её особенность по сравнению с другими механизированными способами состоит в том, что она сочетает преимущества и ручной

сварочной наплавки – простоту и мобильность, и механизированной сварочной наплавки в углекислом газе – большую производительность и высокое качество наплавленных покрытий.

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

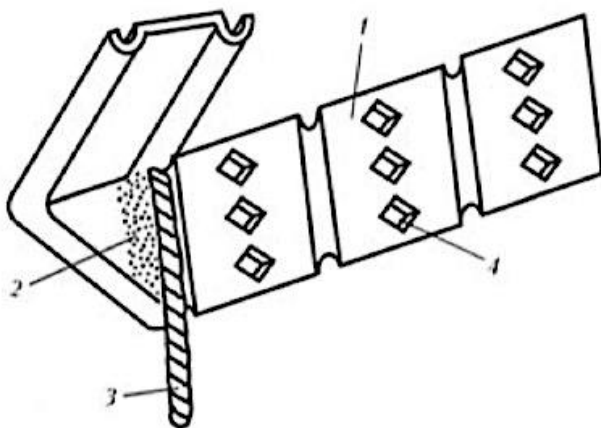
Идея применения электродов, имеющих прочную токопроводящую оболочку и менее прочную «сердцевину», состав которой можно изменять, была выдвинута в XIX веке великим русским изобретателем Н.Н. Бенардосом – родоначальником электродуговой сварки. В 30-е годы XX века впервые в истории сварочной техники советский инженер В.Е. Сахнович экспериментально доказал возможность применения электродов, состоящих из тонкостенной стальной трубки и сердечника из сварочного флюса для автоматической сварки открытой дугой, т.е. не имеющей внешней защиты углекислым газом или флюсом. Он применял электроды, изготовленные из цельнотянутых стальных трубок, в которые засыпали порошкообразный сухой флюс; концы трубок заваривались и обжимались на 1,5–2,0 мм для уплотнения шихты. Они были названы В.Е. Сахновичем «электродами с внутренней обмазкой». В конце января 1959 года сотрудниками О.А. Бакши, Е.Ф. Белоусовым и Г.П. Клековкиным Челябинского НИИ технологии машиностроения впервые в СССР был предложен ленточный по-

рошковый электрод, оригинальность разработки которого подтверждается не только в СССР, но и в мировой сварочной технике. В 1960 году в Институте электросварки им. Е.О. Патона была предложена трубчатая электродная проволока, получившая название «порошковая проволока для производства сварочных работ», а 1965 году – порошковая лента ПЛ-АН101, в конструкции которой был использован ранее предложенный вариант профилирования ленты порошкового шнура (рис. 3.21, [65]). Порошковая лента ПЛ-АН101 рассчитана на большие коэффициенты заполнения, что позволило заложить основы решения задач легирования наплаваемого слоя покрытия, труднодостижимые для порошковой проволоки.

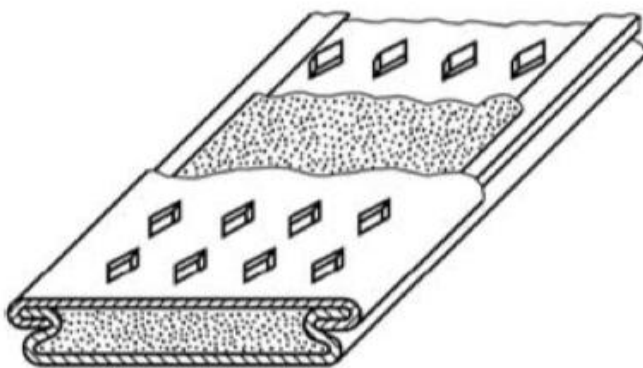
Технология сварочной наплавки порошковой проволокой непрерывно совершенствуется, и механизированный способ дуговой сварочной наплавки находит все большее применение как в нашей стране, так и за рубежом.

Порошок, входящий в состав порошковой проволоки и порошковой ленты (электрода), при их расплавлении электрической дугой выполняет следующие функции:

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



а)



б)

Рис. 3.21 – Схема порошкового электрода Г.К. Клековкина (а) и двухзамковой порошковой ленты конструкции ИЭС им. Е.О. Патона (б):

- 1 – профилированная лента; 2 – материал сердечника;
3 – фитиль; 4 – углубления на поверхности оболочки

В настоящее время в промышленных масштабах выпускаются порошковые ленты двух конструкций (ГОСТ 26467–85 «Лента порошковая наплавочная») – двух- и од-

нозамковая с плотным замком (рис. 3.22, [65]), последняя при этом подразделяется на два типоразмера – 16,5×4,0 и 10,0×3,0 мм.

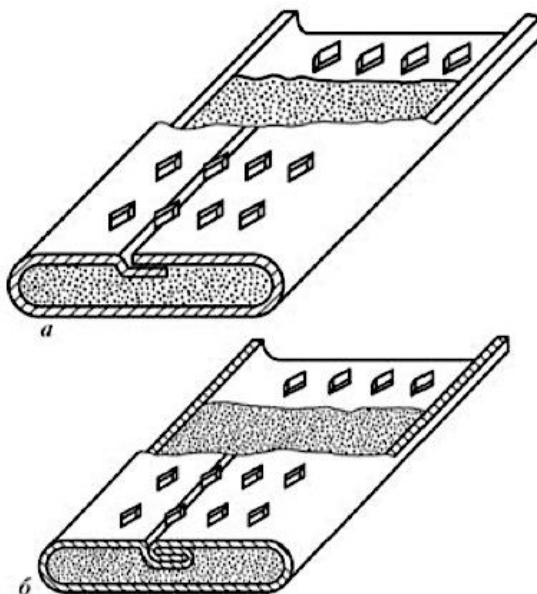


Рис. 3.22 – Схема конструкции однозамковой порошковой ленты с нахлесточным (а) и плотным (б) замком

Зная размеры изношенной детали, выбирают типоразмер порошковой ленты, схему и режим наплавки в один, два и более слоев (при необходимости) одиночными валиками или прочими вариантами.

Токи наплавки могут изменяться от 300 до 1200 А, напряжение на дуге – от 25 до 38 В, скорость перемещения электрода – от 5 до 100 м/ч.

Для повышения производительности наплавки применяется двух- и многодуговая наплавка.

За один проход при однодуговой наплавке обеспечивается наплавка защитного износостойкого слоя толщиной от 2 до 8 мм. Производительность наплавки порошковой лентой одной дугой достигает 25–30 кг наплавленного металла в час (рис. 3.23, [65]).

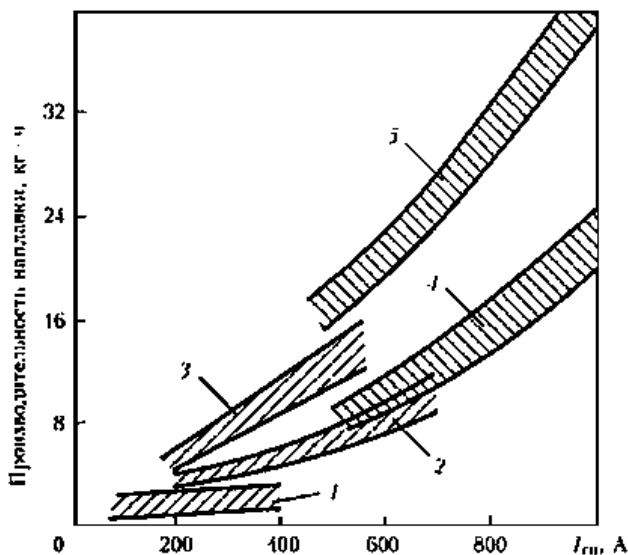


Рис. 3.23 – Производительность наплавки:

1 – штучными электродами; 2 – цельнотянутой проволокой под флюсом; 3 – порошковой проволокой; 4 и 5 – порошковой лентой открытой дугой (соответственно один и два электрода)

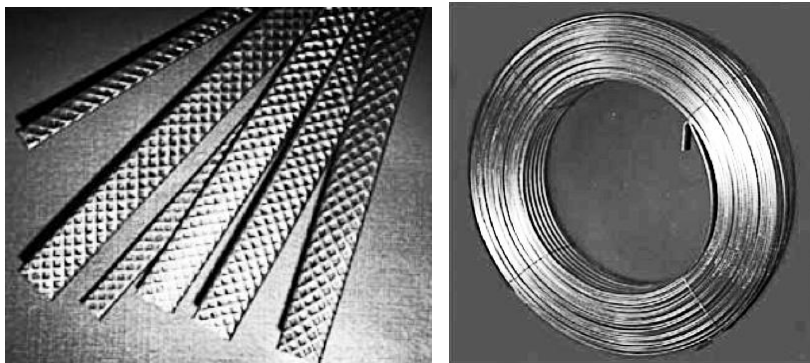
Расход порошковой ленты (табл. 3.7, [65]) на 1 кг наплавленного металла составляет 1,1–1,2 кг при наличии в порошке-наполнителе легкоиспаряющихся и 1,2–1,35 кг минеральных компонентов.

Порошковые ленты для наплавки

| Марка порошковой ленты | Химический состав наплавленного металла, мас % | | | | | | | | | | |
|------------------------|--|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | C | Cr | Mn | Si | Ni | Nb | Mo | V | W | B | Ti |
| ПЛ-АН-101 | 3,0 | 25,0 | 2,0 | 3,0 | 2,0 | — | — | — | — | — | — |
| ПЛ-АН-171 | 1,2 | 25,0 | 2,2 | 1,0 | — | — | — | — | — | 3,5 | — |
| ПЛ-АН-180 | 4,5 | 30,0 | — | — | — | — | 1,0 | — | — | — | — |
| ПЛ-АН-181 | 4,5 | 30,0 | 3,0 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| ПЛ-АН-111 | 5,0 | 38,0 | 1,0 | 2,5 | 38,0 | — | — | — | — | 0,3 | — |
| ПЛ-АН-179 | 5,0 | 22,0 | — | — | — | 7,0 | 6,0 | 1,0 | 2,0 | — | — |
| ПЛ-АН-185 | 5,0 | 22,0 | — | — | — | 7,0 | — | — | — | — | — |
| ПЛ-АН-186 | 4,5 | 30,0 | — | — | — | — | — | — | — | 0,7 | — |
| ПЛ-АН-132-1 | 0,10 | 4,0 | 1,5 | 1,0 | — | — | 2,0 | — | 2,5 | — | — |
| ПЛ-АН-132-2 | 0,15 | 4,0 | 1,5 | 1,0 | — | — | 2,0 | — | 2,5 | — | — |
| ПЛ-АН-132-3 | 0,20 | 4,0 | 1,5 | 1,0 | — | — | 2,0 | — | 2,5 | — | — |
| ПЛ-АН-187 | 0,20 | 11,0 | 10,0 | — | — | — | — | — | — | — | 0,8 |
| ПЛ-АН-115 | 0,10 | — | 1,5 | 0,8 | — | — | — | — | — | — | 0,5 |
| ПЛ-АН-189 | 0,35 | 3,0 | 0,8 | 0,6 | — | — | — | 0,3 | 9,0 | — | — |
| ПЛ-АН-190 | 0,40 | 3,0 | 0,8 | 0,6 | — | — | — | 0,3 | 9,0 | — | — |
| ПЛ-АН-191 | 0,25 | 5,0 | 0,7 | 1,0 | — | — | 1,2 | 0,4 | — | — | — |
| ПЛ-АН-183 | 0,4 | 2,0 | 1,6 | 1,6 | 5,5 | 0,6 | 1,8 | 0,5 | — | — | — |

| Марка порошковой ленты | Твердость HRC | Назначение |
|------------------------|---------------|---|
| ПЛ-АН-101 | 50...56 | Наплавка деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания (ножи бульдозеров и грейдеров, зубья ковшей экскаваторов, валки коксовых дробилок, плужные диски, защитные поверхности конусов, чаши и др.) |
| ПЛ-АН-171 | 54...59 | |
| ПЛ-АН-180 | 58...62 | |
| ПЛ-АН-181 | 58...60 | |
| ПЛ-АН-111 | 50...58 | Наплавка деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного и газообразного видов изнашивания при нормальных и повышенных температурах (конуса и чаши засыпных аппаратов доменных печей, течки, бункера и т. п.) |
| ПЛ-АН-179 | 58...62 | |
| ПЛ-АН-185 | 56...60 | |
| ПЛ-АН-186 | 57...62 | |
| ПЛ-АН-132-1 | 18...28 | Наплавка деталей, работающих в условиях контактных нагрузок при повышенной температуре (ролики разъемов, валки и др.) |
| ПЛ-АН-132-2 | 28...34 | |
| ПЛ-АН-132-3 | 35...45 | |
| ПЛ-АН-187 | 18...26 | Наплавка деталей, работающих в условиях больших контактных нагрузок (краювые колеса, направляющие и др.) |
| ПЛ-АН-115 | 18...26 | Наплавка стальных крупногабаритных деталей с целью восстановления их геометрических размеров (конуса и чаши засыпных аппаратов доменных печей, тележки агломашины и др.) |
| ПЛ-АН-189 | 44...50 | Наплавка валков горячей прокатки металла |
| ПЛ-АН-190 | 44...50 | |
| ПЛ-АН-191 | 46...52 | |
| ПЛ-АН-183 | 47...54 | Наплавка ножей для горячей резки металла |
| ПЛ-АН-150 | 27...34 | Наплавка вад флюсом деталей арматуры, работающих при температуре среды до 545 °С |
| ПЛ-АН-151 | 38...50 | |

Сегодня общий объем производства порошковых лент различных марок ориентировочно составляет свыше 700 т в год (рис. 3.24, [65]). При этом существует устойчивая тенденция увеличения объема производства этого электродного материала в связи с возрастающим спросом промышленности на новые виды продукции с повышенной износостойкостью.



а)

б)

Рис. 3.24 – Общий вид (а) и бухта (б) порошковой ленты

3.3. Вибродуговая наплавка

Вибродуговая наплавка – разновидность дуговой наплавки, позволяющая за счет использования вибрации электрода и подачи в зону дуги охлаждающей жидкости (рис. 3.25, [94]) дополнительно воздействовать на свойства наплавляемого металла; представляет собой прерывистый сварочный процесс, во время которого электрод совершает колебательные движения в осевом направлении с час-

тотой до ста герц и амплитудой от 0,3 до 3 мм.

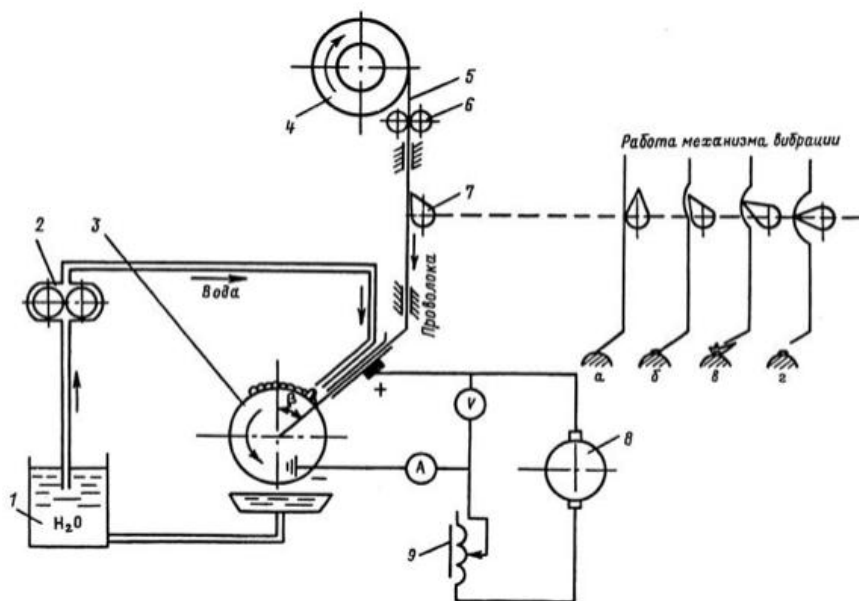


Рис. 3.25 – Схема установки вибродуговой наплавки деталей:

1 – емкость с охлаждающей жидкостью; 2 – водяной насос; 3 – деталь; 4 – кассета с электродной проволокой; 5 – электродная проволока; 6 – ролики подачи проволоки; 7 – механизм вибрации; 8 – источник тока; 9 – регулятор режима наплавки металла; а – контакт электродной проволоки с деталью; б – отрыв электродной проволоки от детали с возникновением дуги; в – процесс наплавки сварочной дугой; г – гашение сварочной дуги

В результате вибрации электрода время существования дуги составляет около одной пятой от времени всего рабочего цикла и на поверхность переносится малое количество металла. Поэтому глубина провара получается небольшой, а тепловое воздействие на основную деталь –

минимальным. Вибродуговое наплавление выполняют с помощью полуавтоматов, оснащенных специальными электромеханическими устройствами прерывистой подачи, при этом используется проволока для наплавки диаметром 1,6–2 мм. Процесс наплавления осуществляется в среде защитных газов (углекислый газ, аргон и др.), водяного пара, водных растворов или пены, под флюсом и т.д.

Режимы вибродуговой наплавки деталей представлены в табл. 3.8 [94].

Таблица 3.8

Режимы вибродуговой наплавки деталей

| Толщина наплавляемого слоя, мм | Диаметр электродной проволоки, мм | Сила сварочного тока, А | Скорость наплавки, м/ч |
|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 0,3 | 1,6 | 120–150 | 132 |
| 1,1 | 2,0 | 150–210 | 60 |
| 2,5 | 2,5 | 150–210 | 18 |

Вибродуговая наплавка имеет следующие преимущества: небольшой нагрев детали, возможность наплавки деталей с малым диаметром (8–10 мм), незначительная зона термического влияния, возможность получения необходимых прочностей наплавленного слоя за счет применения различных марок электродной проволоки.

К недостаткам вибродуговой наплавки относятся наличие пор и микротрещин в наплавленном металле, большие внутренние напряжения в деталях, что резко снижает их усталостную прочность (на 30–40 %), особенно при работе на знакопеременных нагрузках.

Ограничение количества охлаждающей жидкости и подача ее на деталь на некотором расстоянии от зоны наплавки позволяют во многих случаях предупредить образование трещин в наплавленном металле. При вибродуговой наплавке под флюсом или в среде защитных газов деталь можно подвергать предварительному подогреву, и тем самым повышать качество наплавленного металла. Естественно, что в этом случае наплавленный металл будет обладать более низкой твердостью.

Для наплавки применяются электродные проволоки Св-08, Св-08ГА, Св-ЮГ2, Св-18ХГСА, Св-18ХМА, Нп-3ОХГСА, а также проволоки из конструкционной стали марок 40, 50, 70, 65Г, пружинной углеродистой стали марок ОВС, ВС, П-1, ПК-1 и др.

Получение наплавленного металла без трещин, пор и других дефектов, усталостная прочность восстановленной детали, толщина и твердость наплавленного слоя, а также производительность процесса определяются преимущественно режимом и условиями наплавки.

При вибродуговой наплавке, кроме силы тока, напряжения дуги, скорости наплавки, шага наплавки и смещения электрода с зенита, важнейшими параметрами режима являются: частота и амплитуда колебаний электрода, количество подаваемой охлаждающей жидкости, угол подвода электродной проволоки к восстанавливаемой детали, сила тока короткого замыкания, индуктивность контура сварочной цепи и длительность электрических разрядов между электродом и изделием.

При наплавке на постоянном токе необходима обратная полярность, так как при наплавке на прямой полярности резко увеличиваются потери металла на разбрызгивание, а также возникает опасность несплавления наплавляемого слоя с основным металлом.

При вибродуговой наплавке в среде жидкости применяют напряжение дуги 12–22 В. При более низком напряжении дуги могут образоваться непровары и другие дефекты, а при более высоком заметно увеличивается разбрызгивание электродного металла. Если вибродуговая наплавка производится с использованием флюса, то напряжение дуги должно составлять 25–30 В.

С повышением силы тока увеличиваются потери электродного металла на угар и разбрызгивание и ухудшается чистота поверхности наплавленного слоя, поэтому наплавку выполняют на токе не более 200 А. Величины тока изменяются в зависимости от скорости подачи электродной проволоки.

При наплавке цилиндрической детали проволока может подводиться к детали сбоку или в верхней точке, немного смещенной с зенита, как это показано на рис. 3.26 [95]. При этом колебания электрода должны быть направлены перпендикулярно касательной в точке, т.е. в месте подвода проволоки к детали. При несоблюдении этого условия происходит «размазывание» дуги и ухудшение чистоты наплавленного слоя. При наплавке слоя толщиной 1,5–3 мм угол между осевыми линиями детали и электрода должен составлять 65–75 градусов, при мень-

шей толщине слоя – 75–90 градусов; вылет электрода за контактные поверхности мундштука – 8–12 мм.

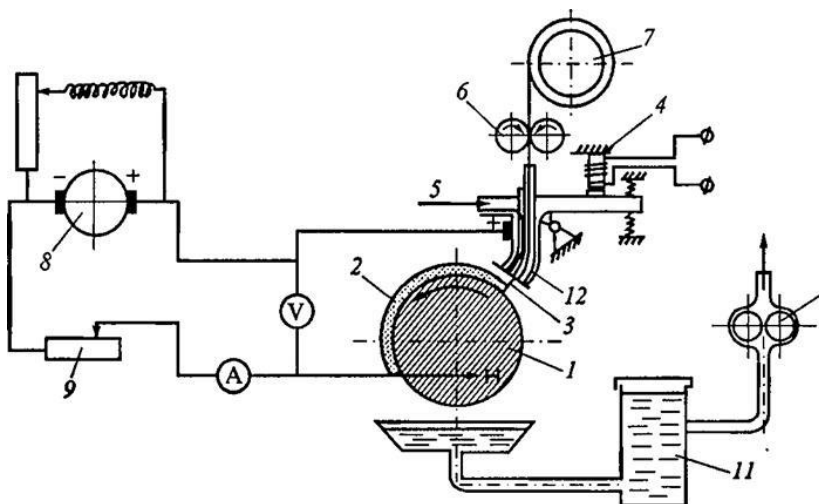


Рис. 3.26 – Схема вибродуговой установки для наплавки деталей:

1 – деталь; 2 – наплавленный металл; 3 – электродная проволока; 4 – электромагнитный вибратор; 5 – подвод жидкости; 6 – ролики подающего механизма; 7 – кассета для проволоки; 8 – генератор; 9 – дроссель; 10 – насос; 11 – бак с жидкостью; 12 – вибрирующий мундштук

Наиболее производительной является наплавка в один слой с минимальным припуском на механическую обработку.

При расчете требуемой толщины наплавленного слоя необходимо учитывать, что припуск на механическую обработку должен составлять от 0,6 до 1,2 мм.

Обычно величину шага наплавки при напряжении 10–12 В принимают равной 1,2–1,5 диаметра используе-

мой электродной проволоки, при напряжении 15–22 В – 1,2–2,0 диаметра электродной проволоки.

В качестве охлаждающей жидкости наиболее часто применяют 3–5 %-й водный раствор кальцинированной соды. Иногда к этому раствору добавляют немного машинного масла и технического глицерина или 20–25 %-й раствор технического глицерина.

Средняя величина тока при диаметре проволоки от 1,4 до 1,8 мм составляет от 100 до 200 А. При наплавке проволокой марки ОВС можно применять напряжение 12–14 В, а малоуглеродистой проволокой – 16–18 В.

Рекомендуемые режимы вибродуговой наплавки приведены в табл. 3.9 [96].

Таблица 3.9

**Ориентировочные режимы вибродуговой
автоматической наплавки в струе жидкости
(4 %-ный водный раствор кальцинированной соды)**

| Диаметр проволоки, мм | Напряж- ние дуги, В | Сила тока*, А | Скорость подачи проволоки, м/ч | Амплитуда вибрации, мм | Производи- тельность наплавки, кг/ч |
|-----------------------|---------------------|---------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| 0,5–0,8 | 12–15 | 80–90 | 54 | 1,0–1,2 | 0,8–0,9 |
| 1,0–1,6 | 12–18 | 90–100 | 57 | 1,2–1,6 | 0,8–1,0 |
| 1,8–2,2 | 18–19 | 100–110 | 61,2 | 1,8–2,0 | 0,9–1,1 |
| 2,2–2,5 | 20–21 | 110–130 | 72 | 2,0–2,5 | 1,2–1,3 |
| 2,5–3,0 | 22–24 | 130–180 | 82 | 2,0–2,5 | 1,3–1,5 |
| 3,0–4,0 | 24–26 | 210–240 | 82 | 2,5–3,0 | 1,8–2 |

* Примечание: Ток постоянной и обратной полярности

Вибродуговая наплавка применяется для восстановления деталей из разных видов стали:

– низколегировемых цементируемых с содержанием углерода от 0,1 до 0,25 %;

– среднеуглеродистых легированных и инзколегированных, содержащих от 0,25 до 0,6 % углерода.

Технология вибродуговой наплавки разработана для ремонта изношенных валов, ступиц, корпусов, наплавки конических и плоских поверхностей.

Нюансы технологического процесса:

- оптимальное напряжение источника питания до 20 В;
- требуется постоянный электрический ток;
- контакты подключаются по обратной полярности: плюс подключают к электроду, минус выводят на наплавляемую деталь (анодное пятно – точка максимального разогрева дуги смещается к кончику электрода, металл меньше подвергается разогреву);
- количество охлаждающей эмульсии регулируется, кран устанавливают на наплавочной головке аппарата вибродуговой наплавки;
- струя охлаждающей эмульсии направляется в область за столбом дуги, при попадании воды в дугу процесс восстановления нарушается;
- соотношением скоростей вращения детали и подачи наплавочной проволоки регулируют толщину наплавляемого слоя (если подача наплавки опережает вращение, слой будет максимальным, при увеличении окружной скорости вибродуговой валик растягивается, становится уже, тоньше);
- в аппарат заправляют проволоку толщиной от 1,5 до 2,5 мм;

- равномерность издаваемого звука – залог образования слоя одинаковой толщины;
- стабильность процесса контролируют с помощью амперметра – стрелка не должна сильно дергаться, когда резко отклоняется, наплавочный слой образуется прерывистым.

3.4. Газопламенная наплавка

Газопламенная наплавка считается самым простым и доступным способом наплавления металла, при котором источником тепла служит пламя горящего ацетилена или пропан-бутановой смеси (рис. 3.27, [97]).

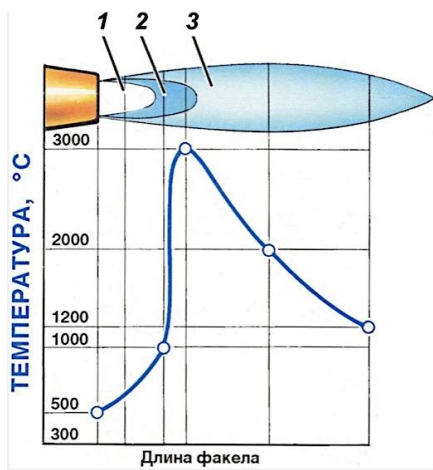


Рис. 3.27 – Строение и температура ацетилено-кислородного пламени

Ацетилено-кислородное газовое пламя (ГП) состоит из трех ясно выраженных зон – ядра (1), восстановительной зоны (2) и факела (3):

– первая зона представляет собой смесь C_2H_2 с кислородом, истекающую из горелки. Она видна в пламени как белое яркое пятно (ядро);

– вторая зона представляет собой результат неполного сгорания C_2H_2 . Она видна в пламени как слабо-фиолетовый ореол первой зоны и характеризуется наличием свободного водорода и окиси углерода. Вторая зона называется восстановительной;

– третья зона (факел) имеет пурпурно-фиолетовый цвет и называется окислительной зоной.

Все эти три зоны имеют разную температуру, за счёт протекания в них разных процессов. Самая высокая температура развивается в восстановительной зоне, на расстоянии от ядра 2–4 мм. Именно восстановительной зоной осуществляется нагрев металла при газовой сварке.

Форма ядра – конус с закругленной вершиной, имеющий светящуюся оболочку. Ядро состоит из продуктов распада ацетилена с выделяющимися раскаленными частицами углерода, которые сгорают в наружном слое оболочки. Длина ядра зависит от скорости истечения горючей смеси из мундштука горелки. Чем больше давление газовой смеси, тем больше скорость истечения, тем длиннее ядро пламени.

Восстановительная зона по своему темному цвету заметно отличается от ядра. Она состоит в основном из оксида углерода и водорода, получающихся в результате частичного сгорания ацетилена: $C_2H_2 + O_2 = 2CO + H_2$. В этой зоне создается наивысшая температура пламени (3000 °С)

на расстоянии 3–4 мм от конца ядра. Этой частью пламени производят нагревание и расплавление свариваемого металла. Важным показателем сварочного пламени является его тепловая мощность.

В качестве горючего газа для газопламенной наплавки чаще всего применяют именно ацетилен по основной причине того, что максимальная температура пламени которого составляет при сгорании в кислороде 3150 °С, а другие газы – 2000–2300 °С. В качестве другого газа для газопламенной наплавки используют пропан-бутан, который, однако, не даёт достаточно высокой температуры, а, следовательно, у него малое выделение тепла в сварочной зоне нормального пламени. Кроме того, ещё одной причиной является то, что пропан-бутан, а также другие природные газы очень «грязные» по своему составу, что плохо сказывается на качестве наплавочного слоя покрытия.

Применение ацетилена, получаемого при взаимодействии карбида кальция с водой в специальных, простых по устройству аппаратах (называемых генераторами), ограничено его дороговизной: он в 15–20 раз дороже других горючих газов и взрывоопасен. Вместе с тем, большое распространение получило использование ацетилена из баллонов. Баллоны заполняют на специальных промышленных предприятиях, при этом учитывают свойство ацетилена растворяться в ацетоне. В таком виде ацетилен практически безопасен. Кроме того, потребление ацетилена из баллона упрощает обслуживание и повышает производительность труда сварщика.

Газопорошковая наплавка позволяет упрочнять детали сложной конфигурации слоем минимальной толщины (0,1–0,3 мм) без разбавления основным металлом, т.к. зона перехода при этом составляет всего 100–120 мкм.

При наплавке, в отличие от сварки, малая глубина проплавления основного металла является желательной величиной, поэтому газопорошковую наплавку выполняют способом скоростной сварки. При наплавке таким способом используют горелку с соплом большого диаметра, нагревая основной металл науглероживающим пламенем.

Способы газопламенной наплавки с использованием наплавочных материалов в виде прутков, стержней и проволоки являются в известной мере традиционными. Они давно применяются в промышленности и по технике исполнения мало отличаются от электродуговых методов.

В качестве присадочного материала обычно применяется сварочная проволока или прутки, которые подаются в зону сварки ручным или механизированным способом, а для флюсов чаще всего используют смеси на основе буры и борной кислоты.

Детали небольшого размера наплавляют по традиционной технологии без предварительного разогрева, а крупные перед наплавкой необходимо нагревать до температуры не менее 500 °С.

Для газопорошковой наплавки используются горелки двух типов:

– с подачей порошка или присадочного прутка непосредственно в горючую смесь (рис. 3.28, [98]);

– с внешней подачей порошка (прутка, ленты) в пламя (рис 3.29, [99]).

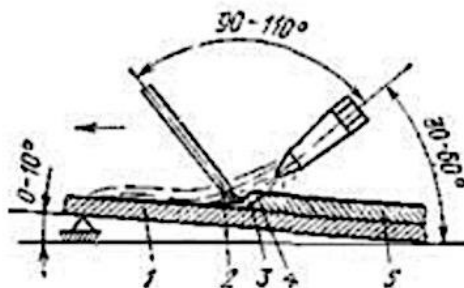


Рис. 3.28 – Схема газопламенной наплавки с внешней подачей присадочного прутка:

1 – основной металл; 2 – присадочный пруток; 3 – жидкая ванна; 4 – пленка флюса; 5 – наплавленное покрытие

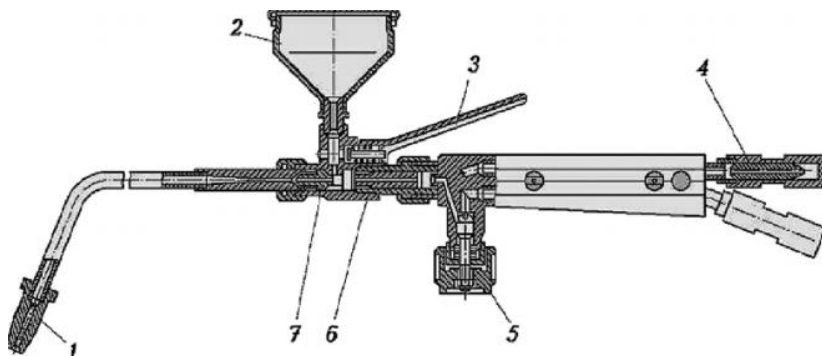


Рис. 3.29 – Устройство горелки марки ГН-2 для газопорошковой наплавки:

1 – мундштук; 2 – бункер для порошка; 3 – рычаг подачи порошка; 4 – штуцер; 5 – вентиль; 6 и 7 – инжекторы

Кроме проволочных и прутковых присадок, при газопламенном наплавлении также используют порошковые присадки, которые направляются в газовую струю из спе-

циального накопителя, плавятся в потоке пламени и в виде мелких капель металла оседают на поверхности детали.

Наряду со способами газопламенной наплавки с внешней подачей присадочного прутка, стержней и проволоки получил значительное развитие способ газопорошковой наплавки. В ремонтной практике применяются, в основном, специальные горелки газопорошковой наплавки инжекторного типа (см. рис. 3.29). В отличие от сварочных газопорошковые наплавочные горелки инжекторного типа снабжены бункерным устройством для металлического порошка и системой каналов, обеспечивающих подачу порошка в кислородно-газовое пламя. Газопорошковые наплавочные горелки работают по схеме двухступенчатой инъекции, при которой кислород в смесительной камере сначала смешивается с горючим газом, а затем горючая смесь во второй смесительной камере инжектирует металлический порошок в мундштук горелки. Поступающие в пламя частицы металлического порошка расплавляются и наносятся на нагретую этим же пламенем поверхность восстанавливаемой детали.

Горелка ГН-4, например, обеспечивает работу на экзотермических смесях металлических порошков. Поэтому в горелке ГН-4 предусмотрено раздельное формирование горючей смеси и флюсосодержащего потока: одна часть кислорода поступает в инжектор, размещенный в смесительной камере, присоединённой к её корпусу, где инжектируется горючий газ, после чего горючая смесь поступает в концентрически расположенные подогревающие отвер-

ствия наконечника, а другая часть кислорода инжектирует металлический порошок из бачка бункера и подаёт в центральный канал наконечника. На выходе из мундштука горючая смесь (ацетиленово-кислородная) сгорает, образуя наплавочное пламя, обеспечивающее нужный нагрев наплавляемой поверхности восстанавливаемой детали и частиц порошка, создавая общую наплавочную ванну.

Газопорошковая наплавка – эффективный и простой процесс, позволяющий получать на деталях сложной конфигурации слой наплавленного металла толщиной от 0,2 до 2 мм и более. Этот вид наплавки применяют при восстановлении профильных поверхностей типа кулачков распределительного вала и других деталей, которые входят в кинематические пары с линейным или точечным контактом. Твердость наплавленного металла достигает 60 HRC, отсутствует перемешивание его с основой и сохраняется химический состав исходного материала при минимальном припуске на обработку.

Наплавку ведут гранулированным самофлюсующимся порошком системы хром-бор-никель с добавками кремния. Наличие в них бора и кремния придает им самофлюсующие свойства, и наплавка производится без применения флюса, что выгодно отличает газопорошковую пайкосварку от других способов наплавки. Расход порошка составляет до 2,7 кг/ч. Рекомендуемый размер частиц порошка строго сферической формы 40–100 мкм. Газопорошковую наплавку используют в основном при восстановлении изношенных поверхностей автотракторных де-

талей, работающих в условиях металлического, эрозионного, теплового и ударного износа.

Недостаток этого способа – низкое использование наплавочных материалов (60–80 %), меньшая, чем при дуговой сварке, скорость нагрева и расплавления металла.

При наплавке крупных изделий толщиной более 6–8 мм производительность, по сравнению с дуговой наплавкой, значительно ниже, поэтому газопламенную наплавку применяют преимущественно для наплавки мелких деталей. Стоимость используемых газов выше стоимости электроэнергии, вследствие этого газопламенная наплавка дороже электродуговой. Газопламенная наплавка труднее, чем электрическая, поддается механизации и автоматизации.

Преимущества газопламенной наплавки – сравнительно простое и недорогое оборудование, возможность широкого маневрирования мощностью.

Наиболее качественные покрытия получают при первоначальном напылении подслоя терморезирующим порошком толщиной 0,05–0,15 мм, а затем основного слоя износостойким порошковым сплавом толщиной 2 мм. Подслой и основной слой наносят при одних и тех же режимах напыления:

- давление кислорода 0,35–0,45 МПа;
- давление ацетилена 0,03–0,05 МПа;
- расход кислорода 960–1100 л/ч;
- расход ацетилена 900–1000 л/ч;

- расстояние от среза сопла мундштука до наплавляемой поверхности 160–200 мм;
- продольная подача 3–5 мм/об;
- расход порошка 2,5–3,0 кг/ч.

В последние десятилетия все большее применение находят шнуровые присадочные материалы, состоящие из органического связующего, составляющего оболочку, и порошкового наполнителя, включающего высокотвердые компоненты и соединения, обеспечивающие протекание экзотермических реакций и синтезирование новых фаз в процессе напыления. Все это вместе взятое надёжно позволяет повысить показатели адгезионной и когезионной прочности.

Прочность и эластичность гибких шнуров позволяет пользоваться ими также, как и проволокой, и наносить покрытия с помощью газопламенных аппаратов проволочно-го типа. В шнуровых материалах используют порошковые наполнители на основе самофлюсующихся сплавов систем Ni(Co)-Cr-B-Si, вследствие чего отпадает необходимость в дополнительном использовании защитных газов или флюсов, и в смесях с карбидом вольфрама или оксидами алюминия, титана, хрома, циркония.

Шнуры производятся диаметром от 4,0 до 7,0 мм и размером зерен литого карбида вольфрама в диапазоне от 0,1 до 2,5 мм, причем для конкретных видов изнашивания деталей применяются специальные комбинации мелкозернистого и крупнозернистого карбида вольфрама. Равномерное распределение зерен карбидов в порошковом

шнуре обеспечивает благоприятное их расположение на напыляемой поверхности, что приводит к повышению износостойкости наплавленного слоя (рис. 3.30, [100]).

Только газопламенный метод позволяет получить однородную поверхность при наплавлении сплавов типа латуни. Кроме этого, у газопламенной наплавки существует такое преимущество, как большая регулируемость степени нагрева, что позволяет легко изменять глубину наплавления. Наплавление меди и бронзы лучше всего производить электродуговыми методами.



Рис. 3.30 – Технология ручной газопламенной наплавки шнурового материала «Сфекорд-НР» [100]

При наплавке газопламенным способом латуней на черные металлы подходит подавляющее большинство латунных присадок, кроме тех, что изготовлены из кремнистой латуни (ЛК62–05, ЛК80–3 и др.). Кремнистые латуни создают пористый слой на участке сплавления и не обеспечивают надежного соединения с черным металлом. Хо-

рошо подходят латуни марок ЛК62–02 – с пониженным содержанием кремния, и ЛНК56-03-6 – легированные никелем.

Газопламенная наплавка металлических деталей простыми латунями выполняется с использованием газообразных флюсов БМ-1 или любых других, что и для сварки латуни. Флюс вводят прямо в пламя, поэтому процесс называется газифлюсовой наплавкой. Кремнистые латуни наплавляют с использованием флюс-пасты № 3. Флюс вводят в расплавленный металл вручную (кроме газообразных).

Обычно газопламенная наплавка выполняется левым способом в нижнем положении. Для уменьшения испарения цинка при наплавке латуни используется науглероживающее пламя. В качестве горючего газа применяется ацетилен, пропан-бутан и природные газы. В качестве наплавочного материала применяют все марки латуней, в которых содержание свинца не превышает 0,1 %.

Поверхности наплавляемых деталей перед наплавкой зачищают до металлического блеска. Присадочный металл также очищается от загрязнений и окислов. При наплавке на крупногабаритные детали их подогревают до температуры 500 °С. При использовании порошкообразных флюсов детали подогревают до 900–950 °С. Их используют чаще для наплавки латуни на сталь и чугун.

Во время наплавки прямолинейными слоями можно наклонять деталь под углом до 15 градусов для увели-

чения высоты наплавленного слоя. При наплавке кольцевых швов угол наклона не должен превышать 40 градусов.

Мощность ацетиленового пламени и диаметр присадочного прутка выбирают в зависимости от толщины наплаваемого слоя (табл. 3.10, [101]).

Наплавка бывает как однослойная, так и многослойная. При наложении последующих слоев оплавляется предыдущий слой на глубину около 30 % его толщины. Флюс вводится в наплавочную ванну вручную. Поверхность металла перед нанесением флюса нагревают до температуры 900–950 °С, после чего производится наплавка, первый слой наплавляют толщиной 0,3–0,5 мм.

Таблица 3.10
**Мощность ацетиленового пламени
и диаметр присадочного прутка**

| Толщина наплаваемого слоя, мм | Диаметр присадочной проволоки, мм | Номер наконечника | Мощность ацетилено-кислородного пламени, м куб./ч |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------|---|
| 3-4 | 4-6 | 4 | 400-700 |
| 5-6 | 8-10 | 5 | 600-1100 |
| 7-8 | 10-12 | 6 | 1050-1750 |

Техника газопламенной наплавки латуни на сталь и чугуна в основном одинакова. При наплавке чугуна необходимо учитывать, что при нагреве до температуры 900–950 °С на его поверхности происходит выгорание графита, продукты сгорания которого затрудняют смачивание. Поэтому графит вначале выжигают с поверхности наплавки. Выжигание производят окислительным пламенем горелки. Затем наплаваемая поверхность тщательно зачищается

металлической щеткой. При наплавке чугуна латунию возможно также его отбеливание. Наплавка чугуна латунию с применением порошковых флюсов применяется в ограниченных случаях. При газофлюсовой наплавке чугуна и стали деталь нагревают горелкой до температуры ~ 700 °С. Нагрев до 500 °С производится без подачи флюса в пламя горелки, далее только с флюсом. При газофлюсовой наплавке флюс БМ-1 вводится в пламя горелки автоматически с помощью установки КГФ-371.

Наплавляемую поверхность располагают под углом 8–10 градусов к горизонтали. Наплавка выполняется левым способом снизу вверх.

Угол наклона мундштука горелки к горизонтали 30–60 градусов, угол между мундштуком горелки и прутком 90–110 градусов.

Конец прутка погружается в ванну жидкого металла. При нормальном процессе наплавки испарение цинка отсутствует, наплавляемый валик ложится компактно, часть ванны, не подвергающаяся воздействию пламени, закрыта сплошной пленкой шлака.

Поверхность наплавленного металла должна быть гладкой и покрытой сплошной коркой шлаков. При наплавке последующих слоев наплавка производится по той же схеме, только может быть увеличен угол наклона между мундштуком и основным металлом. Так как наплавка с применением газообразного флюса ведется при низких температурах, то графит при наплавке чугуна не выгорает.

Очистка и проковка предыдущих слоев при наплавке последующих не требуется.

Газопламенная наплавка отличается от газопламенной резки или сварки только наличием наплавляемого металла.

3.5. Плазменная наплавка

Плазменная наплавка относится к дуговому виду сварочной наплавки и характеризуется искусственным сжатием столба дуги в канале сопла плазменно-газовым потоком газа или магнитным полем.

Плазменная наплавка применяется при восстановлении изношенных деталей, когда необходимо восстановить размеры деталей и при этом обеспечить свойства наплавленного слоя, близкие к свойствам основного металла. В процессе плазменной наплавки формирование покрытия происходит проникающей дугой при дополнительном воздействии плазменно-газового потока, который создается дуговым разрядом, размещенным в узком канале специального устройства при обдуве электрической дуги потоком плазмообразующего газа. При плазменной наплавке стремятся к минимальному перемешиванию основного металла с наплавленным, что обеспечивает высокие свойства наплавленного слоя.

Сущность плазменной наплавки состоит в том, что присадочный и основной металлы расплавляются с помощью высококонцентрированного электродугового разряда (плазменного потока), который формируется между элект-

тродом плазмотрона и изделием (плазма прямого действия) или между электродом и водоохлаждаемым соплом плазмотрона (косвенного действия). Плазменный поток (струи) получают путем нагрева плазмообразующего газа в электрической дуге, горящей в закрытом пространстве. Температура струи достигает 10000–30000 °С, а скорость в 2–3 раза превышает скорость звука.

При этом присадочный материал также может быть электрически нейтральным по отношению к струе плазмы или электрически связанным с ней (рис. 3.31, [102]). В качестве присадочного материала используются проволоки, прутки, сыпучие порошковые материалы или специально приготовленные шнуры из порошков.

Плазмотрон состоит из охлаждаемых водой катода б и анода 1, смонтированных в рукоятке. Катод б обычно изготавливают из вольфрама или лантанированного вольфрама (вольфрамовые стержни с прикладкой 1–2 % окиси лантана), анод 1 (сопло) выполняют из меди (водоохлаждаемое сопло). Катод б и анод 1 изолированы друг от друга прокладкой изоляционного материала (асбеста). Подача напыляемого порошка или напыляемой проволоки осуществляется непосредственно в плазменную струю.

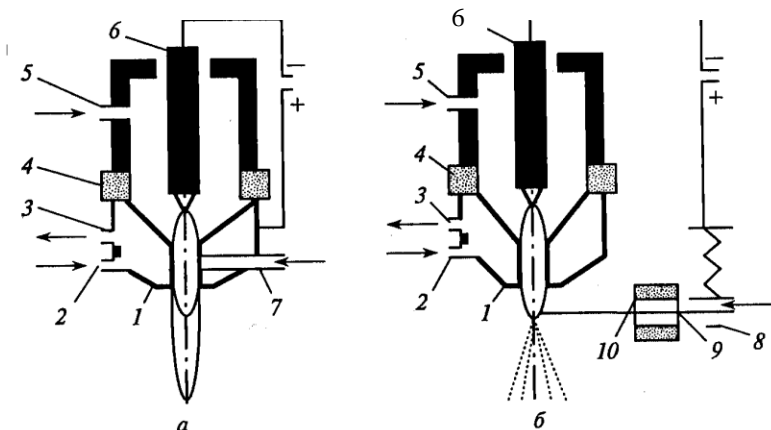


Рис. 3.31 – Схема плазмотрона:

а – для работы на порошках; *б* – для работы на проволоке;
 1 – сопло плазменной струи (анод); 2, 3 – подвод и отвод охлаждающей воды; 4 – изолирующее кольцо; 5 – подвод плазмообразующего газа; 6 – вольфрамовый электрод (катод);
 7 – подача напыляемого порошка; 8 – контактное устройство для проволоки; 9 – напыляемая проволока (анод);
 10 – направляющая трубка для проволоки

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

- гладкая и ровная наплавленная поверхность, что позволяет оставлять припуск на механическую обработку в пределах 0,4–0,9 мм;

- малая глубина проплавления основного металла (0,3–2,5 мм) и небольшая зона термического влияния (3–6 мм) обуславливают долю основного металла в покрытии менее 5 %;

- при небольшой глубине расплавления (от 300 микрон до 2,5 мм) формируется незначительная зона термическо-

го влияния, риск образования внутренних дефектов минимальный;

- малое вложение тепла в обрабатываемую деталь обеспечивает небольшие деформации и термические воздействия на структуру основы;

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

- термический КПД наплавки в 2–3 раза выше, чем при электродуговом процессе. Производительность процесса 0,4–5,5 кг/ч.

- производительность плазменно-порошковой наплавки аустенитных нержавеющей сталей не уступает производительности электродуговой наплавки;

- метод применим для многих материалов, включая тугоплавкие;

- геометрические параметры и форма детали значения не имеют, результативность обработки стандартная;

- можно наносить наплавку в несколько слоев – толщиной до 6,5 мм с припуском от 400 до 900 микрон;

- за счет большой скорости разогрева металл подвергается обработке наплавкой практически не успевает прогреться на большую глубину, вследствие чего структурная зернистость не изменяется и удается избежать коробления, деформации деталей;

- защитные покрытия можно наносить на тонкие поверхности, минимальная толщина плазменного напыления не более 200 микрон;
- плазменная обработка эффективнее электродуговой наплавки в разы;
- поток плазмы регулируется с большой точностью.

Для восстановления быстроизнашивающихся деталей автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин и т.д. широко применяется износостойкая наплавка. Такая наплавка осуществляется различными твердыми сплавами: литыми (стеллит, сормайт), трубчатыми (рэлит), порошковыми (сталинит, сормайт, боридо-хромовые смеси).

Плазменная наплавка твердых сплавов может быть осуществлена как по схеме наплавки с токоведущей присадочной проволокой (в случае применения литых или трубчатых сплавов), так и по схеме наплавки порошками.

Так как проволока из литых и трубчатых сплавов не изготавливается, то вместо присадочной проволоки применяются присадочные токоведущие прутки.

Присадочный пруток подается к плазменной струе между двумя направляющими роликами по направляющей медной трубке.

В качестве плазмообразующего и защитного газа используется аргон.

Разработано несколько способов нанесения наплавочного материала, среди которых, кроме непосредственно использующих в отдельном виде порошковые ма-

териалы или проволоку, прутки, ленты, заслуживают внимания:

- плазменно-порошковая наплавка, у которой наплавочный гранулят из питателя механически подается в плазмотрон, где транспортируется газом в рабочую зону формирования слоя покрытия;

- комбинированный способ плазменной наплавки, объединяющий два вида подачи: автоматически в рабочую зону поступают гранулы и проволока, из которых там получается расплав с определенными физико-химическими свойствами. Возможно наплавление твердых сплавов: литых, трубчатых, порошковых. Принцип работы такой же, как с присадочной проволокой;

- микроплазменная обработка металлов – разновидность проволочного плазменно-дугового напыления тонкостенных изделий, формируется пятно диаметром от 1 до 5 мм, ламинарная плазменная струя отличается низким уровнем шума в пределах 50 дБ.

Установки для плазменной наплавки в зависимости от объема производства наплавляемых деталей, требований к уровню автоматизации технологического процесса и других факторов могут быть выполнены как универсальные (позволяющие наплавлять детали разной формы), так и как специализированные, предназначенные для наплавки деталей одного типа:

- клапанов двигателей внутреннего сгорания;
- дисков и множества других деталей.

Технические характеристики универсальных и специализированных установок для наплавки приведены в табл. 3.11 и 3.12 [103].

Таблица 3.11

Технические характеристики универсальных установок для плазменной наплавки

| Параметры | УПН-303 | Об-2184 | УПНС-304 |
|--|------------------|-----------------|-----------------|
| Номинальная сила рабочего тока, А | 315 | 315 | 315 |
| Регулируемая сила тока, А | 50-315 | 50-315 | 40-315 |
| Производительность порошкового питателя, кг/ч, менее | 12 | 15 | – |
| Скорость перемещения самоходной головки, м/ч | 0,2-20 | 3-6 | – |
| Частота вращения планшайбы манипулятора, мин ⁻¹ | 0,05-2,5 | 0,1-5 | – |
| Размах колебаний плазмотрона, мм | ≤ 60 | ≤ 25 | – |
| Габаритные размеры, мм | 3450x 2800x 2000 | 1800x1160x 1850 | 1200x 680x 2800 |
| Масса, кг | 2820 | 800 | 400 |

Для плазменной наплавки порошками наибольшее распространение получили универсальные установки УПН-303, Об-2184 и УПНС-304 (табл. 3.12). Они имеют производительность наплавки 5–6 кг/ч. Установка УПН-303 имеет поворотную колонну с направляющей балкой, подвесную самоходную головку и манипулятор изделия. Установка комплектуется сменными плазмотронами для наплавки постоянным током прямой или обратной полярности. Номинальная грузоподъемность манипулятора 500 кг, мак-

симальный диаметр изделия, закрепляемого на планшайбе манипулятора – 1500 мм.

Таблица 3.12

Технические характеристики специализированных установок для плазменной наплавки УД-417 и УД-307

| Параметры | УД-417 | УД-307 |
|---|----------------|----------------|
| Размеры наплавляемых деталей, мм: | | |
| диаметр | 500-300 | 57- 83 |
| длина в центрах | 100-800 | 130-315 |
| на люнетах, менее | 1200 | – |
| в центрах | 200 | 6 |
| на люнетах | 1600 | – |
| Сила тока наплавки, А | 120-450 | 120-350 |
| Скорость подачи присадочного материала (регулировка плавная), м/ч | 15-75 | 990 |
| Размах колебаний плазмотрона, мм | 0-20 | 0-50 |
| Расход аргона, л/ч | 600-900 | 900-1200 |
| Габаритные размеры, мм | 1800x1300x1600 | 3500x2000x2000 |
| Масса, кг | 650 | 1100 |

Специализированные установки УД-417 и УД-307 (см. табл. 3.12) предназначены для плазменной наплавки с присадкой порошковой проволоки диаметром 2,0–3,5 мм или порошковой ленты сечением 2,5x5,0 или 4x8 мм. Первая из них используется преимущественно для наплавки деталей типа «вал».

3.6. Лазерная наплавка

Лазерная наплавка (лазерное осаждение металлов) относится к наиболее эффективным методам восстановления покрытий, обладающих повышенной износостойкостью, работает по тому же принципу, что и порошковые плазменная и газопламенная. Здесь также создается поток

присадочного материала из порошка с соединениями металлов и флюса, только его расплавление производится при помощи сфокусированного луча лазера. Основным элементом лазерных установок является специальная головка с соплом, в котором образуется нагретый лазером поток газа, и порошковый инжектор, впрыскивающий в этот поток присадочный порошок (рис. 3.31, [104]).

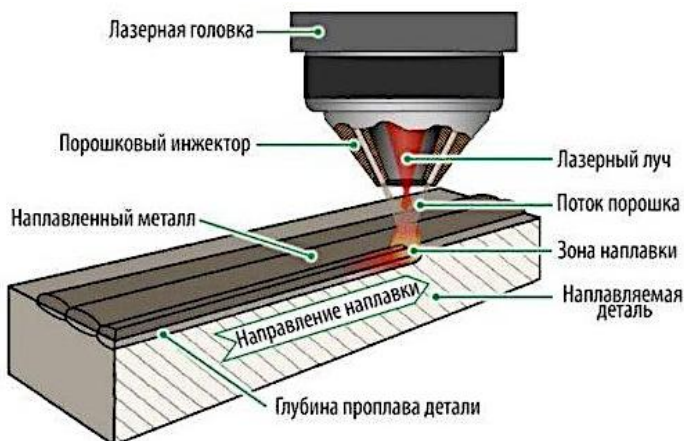


Рис. 3.31 – Схема лазерной наплавки

По сравнению с другими видами наплавочных технологий лазерная наплавка характеризуется высокой точностью и стабильностью технологических режимов. Недостаток традиционных видов наплавки (плазменной, газопламенной) в подплавлении основы при значительном термическом воздействии на нее. Обработка порошкового материала локально направленным лучом мощного лазера исключает разогрев оплавливающейся поверхности при высокой скорости наплава.

Лазерная наплавка – технология, позволяющая восстанавливать детали из металла, которые при эксплуатации подвергаются повышенному износу, динамическим нагрузкам и механическим воздействиям. Лучом, генерируемым лазерной головкой, на поверхности изделия создается ванна расплава. В эту зону подают присадки: порошок, проволоку, газопорошок или другой материал. В результате образуются сварные наплавки, восстанавливающие изношенную поверхность изделий. В ходе технологического процесса лазерной наплавки убираются трещины, сколы, царапины, задиры, забоины и прочие дефекты поверхности, восстанавливается прочность изделия.

По характеру излучения технология лазерной наплавки бывает двух типов: непрерывная и импульсная.

Преимущество импульсного лазера в минимальных размерах области воздействия при высокой скорости процесса. Эти факторы снижают нагрев детали, препятствуют растеканию металла вокруг зоны наведения лазера, что важно для выполнения разных объемов наплавочных работ. Обработку непрерывным лазером применяют для трудно свариваемых материалов. Средний показатель в зоне перемешивания металлов основы и присадочного материала находится в пределах 10–30 мкм, с учетом режимов наплавления и варьирования толщины наплавки в диапазоне 0,3–3,0 мм за время одного прохода.

Особенности и характеристики технологии лазерной наплавки:

- Источник питания мощностью до 8000 Вт.

- 100 %-ная автоматизация процесса.
- Автоматический контроль параметров наплавки.
- Высокая степень концентрации энергии.
- Минимальные термические влияния.
- Степень перемешивания наплавляемого материала с основным составляет не более 1 %.
- Ультрадисперсная структура.

Микроструктура и свойства покрытий, полученных лазерной наплавкой:

- Толщина наплавленного слоя до 10 мм. Зона термовлияния менее 100 мкм (до 5 % наплавленного слоя).
- Твердость наплавленного слоя до 70 HRC.
- Любой состав порошка.
- Высокая стойкость к эрозионному и коррозионному износу.

Подача материала в ванну расплава может осуществляться в виде порошка или проволоки, на качество результата это не влияет. В случае с порошковой наплавкой на современном производстве подачу затратного материала выполняют одним из трех основных способов:

- Последовательное оплавление лазерным лучом поверхности детали с предварительно нанесенным слоем порошковой пасты (обмазки), состав которой удовлетворяет определенным требованиям.

- Лазерная наплавка порошка, подаваемого внутрь плавильной ванны методом впрыскивания сбоку от сфокусированного луча лазера (рис. 3.32, а) [105].

– Лазерная наплавка обогащенного газом порошка, подаваемого через сопло непосредственно в зону работы лазера сплошным потоком конусообразной формы (рис. 3.32, б) [105].

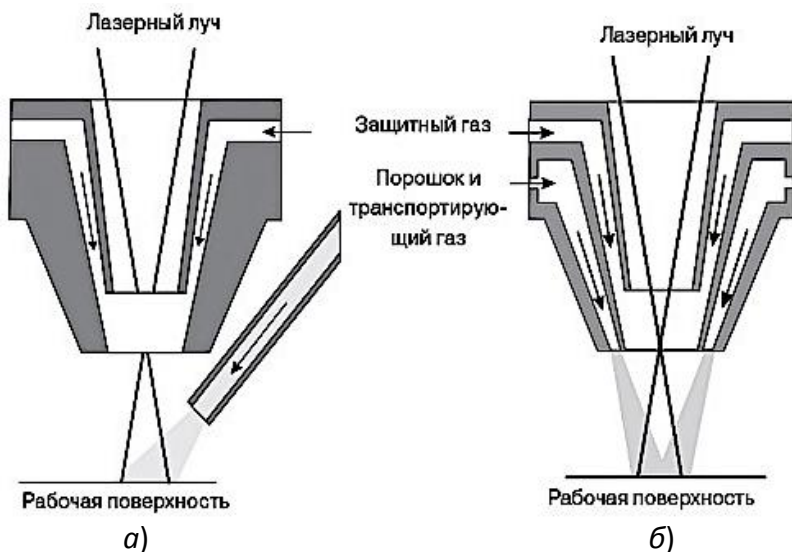


Рис. 3.32 – Схемы лазерной наплавки с боковой подачей порошка (а) и с коаксиальной подачей порошка (б)

В случае использования способа последовательного оплавления лазерным лучом поверхности детали с предварительно нанесенным слоем порошковой пасты, если нужно создать многослойное покрытие, после каждого сканирования лазером наносят следующий слой пасты, т.е. для каждого слоя свой отдельный пласт обмазки, причём, при необходимости, с иным составом. Преимущества данного способа – простая по технологии выполнения наплавка. К его недостаткам относят трудоемкий процесс осаждения, неравномерность наплавленной поверхности

по причине натяжения поверхностной пленки расплавленного металла.

Для лазерной наплавки порошка, подаваемого внутрь плавильной ванны методом впрыскивания сбоку от сфокусированного луча лазера, характерны следующие преимущества:

- благодаря газопорошковой технологии создается более качественный лакирующий слой;
- наплавливаемый слой характеризуется равномерной толщиной и химическим составом, вследствие чего открывается возможность использования композитных материалов при сохранении фазы упрочнения.

Недостаток методики обусловлен несимметричной доставкой порошка по отношению к линии движения лазерного луча, даже при его сканировании в плоской проекции.

Методика коаксиального способа наплавления обогащенного газом порошка, подаваемого через сопло непосредственно в зону работы лазера сплошным потоком конусообразной формы, признана самой универсальной для формирования покрытий однородного либо композитного типа для плоских, а также трехмерных деталей.

Технология наплавки лазером наделена рядом весомых преимуществ:

- Предусмотрена возможность менять рабочие параметры и, тем самым, позволяет корректировать физико-химические свойства наплавленного слоя в широком диапазоне.

– Оказанием минимального температурного воздействия на деталь, что обеспечивается высокой точностью дозировкой импульса, незначительным временем и локальностью его подачи, вследствие чего после восстановительных работ геометрическая форма обрабатываемой детали сохраняется.

– Высокие адгезионные свойства, т.к. исходный материал и наплавляемое покрытие соединяются очень прочно. Не уступает металлургической обработке.

– Повышенная твердость, вязкость, коррозионная и тепловая стойкость наплавленного слоя поверхности восстановленной детали, получившей стойкость к износу, растрескиванию, механическим повреждениям и другим дефектам.

– Минимальные припуски, что существенно упрощает финишную механическую обработку.

– Предусмотрена возможность работы с крупногабаритными деталями без их демонтажа, обработка внутренних и труднодоступных поверхностей. Обеспечивается волоконной технологией передачи лазерного излучения.

– Высокая точность толщины наплавляемого слоя и его физико-химических показателей. Оператор и программное обеспечение контролируют рабочий процесс очень точно.

– Невысокая себестоимость процесса и оперативность выполнения работ в сравнении с другими способами восстановления поврежденных и изношенных металлических поверхностей. Технология не требует создания и поддержания высоких температур, длительной финишной обра-

ботки. При работах с хромированными изделиями защитный слой удалять не надо.

Все эти преимущества технологии лазерной наплавки существенно расширили сферу её применения, сделав ее востребованной в различных промышленных отраслях. Фактически лазерная наплавка является новой технологией модификации поверхности восстанавливаемых изделий. Традиционные методы наплавки, такие как дуговая сварка, часто требуют излишнего тепловложения, что может иметь негативные последствия для эффективности компонента, такие как деформация и снижение механических свойств. С другой стороны, подвод тепла лазерного луча может быть точно откалиброван, что важно для поддержания точности размеров при малых допусках компонентов. Технология лазерной наплавки имеет незначительные побочные эффекты на функциональную целостность компонента, либо за счет обработки пораженной области локально, либо за счет изменения свойств поверхности для определенной части изделий.

Из всех преимуществ лазерной наплавки наиболее ценными являются три основных преимущества:

1. Металлургическое звено – металлургическая связь при низких температурах – главное преимущество лазерной наплавки. Поскольку в лазерной наплавке используется металлургическое соединение, покрытия имеют очень небольшую пористость, что обеспечивает превосходную долговременную коррозионную стойкость.

2. По сравнению с другими методами лазерная наплавка позволяет наносить более толстый слой за один проход. Перекрывающиеся проходы в совокупности создают высококачественный слой покрытия. Это, наряду с низким разбавлением металла, гарантирует, что последующая обработка будет незначительной.

3. Более низкая температура – в отличие от других видов обработки при лазерной наплавке – металлургическая связь достигается при более низкой температуре и имеет ограниченную область теплового воздействия, которая относится к той части основного металла, свойства которой изменились в результате высоких температур. Область воздействия тепла 0,03 дюйма является обычной для лазерной наплавки. Это выгодно, если компонент покрытия уязвим для теплового искажения.

Лазерная наплавка доказала свою эффективность и способность работать с огромным количеством материалов.

К недостаткам лазерной наплавки можно отнести:

- наличие поперечных холодных микротрещин в наплавленных слоях, возникновение которых является следствием релаксации высоких внутренних напряжений растяжения;
- возможность образования как внутренних, так и наружных пор, связанная с неметаллическими включениями и остаточной влажностью наплавочного порошка;
- загрязнение наплавляемой поверхности;

– относительную дороговизну процесса из-за высокой себестоимости лазерного оборудования.

Наплавленный слой не должен содержать дефектов (пор, раковин, трещин) и иметь хорошую прочность сцепления наплавленного слоя с основой. Какими же способами можно этого добиться? К перспективным направлениям устранения недостатков процесса можно отнести способы, позволяющие снизить остаточные термические напряжения в наплавляемых слоях в сочетании с тщательной подготовкой наплавочных порошков и наплавляемой поверхности. К таким способам, в частности, относится изменение термического цикла процесса за счет использования дополнительного теплового источника (например, сочетания действия лазерного излучения с действием плазменной струи). С начала XXI века на смену лазерным технологиям в чистом виде все чаще приходят гибридные и комбинированные. Сюда относятся лазерно-плазменные процессы, в которых используется совместное действие дуговой плазмы и лазерного энергоисточника [40].

Проведенные в ИЭС им. Е.О. Патона исследования процессов взаимодействия сфокусированного излучения CO₂-лазера с плазмой столба электрической дуги показали, что в такой системе возможно возникновение особого типа газового разряда – комбинированного лазерно-дугового [41]. Его свойства отличаются как от свойств электрической дуги, так и от свойств оптического разряда, поддерживаемого лазерным излучением. Способность комбинированного разряда генерировать высокотемператур-

ную плазму с высокой степенью неравновесности даже при атмосферном давлении окружающего газа делает его привлекательным для применения в плазмохимических технологиях. Такой разряд может быть положен в основу создания нового класса плазменных устройств – интегрированных лазерно-дуговых плазмотронов.

В гибридной лазерно-плазменной наплавке могут использоваться плазмотроны как прямого, так и косвенного действия [42]. Основным преимуществом использования плазмотронов прямого действия является возможность дополнительного сжатия плазменной дуги за счет использования сфокусированного лазерного излучения (рис. 3.33, а). Преимуществом использования плазмотронов косвенного действия является отсутствие непосредственного действия электрической дуги на основной металл, что, в частности, повышает термическую локальность процесса (рис. 3.33, б).

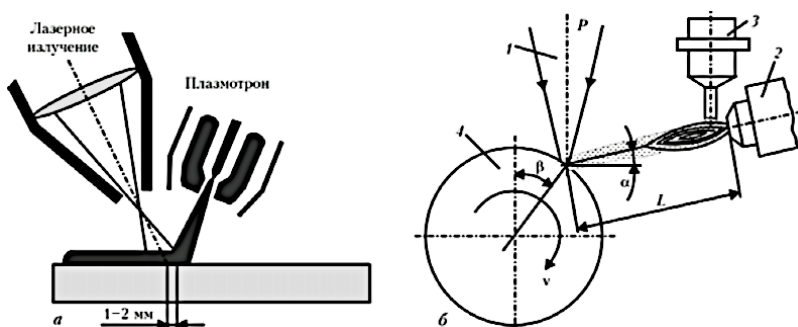


Рис. 3.33 – Схемы процессов порошковой лазерно-плазменной наплавки с использованием плазмотрона прямого действия (а) [41] и с использованием плазмотрона косвенного действия (б) (1 – излучение; 2 – плаз-

мотор; 3 – порошковый дозатор; 4 – образец; L, α , β – дистанция и углы наплавки) [42]

По мнению авторов работы [43], наиболее перспективным для этого является импульсное излучение Nd: YAG-лазеров из-за возможности его гибкого подвода по оптическому волокну в оптимизированном пространственном положении. Лазерно-плазменная наплавка значительно снижает остаточные напряжения в наплавленных слоях по сравнению с лазерной наплавкой, однако одним из основных ее недостатков остается значительное тепловое воздействие на наплавливаемое изделие.

Гибридные (комбинированные) лазерно-плазменные процессы позволяют за счет взаимодействия составляющих либо их совместного влияния на обрабатываемое изделие частично или полностью устранять отмеченные недостатки и уже находят свое практическое применение. Трансформация процессов лазерной и комбинированной (гибридной) наплавки показал, что к основным тенденциям развития данного направления относятся:

- получение коррозионно- и износостойких покрытий с повышенными физико-механическими характеристиками;
- синтез трехмерных объектов (рис. 3.34, [106]);
- создание тонких покрытий, обладающих специальными свойствами.

Перспективы дальнейшего развития лазерных и лазерно-плазменных (лазерно-дуговых) процессов наплавки связаны с возможностью устранения недостатков, прису-

щих каждой из составляющих в отдельности, за счет взаимодействия этих составляющих.

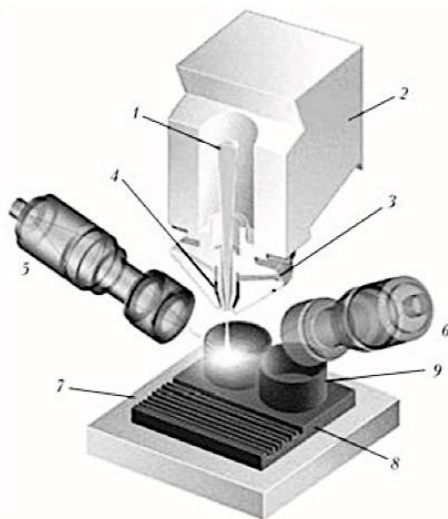


Рис. 3.34 – Схема процесса аддитивной технологии (DMD – direct metal deposition) трехмерного синтеза изделий:
1 – лазерное излучение; 2 – фокусирующая оптика; 3 – подача порошка; 4 – защитный газ; 5, 6 – сенсоры оптической системы обратной связи; 7 – платформа; 8 – заготовка (форма); 9 – создаваемый объект

Сжатие и стабилизация плазменной дуги лазерным излучением позволяет повысить скорость процесса наплавки и снизить общее тепловложение, а предварительный подогрев порошка комбинированным разрядом в сочетании с изменением термического цикла лазерной обработки за счет добавки плазменной составляющей позволяет снижать остаточные напряжения, устранять поро- и трещинообразование и т.д.

3.7. Индукционная наплавка

Сущность метода индукционной наплавки с использованием токов высокой частоты заключается в нанесении на поверхность восстанавливаемой части изношенной детали слоя специального материала с дальнейшим его расплавлением путём индукционного нагрева для восстановления первоначальной формы детали или придания поверхности особых свойств (рис. 3.35, [107]). Наплавленный слой отличается особой прочностью, что обеспечивает повышение износостойкости наплавляемых элементов, а, значит, увеличивает их долговечность.

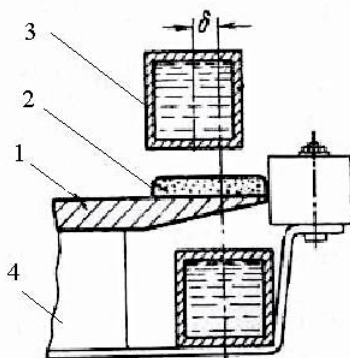


Рис. 3.35 – Схема расположения наплавляемой детали в индукторе:

- 1 – деталь; 2 – слой шихты; 3 – индуктор;
4 – опорное приспособление

Индукционная наплавка основана на расплавлении присадочного материала и верхнего слоя металла вихревыми токами, наводимыми на поверхность изделия с помощью высокочастотного поля.

Технологический процесс индукционной наплавки складывается из следующих операций:

- подготовка наплавляемой поверхности детали – очистка от загрязнений и ржавчины;

- нанесение шихты на упрочняемую поверхность для получения необходимой толщины износостойкого сплава с учетом требований эксплуатации;

- подача детали в индуктор и расплавление шихты на всей наплавляемой поверхности;

- удаление детали из индуктора и передача на участок термической обработки.

Основная задача термической обработки после индукционной наплавки – устранение последствий перегрева основного металла. С этой целью в технологическом процессе изготовления деталей после наплавки, как правило, предусматривается нормализация. Нормализация не является совершенно необходимой операцией после индукционной наплавки. Если в эксплуатации деталь не испытывает динамических нагрузок и можно не опасаться хрупкого разрушения, то термическая обработка после наплавки не производится. Это в первую очередь относится к малоуглеродистой стали (Ст3, 20). Для более ответственных деталей, изготавливаемых из среднеуглеродистых сталей и испытывающих при эксплуатации ударные нагрузки нормализация после наплавки обязательна. В ряде случаев нормализация может быть совмещена с другими операциями, например, с нагревом под гибку, если таковой применяется при придании деталям окончательной формы.

Индукционная наплавка может быть одновременной или непрерывно-последовательной, осуществляться на деталях, имеющих плоскую поверхность, наружную или внутреннюю цилиндрические поверхности. Наплавляемый металл может удерживаться на плоских поверхностях или имеющих малую кривизну за счет сил поверхностного натяжения, а при наплавке цилиндрических поверхностей с вращением деталей – за счет центробежных сил. В обеспечении удержания расплава на плоских поверхностях могут использоваться технологические буртики или специальные формующие холодильники.

Для повышения производительности процесса и уменьшения расхода электроэнергии используются сплавы с более низкой температурой плавления, а также шихта с улучшенной теплопроводностью, увеличенной объемной массой и уменьшенным количеством флюса.

Этот метод наплавления имеет одну из самых высоких производительностей и обеспечивает минимальный нагрев металла изделия.

3.8. Электроискровая наплавка

Электроискровая наплавка – одна из разновидностей электроэрозионной обработки, основанной на воздействии кратковременных электрических разрядов на поверхность металлического изделия в газовой среде (преимущественно на воздухе) и полярного переноса продуктов эрозии на катод (деталь), на поверхности которого формируется слой измененной структуры и состава.

Образованию высокой адгезии между основой и формируемым слоем способствуют под действием значительных тепловых нагрузок микрометаллургические и сопутствующие им процессы (термомеханические, гидродинамические, диффузионные), осуществляющие перемешивание материала катода и анода при взаимодействии с компонентами газовой среды.

Электроэрозионная обработка в итоге заключается в изменении формы, размеров, шероховатости и свойств поверхности заготовки под воздействием электрических разрядов в результате электрической эрозии (ГОСТ 25331-82) с легирующим формированием наплавочного покрытия толщиной от нескольких микрон до 0,5 мм. При этом наплавленный металл получается плотным и мелкопористым, что способствует хорошему удержанию масла на поверхностях трения.

В общем случае поверхностный слой после электроэрозионной обработки условно можно разделить на следующие зоны (рис. 3.36, [108]): 1 – зону насыщения элементами газовой среды или рабочей жидкости; 2 – зону отложения (наплавки) материала электрода-инструмента; 3 – белый слой, образованный из расплавленного материала-заготовки; 4 – зону термического влияния; 5 – зону пластической деформации.

Между зонами сформированного наплавочного покрытия при электроэрозионной обработке нет четкой границы. В большинстве случаев зоны перекрывают друг друга. Каждая зона имеет свои особенности. При этом каждая

зона, даже незначительной толщины, играет весьма важную роль.

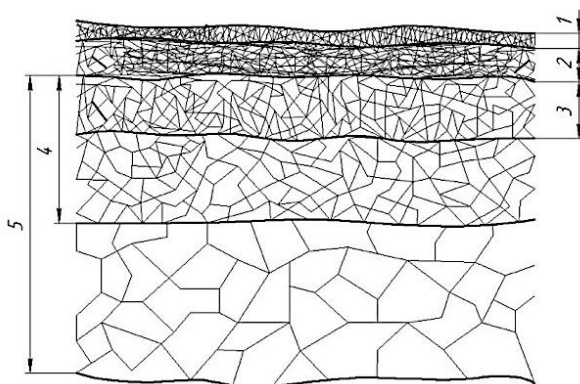


Рис. 3.36 – Схематичное расположение зон поверхностного слоя, подвергнувшегося легированию при формировании наплавочного покрытия электроэрозионной обработкой

Зона 1 – зона насыщения элементами газовой среды или рабочей жидкости, отдельные элементы которых из-за мощного теплового воздействия при выделении электрической энергии проникают в поверхностный слой, диффундируют в него и образуют химические соединения.

Вследствие хрупкости и неравномерной плотности этот поверхностный слой может быть дефектным, а, следовательно, является причиной снижения прочностных свойств основного металла. При механических знакопеременных нагрузках именно в поверхностном слое возникают трещины, которые могут распространяться вглубь детали. При изготовлении и восстановлении деталей, работающих с большими нагрузками, этот слой необходимо удалять одним из способов отделочной обработки.

Зона 2 – зона отложения материала электрода-инструмента. Материал электрода-инструмента может концентрироваться на поверхности изделия, а ещё и диффундировать в более глубокие слои и образовывать там различные фазы – твердые растворы, соединения и т.д. При использовании электрода-инструмента из графитизированного материала углерод диффундирует внутрь обрабатываемой детали и образует там карбидные соединения. При использовании медных электрод-инструментов поверхность может быть покрыта тонким слоем меди, которая, кроме того, может проникать в зону расплавленного материала, образуя отдельные включения.

Зона 3 – белый слой. После удаления микропорций металла на поверхности восстанавливаемой заготовки остается зона со структурой, резко отличающейся от исходной. Белый слой имеет мелкозернистую структуру, обладающую высокой химической стойкостью. На микрошлифах этот слой имеет вид белых полос, откуда он и получил свое название. Толщина слоя колеблется от десятых долей до 1,5 мм.

Зона 4 – зона термического влияния значительно по размерам превышает белый слой. На её структуру значительное влияние оказывает материал подвергаемой обработке детали, его исходное состояние, свойства рабочей среды, а также режим обработки. Глубина структурных изменений определяется толщиной слоя металла детали, температура в которой превышает температуру структурных изменений. Зона термического влияния имеет зака-

ленные участки с мелкозернистой структурой, участки вторичной закалки, зачастую чередующиеся с участками отпуса.

Зона 5 – зона пластической деформации. В процессе электроэрозионной обработки поверхность металла испытывает значительные ударные воздействия, связанные с перемещением волны напряжений от расширения и сжатия металла при нагреве и охлаждении обрабатываемой детали под воздействием электрического разряда; от давления газа, образовавшегося в результате испарения рабочего газа или рабочей жидкости; от возникающих электростатических и электромагнитных сил, а также от протекающих структурных изменений и других факторов. Зона пластической деформации проявляется в виде измельчения зерен, образования больших дислокаций, а также изменения параметров кристаллической решетки. Глубина зоны пластической деформации также зависит от химического состава материала обрабатываемой детали.

Рассмотренные изменения структуры поверхностного слоя и связанные с ним пластические деформации оказывают существенное влияние на степень его наклёпа и микротвердость. На изменение микротвердости поверхностного слоя, а также толщины наклёпа значительное влияние оказывают свойства образующейся после прохождения импульса тока жидкости, охлаждающей поверхность лунки.

Для получения высокой однородной твердости необходимо быстрое охлаждение поверхности единичной

лунки при её высоких температурах. Этим требованиям может удовлетворять смесь воды с маслом.

Основными параметрами импульса электроэрозионной обработки являются: длительность, амплитуда, частота энергии импульсов, мощность обработки, износ электродов. Определенные схемы электроэрозионной обработки восстанавливаемых деталей обеспечивают возможность изменений в требуемом направлении их физико-механических и химических свойств, структурного состояния, поверхностной твердости, коррозионной стойкости и др.

Общая схема процесса электроискрового легирования при формировании наплавочного покрытия с вибрирующим анодом в виде компактного электрода и изображение образующегося верхнего слоя приведена на рис. 3.37 [109]. Основными элементами электроискровой установки являются электромагнитный осциллятор и электрод, из которого при искровых разрядах вырываются частицы металла. Поскольку ионы металлов обладают положительным зарядом, электрод подключается к плюсу, а деталь – к минусу.

С помощью электроискрового метода формируют покрытия толщиной от нескольких микрон до 0,5 мм. При этом наплавленный металл получается плотным и мелкопористым, что способствует хорошему удержанию масла на поверхностях трения. Одно из главных достоинств этой технологии – практически полное отсутствие нагрева об-

рабатываемой поверхности, что позволяет избежать деформации изделия и изменения структуры металла.

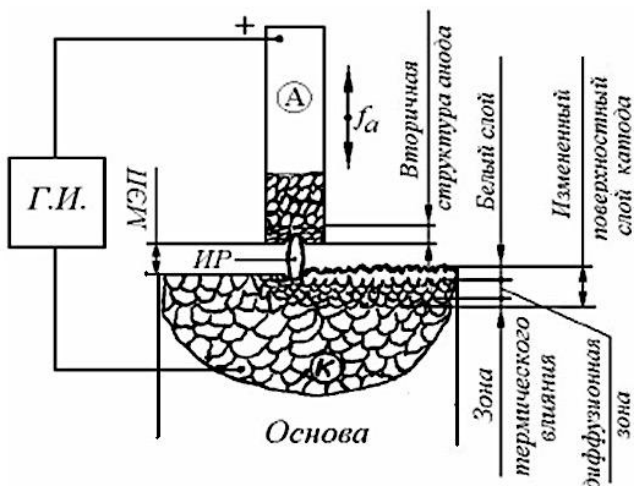


Рис. 3.37 – Схема электроискрового легирования при формировании наплавочного покрытия с вибрирующим анодом:

Г.И. – генератор импульсного тока; МЭП – межэлектродный промежуток; ИР – искровой разряд; А – анод; К – катод

Процесс электроискрового легирования при формировании наплавочного покрытия с вибрирующим анодом начинается со сближения анода (электрода) с катодом (деталью). При расстоянии между ними, равном пробивному, начинается развитие искрового разряда длительностью 10^{-6} – 10^{-3} с, который во многих случаях завершается при контакте электродов.

При небольших напряжениях между электродами ($U < 100$ В) возможно контактное начало разряда от накопительного конденсатора генератора импульсов. После пробоя межэлектродного промежутка (МЭП) за счет энер-

гии, поступающей от генератора импульсов, на поверхностях электродов развиваются локальные очаги плавления, испарения, вызывающие электрическую эрозию материалов электродов (анода и катода). Преимущественный перенос эродируемого материала анода на катод обеспечивает форми рование на нем измененного поверхностного слоя. После окончания импульсного искрового разряда и отхода анода от катода завершается разрыв электрической цепи.

Реализация непрерывного процесса электроискрового легирования при формировании наплавочного покрытия за счет периодической коммутации анода с катодом осуществляется с помощью специальных установок электроискрового легирования УР-121М, UR-121, BIG-1 и др. Установка УР-121М, в частности, имеет следующие технические характеристики:

- напряжение питания – 220 В;
- потребляемая мощность – 150 Вт;
- напряжение искрообразования — 70 В;
- максимальный ток искрового промежутка – не более 6 А;
- частота вибрации электрода в минуту – 50–100 вибраций;
- время непрерывной работы – без ограничений;
- минимальный слой нанесения сплавов ВК от 5 до 15 мкм за один проход (регулируется частотой вибраций).

Конструктивно разработаны и другие устройства периодической коммутации, в том числе и для процессов формирования покрытий методом электроискрового леги-

рования при формировании наплавочного покрытия порошковыми материалами (рис. 3.38).

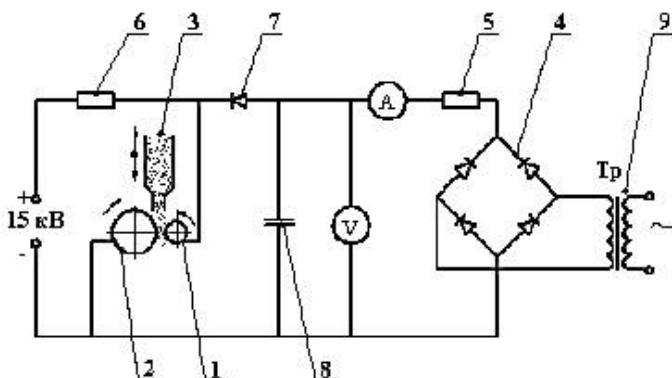


Рис. 3.38 – Схема формирования наплавочного покрытия методом электроискрового легирования из порошкового электродного материала в электрическом поле [44]

Засыпанный в бункер порошок с заданным расходом подаётся в межэлектродный промежуток. Для иницирования рабочих разрядов в межэлектродном промежутке используется напряжение 15 кВ, обеспечивающее формирование потока низкотемпературной плазмы. При повышении напряжённости электрического поля образуется импульсный разряд, при взаимодействии с которым порошок плавится, испаряется и наносится на поверхность детали.

Формирование наплавочного покрытия методом электроискрового легирования алюминиевых сплавов

Для повышения износостойкости деталей получают все большее развитие высокоэнергетические технологии нанесения покрытий, использующие высококонцентриро-

ванные источники энергии. Применительно к алюминиевым сплавам – это упрочнение поверхностей ионной имплантацией кислородом, электроискровым легированием, ионно-плазменным напылением, микродуговым оксидированием, излучением ОКГ, оксидированием в плазме тлеющего разряда, анодированием и т.п. [45].

Восстановление изношенных деталей с одновременным увеличением ресурса является особенно важным в условиях, когда финансовые и материальные ресурсы предприятий существенно ограничены.

Одним из методов решения проблемы повышения эксплуатационных характеристик деталей является внедрение новых материалов, обладающих низкой плотностью, но при этом удовлетворяющих, как технологическим, так и механическим требованиям. К таким материалам относятся алюминиевые сплавы.

В автомобильном транспорте применяются десятки наименований деталей из алюминиевых сплавов: головки и блоки цилиндров двигателей, картеры рулевых механизмов, корпуса водяных насосов и компрессоров, картеры сцепления, поршни двигателей, крышки генераторов, кронштейны, радиаторы ДВС и кондиционеров и т.д. Большая часть алюминиевых деталей изготавливается методом литья из сплавов типа «алюминий–кремний» (силуминов) марок АЛ2, АЛ9, ВАЛ5 и др. В меньшей степени используются сплавы типа «алюминий–медь» (АЛ19), «алюминий–кремний–медь» (АК5М2) и «алюминий–магний» (АЛ8). Кроме литейных в машиностроении нашли приме-

нение и деформируемые алюминиевые сплавы: АК4, АК6, АК8 (поршни ДВС), АМц и АМг (трубки для радиаторов), Д1–Д16 (дюралюмины – поковки для деталей), подвергаемые высоким нагрузкам – несущие кронштейны, корпуса и др.

Расширяющееся применение алюминиевых сплавов обусловлено их преимуществами: малым удельным весом, высокой удельной прочностью, хорошей коррозионной стойкостью, высокой тепло- и электропроводностью.

Расширению сферы использования алюминиевых сплавов для изготовления пар трения препятствуют невысокие эксплуатационные свойства – низкая твердость и износостойкость поверхности. Устранение этих недостатков связано с улучшением состава и качества поверхностных слоев изделий путем применения современных методов упрочнения за счёт поверхностной обработки алюминиевых сплавов.

Для повышения износостойкости деталей получают все большее развитие высокоэнергетические технологии нанесения покрытий, использующие высококонцентрированные источники энергии. Большинство из существующих способов восстановления и упрочнения непригодны для восстановления изношенных деталей из алюминиевых сплавов, имеющих большие износы. Многие из них не позволяют упрочнять рабочие поверхности, что отрицательно сказывается на ресурсе деталей. Применительно к алюминиевым сплавам пригодными способами являются упрочнение поверхностей ионной имплантацией кислородом,

электроискровым легированием, ионно-плазменным напылением, микродуговым оксидированием, излучением ОКГ, оксидированием в плазме тлеющего разряда, анодированием и т.п.

В последнее время все большее распространение при восстановлении изношенных деталей из алюминиевых сплавов получает электроискровое легирование, позволяющее получать покрытия с заданными свойствами. Из вышеперечисленных способов для получения износостойких покрытий на алюминиевых сплавах более подходящими процессами являются микродуговое оксидирование (МДО) и электроискровое легирование с формированием наплавляемых покрытий.

В настоящее время доказана возможность получения с использованием электроискрового легирования на Al сплавах покрытий повышенной толщины, что является следствием образования в процессе электроискрового легирования обрабатываемыми электродами из сплава Al с легкоплавким компонентом (Sn, Pb) микро- и нанонитей легкоплавкого компонента и его оксидов. Разработана технология ремонта и восстановления алюминиевых деталей на этой основе. Накоплен большой экспериментальный опыт по получению с помощью электроискрового легирования покрытий разного типа [45].

3.9. Электроконтактная наплавка

Развитие современного машиностроения характеризуется повышением эксплуатационных параметров ра-

боты машин, в результате чего использовавшиеся ранее технологические процессы и материалы часто не отвечают возросшим требованиям надежности и долговечности. Упрочнение деталей путем нанесения покрытий позволяет снизить расход легированных сталей при одновременном повышении ресурса работы машин.

Одним из эффективных способов нанесения покрытий является электроконтактная наплавка (ЭКН), которая относится к термомеханическим способам наплавки.

Характеризуется ЭКН низкой энергоемкостью, высокой производительностью, минимальной зоной термического влияния тока на металл вследствие малой длительности импульса, отсутствием необходимости в использовании защитной атмосферы ввиду кратковременного термического воздействия на материал покрытия, обеспечивает высокие гигиенические условия труда и может применяться для упрочнения деталей с плоской поверхностью различной протяженности, с цилиндрическими и коническими поверхностями. Кроме того, метод ЭКН может применяться для наращивания металла на поверхность изделия с целью восстановления исходных размеров изношенной детали.

Сущность метода ЭКН заключается в нагреве присадочного материала и приконтактного объема металла восстанавливаемой детали импульсами электрического тока и их совместной пластической деформации, обеспечивающей образование физического контакта, активацию кон-

тактных поверхностей и объемное взаимодействие покрытия и материала основы.

В качестве присадки при ЭКН применяются как порошковые материалы, так и компактные материалы (металлические и порошковые ленты и проволоки).

*Электроконтактная наварка
проволокой, лентой*

Область применения метода ЭКН проволокой, лентой – восстановление деталей с малыми износами (посадочные поверхности, шейки коленчатых валов и т.п.).

Толщина стальной ленты составляет 0,2–1,0 мм; порошковополимерной ленты – 0,5–2,0 мм.

Типовые размеры восстанавливаемых деталей: диаметр – 10–250 мм; длина – 50–1250 мм.

Затраты на восстановление деталей методом ЭКН наварки составляют 30–40 % от стоимости новых.

Процесс ЭКН осуществляется следующим образом (рис. 3.38, [110]).

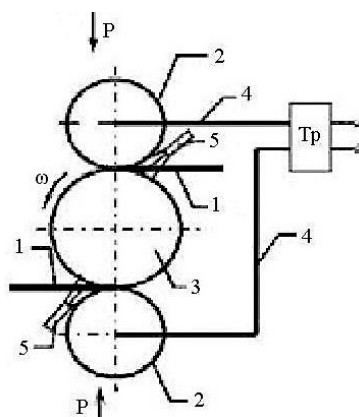


Рис. 3.38 – Схема электроконтактной наварки проволокой или ленты:

1 – проволока (лента); 2 – электродные ролики; 3 – деталь;
4 – вторичный контур сварочного трансформатора; 5 – подача охлаждающей жидкости

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

Сплошной валик наваренного металла образуется при вращении детали с угловой скоростью так, чтобы единичные объемы наваренного металла перекрывали друг друга. Восстановление всей поверхности осуществляется наваркой по винтовой линии за счет продольной подачи роликовых электродов. При наплавке очередного витка присадочная проволока вследствие деформации контактирует с ранее наплавленным валиком. Присадочная проволока и участок металла предыдущего витка нагреваются током наплавки и совместно деформируются, в результате чего происходит их соединение совместным деформированием наплаваемого металла и поверхностного слоя металла основы, нагретых в очаге деформации до пластического состояния короткими (0,02–0,04 с) импульсами тока 10–20 кА. В результате каждого из последовательных электромеханических циклов процесса на поверхности металла основы образуется единичная площадка наплавленного металла, перекрывающая соседние.

Деформация наплавляемого металла покрытия за цикл составляет 40–60 %. Толщина слоя зависит от количества проходов. Подача в зону наварки охлаждающей воды 5 приводит к закалке углеродистого наваренного металла и предотвращает перегрев всей детали. Процесс электроконтактной наварки шейки коленчатого вала представлен на рис. 3.39 [110].

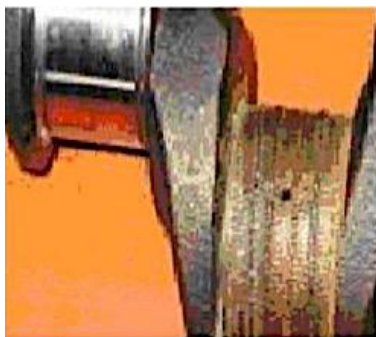


Рис. 3.39 – Наваренная шатунная шейка коленчатого вала ДВС

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

Структура наваренного металла неоднородна – закаленные участки чередуются с частично отпущенными зонами. Эта структура характерна для многих импульсных технологий и объясняется особенностями их термических циклов. Такой вид структуры не оказывает негативное воздействие на износостойкость восстановленной поверхности.

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 закалку 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.

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.

Способ электромагнитной наплавки

Важной разновидностью метода ЭКН является способ электромагнитной наплавки (рис. 3.40, [111]), позволяющий совмещать во времени процессы нанесения покрытия и его пластического поверхностного деформирования; обеспечивает хорошую обрабатываемость и износостойкость покрытия из высокохромистого чугуна эвтектического состава и из быстрорежущих сталей Р6М5К5 и Р6М5Ф3.

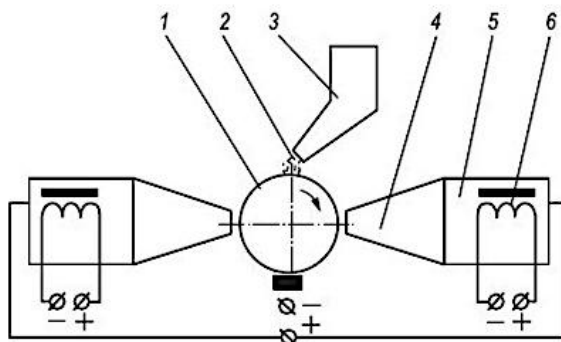


Рис. 3.40 – Схема электромагнитной наплавки:

1 – заготовка; 2 – порошок; 3 – бункер; 4 – полюсный наконечник; 5 – корпус; 6 – электромагнит

Сущность способа электромагнитной наплавки (ЭМН) заключается в том, что частицы ферромагнитного порошка под действием сил магнитного поля выстраиваются цепочками в зазоре между заготовкой и полюсным наконечником, через зоны контакта частиц порошка между собой и заготовкой пропускают постоянный ток большой силы, частицы оплавляются и в виде покрытия закрепляются на восстанавливаемой поверхности.

В случае использования в качестве присадки порошковых материалов процесс называется электроконтактное припекание (ЭКП) или напекание.

Припекание – технологический процесс, заключающийся в нанесении на поверхность восстанавливаемой детали порошковой формовки или слоя порошка с целью получения двухслойного материала путем нагрева до температуры, обеспечивающей спекание порошкового материала и образования прочной диффузионной связи с деталью.

Электроконтактное напекание порошков

ЭКП применяется для восстановления шеек коленчатых валов ДВС автомобилей и тракторов (рис. 3.41, [112]).

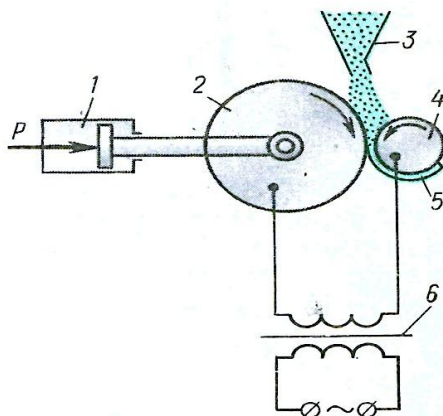


Рис. 3.41 – Схема электроконтактного напекания металлических порошков:

1 – силовой цилиндр; 2 – ролик; 3 – металлический порошок; 4 – деталь; 5 – напекаемый слой; 6 – трансформатор; P – прижимное усилие

Продолжительность наращивания слоя на одну шейку составляет 40–60 с, толщина слоя за один проход – до 1,7 мм. Микропористое покрытие на шейках получают посредством электроконтактного нагрева и спекания порошка. Исходным сырьем для напекания служат порошки, стружка, гранулы, отходы различных металлов и сплавов на основе Cu, Fe, Ni, W, например, ПМС-1, БрОФ10-1, БрОЦ5-5-5, БрАЖ9-4, БрОС1-22, ПР-Х4Г2Р4С2Ф, ПГ-СР1, ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-СР4, ПГ-УС25 и др.

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

пробега. Валы этим способом можно восстанавливать неоднократно.

Между вращающейся деталью 4, установленной в шпиндель токарного станка, и медным роликом-электродом 2 непрерывно подают присадочный порошок 3. Ролик 2 при помощи пневмо- или гидроцилиндра 1 прижимается к детали с усилием 0,75–1,2 кН.

При прокатывании детали и ролика и в результате большого электрического сопротивления в месте их контакта порошок нагревается до температуры 1000–1300 °С. Раскаленные частицы порошка спекаются между собой и с поверхностью детали. Для напекания порошка применяют большую силу тока 2500–3500 А, напряжение 0,7–1,2 В от трансформатора 6.

Качество слоя во многом зависит от размеров детали и ролика, от давления, создаваемого роликом, химического состава порошка и окружной скорости детали. При диаметрах восстанавливаемых деталей от 0 до 100 мм электроконтактным напеканием можно получить слой толщиной от 0 до 1,5 мм. С увеличением диаметра детали толщина наносимого слоя возрастает. Скорость напекания составляет 0,11–0,25 м/мин.

Преимущества процесса – высокая производительность, малая глубина теплового воздействия и высокая износостойкость напеченного слоя. К недостаткам можно отнести ограниченность толщины напекаемого слоя и сложность оборудования.

Использование свободных порошков позволяет готовить широкую гамму композиций различных технологических и эксплуатационных свойств, имея в наличии небольшую номенклатуру порошков матричных, технологических и упрочняющих материалов.

Наварку производят сухими порошками со свободной их подачей под сварочные ролики.

Технологические варианты наплавки порошковых материалов представлены на рис. 3.42 [113–114].

При упрочнении плоских поверхностей длинномерных деталей основной технологической схемой является прокатка порошкового слоя роликовым электродом. Токосвод может осуществляться либо непосредственно через деталь (рис. 3.42, а), либо с помощью дополнительного роликового электрода (рис. 3.42, б).

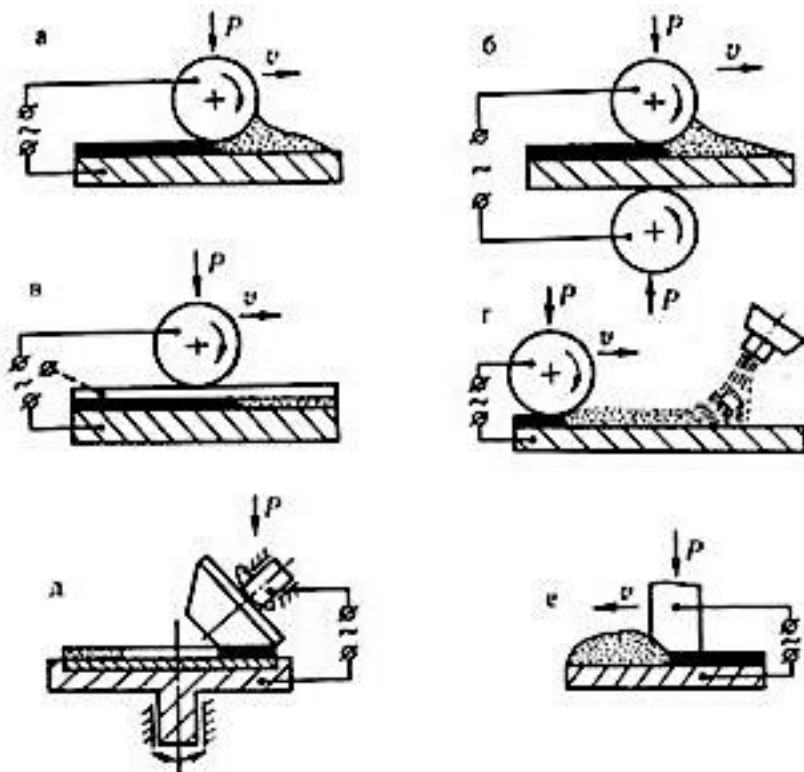


Рис. 3.42 – Технологические схемы напекания покрытий на плоские поверхности:

а – с одним роликом; б – с двумя роликами; в – с использованием фольги или «нейтрального» ролика; г – с предварительным напылением; д – с пуансоном-электродом

По схеме электроконтактного напекания покрытия, представленной на рис. 3.42, а может происходить выброс ферромагнитного порошка из зоны припекания, в результате чего покрытие формируется с большим количеством пор, наплывами, а коэффициент использования порошка не превышает 0,8. Выброс порошка и снижение качества покрытия обусловлены влиянием электродинамических

сил, возникающих в результате взаимодействия электрического тока, проходящего по детали, и его магнитного поля с током, проходящим через электрод и слой порошка, и его магнитным полем. Такого явления при осуществлении процесса по схеме рис. 3.42, б не наблюдается.

Для уменьшения износа электрода, а также для устранения налипания порошковых материалов на контактную поверхность роликового электрода между последними и порошковым слоем целесообразно вводить технологическую медную или латунную ленту толщиной 0,1–0,2 мм (рис. 3.42, в). При нанесении твердосплавных металлических порошков, когда требуется приложение к слою значительных давлений ($DP > 0,7 \text{ МН/м}$), возможен токоподвод непосредственно через технологическую прокладку. Верхний ролик выполняется из жаропрочной стали.

Основная технологическая схема электроконтактного припекания порошка (ЭКПП) проста, надежна и может использоваться для большой группы деталей.

В настоящее время метод ЭКПП широко применяется для предварительно формируемых покрытий. Порошок с помощью плазмы или газопламенного устройства напыляют на поверхность заготовки (рис. 3.42, г), после чего она подвергается воздействию давления с одновременным пропусканием электрического тока. Указанный способ позволяет эффективно упрочнять крупногабаритные детали, оплавление которых после напыления практически невозможно. Способ ЭКП предварительно напыленных покрытий дает возможность получать слои с высокими физико-

механическими свойствами, которые существенно превосходят характеристики оплавленных покрытий.

Для упрочнения торцовых поверхностей применяются схемы с коническим электродом (рис. 3.42, д). При этом конусность электрода выбирается из условия предотвращения явления проскальзывания в контакте.

Особой разновидностью нанесения покрытий на плоские поверхности длинномерных деталей является использование в качестве электрода скошенного пуансона, совершающего циклическое возвратно-поступательное движение (рис. 3.42, е). Порошок, находящийся под скошенным пуансоном, в результате переменной по длине прессуемого участка толщины слоя спекается неодинаково. При последующем цикле прессования после перемещения пуансона на величину шага припекания происходит повторное спекание и доуплотнение предварительно спеченного участка за счет его нагрева и доуплотнения. Это позволяет повысить плотность нанесенного слоя. Для повышения производительности процесса можно применять два роликовых электрода, установленных в одной плоскости друг за другом и воздействующих на слой порошка с возрастающим давлением.

Основные технологические схемы, используемые для нанесения покрытий на внутренние и внешние цилиндрические поверхности, представлены на рис. 3.43 [114].

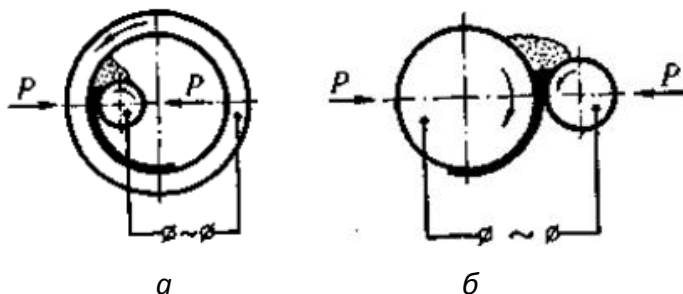


Рис. 3.43 – Технологические схемы нанесения покрытий на цилиндрические детали:

а – на наружные; *б* – на внутренние поверхности

Для обеспечения стабильности физико-механических свойств припеченных износостойких слоев на цилиндрических и в ряде случаев на длинномерных плоских поверхностях необходима точная дозировка порошкового материала, поступающего в зону припекания в зависимости от величины тока припекания.

Применяющиеся в настоящее время дозирующие устройства для электроконтактной наплавки металлических порошков не позволяют решить поставленную задачу. Это связано с тем, что требуемый расход порошкового материала определяется сечением крана бункера и давлением порошка, масса которого изменяется в процессе упрочнения. Вследствие значительного удельного веса металлических порошков давление на слои, прилегающие к отверстию крана, в процессе наплавки существенно изменяется. Кроме того, требуемая величина толщины слоя порошка регулируется вручную, что приводит к ошибкам, снижающим качество металлопокрытия.

В зависимости от интервалов температур плавления различных порошковых материалов (ПМ), входящих в состав наплавляемой композиции, по отношению к температуре нагрева слоя частицы ПМ в результате наварки претерпевают неодинаковые изменения. Частицы относительно тугоплавких материалов остаются неизменными или дробятся, среднеплавких – пластически деформируются и спекаются, легкоплавких – расплавляются и заполняют поры между частицами, имеющими более высокие температуры плавления, весьма легкоплавких расплавляются, интенсивно окисляются, испаряются, сгорают.

Наплавленный слой практически всегда является гетерогенным, состоящим из тех же видов частиц, что и композиция ПМ, но объединенных в единое тело. Каждой из спекшихся частиц присущи свойства материалов, из которых они изготовлены, за исключением превратившихся в оксиды.

Широкие возможности для получения покрытий с заданными свойствами обеспечиваются при применении для наплавки порошково-полимерных материалов в виде лент или листов (ППЛ), представляющих собой пористое тело, частицы порошка в котором связаны эластичным полимером. Связывание частиц полимером позволяет снизить подвижность частиц под давлением и повысить толщину слоя частиц, располагающихся между сварочным роликом и деталью [46].

Наличие полимера вызывает изменения в технологии электроконтактной наплавки и оказывает влияние на

свойства получаемых покрытий. Присутствие полимерных оболочек и эластичных переемычек между частицами металла вызывает значительное повышение исходного удельного электросопротивления ППЛ по сравнению со свободным порошком. С ростом давления на ППЛ электросопротивление монотонно снижается и при давлении 50–60 МПа и содержании полимера до 9 % практически не отличается от соответствующей величины для несвязанного порошка.

Наплавка ППЛ (40% ПГ-СР2 и 60% ПГ-ФБХ6-2, 2,6 мм) шовным методом на внутреннюю поверхность чугунных деталей диаметром 106 мм позволяет сформировать наплавляемые ППЛ слои толщиной 2,2–2,8 мм с содержанием в них либо порошка железа (ППЛЖ), либо композиции порошковых материалов (ППЛК), состоящих из порошков железа, ферросплавов и самофлюсующихся сплавов. Параметры режимов наплавки ППЛ (40% ПГ-СР2 и 60% ПГ-ФБХ6-2, 2,6 мм) шовным методом на внутреннюю поверхность чугунных деталей приведены в таблице 3.13 [115].

Формирование наплавленного слоя при электроконтактной наплавке ППЛ происходит в соответствии с законами порошковой металлургии. При наплавке ППЛК на режиме 1 увеличение давления приводит к монотонному снижению пористости наплавленного слоя. Это объясняется тем, что при малом давлении ролика деформация ППЛ затруднена. Это обусловлено наличием несущей способности полимерных мостиков, соединяющих частицы порошков. При увеличении давления до 12–15 МПа несущая

способность снижается, так как начинается процесс деформации и разрушения наиболее нагруженной части этих мостиков, который практически заканчивается при 33–50 МПа с ликвидацией воздушных пор, т.е. пористость наплавленного слоя уменьшается. В результате между роликом и деталью остается слой в четыре–восемь частиц. ППЛ, содержащие хлопьевидные частицы (порошок ПЖ-3С), деформируются значительно меньше, чем содержащие округлые частицы (ПГ-СР2 и ПГ-ФБХ6-2). Устойчивость под давлением толстых слоев ППЛ с хлопьевидными частицами весьма высока по причине неправильности формы этих частиц и высокой шероховатости их поверхности.

Таблица 3.13

Режимы наплавки ППЛ (40% ПГ-СР2 и 60% ПГ-ФБХ6-2, 2,6 мм)

| № режима | Удельный сварочный ток, кА/мм ² | Длительность импульса, с | Давление, МПа | Скорость наплавки, м/мин | Размер частиц порошка, мм | Плотность ППЛ, кг/м ³ | Содержание полимера, % |
|----------|--|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 1 | 0,8 | 0,12 | 20-60 | 1,0 | < 0,16 | 3500 | 6 |
| 2 | 0,8 | 0,12 | 40 | 1,0 | 0,08-0,72 | 3500 | 6 |
| 3 | 0,8 | 0,12 | 40 | 1,0-2,5 | < 0,16 | 3500 | 6 |
| 4 | 0,5-1,0 | 0,12 | 40 | 1,0 | < 0,16 | 3500 | 6 |
| 5 | 0,8 | 0,04-0,20 | 40 | 1,0 | < 0,16 | 3500 | 6 |
| 6 | 0,8 | 0,12 | 40 | 1,0 | 0,16-0,40 | 3500 | 4-12 |
| 7 | 0,8 | 0,12 | 40 | 1,0 | 0,08-0,72 | *) | 6 |

*) – 3500-4500.

Использование ППЛ вместо несвязанных ПМ позволяет увеличить толщину слоя, заключенного между сварочным роликом и деталью, в условиях приложения рабочего давления (50–75 МПа) для хлопьевидных частиц в 1,1–1,5 раза, а для округлых частиц – в 2–3 раза.

Таким образом, при наличии между частицами порошковых материалов упругого эластичного полимера, прочно соединенного с ними, значительно повышается устойчивость этих частиц к относительному перемещению при сжатии.

ППЛ всех исследованных составов и толщин под давлением роликов не разрушаются на отдельные фрагменты, а остаются единым телом.

Увеличению пористости наплавленного слоя способствует рост средних размеров частиц ППЛЖ (режим 2), а также изменение скорости наплавки ППЛК (режим 3). Все это свидетельствует о нагреве ПМ при наплавке относится к ППЛ, однако, при этом надо учитывать ряд особенностей. Во время наварки ППЛ нагревается и вокруг наплаваемого участка, полимер в этой зоне подвергается термической деструкции, частицы порошковых материалов оказываются свободными от полимерных связей и уносятся охлаждающей водой. Эти потери составляют 10–15 % от массы ППЛ. Кроме того, масса наплавленного слоя меньше массы наплавленной ППЛ на величину, равную массе полимера.

При наварке полимер частично сгорает и образует газы и дым, которые необходимо удалять при помощи приточно-вытяжной вентиляции. Другая часть полимера

выдавливается из зоны сварки в виде кашеобразной массы. Выделение газов при наварке в некоторых условиях приводит к повышению пористости наплавленного слоя.

Наварка ПМ и ППЛ позволяет получать покрытия различной пористости от 1 до 28 %. Поры в покрытиях распределяются неравномерно: наименьшая пористость наблюдается в зонах наибольшего нагрева.

С ростом удельного сварочного тока наблюдается интенсивный рост пористости наплавленного слоя. Аналогичный процесс наблюдается и при наплавке ППЛК (см. таблицу 3.13, режим 5) с варьируемой длительностью импульса. Таким образом, рост интенсивности и уровня теплового воздействия на ППЛ ведет к увеличению пористости наплавленного слоя. Это явление обусловлено повышением давления газов в наплавляемом слое при увеличении интенсивности тепловыделения.

Вместе с тем с повышением содержания полимера от 4 до 8 % газовыделение способствует увеличению подвижности частиц порошковых материалов и обеспечивает их более плотную упаковку при наплавке, при этом газы выходят через поры в атмосферу. При более высоком содержании полимера количество выделяющихся газов таково, что они не успевают выходить из наплавляемого слоя и препятствуют замыканию пор.

Усадку (процентное отношение изменения толщины ППЛ после наплавки к исходной толщине) определяли при наплавке ППЛЖ и ППЛК на режиме 7 (см. таблицу 3.13). Установлено, что при изменении плотности ППЛЖ и

ППЛК от 2500 до 4500 кг/м³ (режиме 7 (см. таблицу 3.13)) усадка (процентное отношение изменения толщины ППЛ после наплавки к исходной толщине) уменьшается от 59 до 49 % при изменении средних размеров частиц порошка от 0,08 до 0,72 мм усадка увеличивается от 53 до 57 %.

При плотности ППЛЖ 3500 кг/м³ и размерах частиц порошка < 0,16 мм изменение содержания полимера от 4 до 12 % приводит к увеличению усадки от 53 до 60 %, что связано с ростом объема выгорающего полимера. После прохождения через один и тот же участок ППЛ 2-го и 3-го импульсов электрического тока усадка составляет 1–4 %.

Эксперименты по определению прочности на срез наплавленного слоя и основного металла показали, что после наплавки с наименьшими значениями давления, удельного тока и длительности импульсов разрушение происходит по поверхности соединения детали и наплавленного слоя, а после наплавки на всех остальных режимах наплавленный слой отделялся с вырывом материала детали.

При наплавке ППЛЖ на режиме 1 (см. таблицу 3.13) увеличение толщины ППЛ от 1,0 до 5,5 мм приводит к росту прочности соединения от 120 до 240 МПа, а при удельной величине сварочного тока 1 кА/мм² соответственно от 2,2 до 5,5 мм и от 170 до 240 МПа. Рост размеров частиц порошка в ППЛЖ от 0,08 до 0,72 мм ведет к снижению прочности соединения от 240 до 180–190 МПа. Увеличение содержания полимера в ППЛ также снижает прочность соединения.

ППЛ при подготовке и подаче под наварку требует осторожного обращения, т.к как при изгибе до радиуса кривизны менее 10 мм и растяжении со средним напряжением $\sigma_{sp} = 1-3$ МПа она растрескивается и разрушается. Вместе с тем, ППЛ легко режется ножом, может содержать любую композицию ПМ и при этом может быть изготовлена с использованием комплекта простых приспособлений.

Серьезной проблемой при наварке ПМ и ППЛ является низкая надежность работы узлов сварочных роликов, подвижные части которых заклинивают на осях от попадания в зазор между ними частиц порошковых материалов. Поэтому узлы сварочных роликов должны быть защищены от попадания частиц порошков в их опоры скольжения. При использовании сухих ПМ дополнительно необходима герметичная система внутреннего охлаждения.

Другим путем связывания частиц порошковых материалов в компактное тело является изготовление порошковых спеченных лент (ПСЛ). При их спекании в печах в течение нескольких часов между контактирующими участками соседних частиц протекают диффузионные процессы, поэтому границы между частицами становятся размытыми. Такой характер границ остается и в наплавленном слое. Пористость ПСЛ составляет 0,5–20 %. Пластичность ПСЛ зависит от состава, она снижается с повышением содержания упрочняющих порошковых материалов. При намотке на деталь или установке в полость детали малопластичные ПСЛ растрескиваются. Такие ПСЛ необходимо многократно вальцевать, постепенно приближая радиус

гибки к радиусу кривизны поверхности детали, размещать их на поверхности детали как втулки, после чего прихватывать и производить наварку.

Нагрев ПСЛ при наварке и формирование наплавленного слоя происходят так же, как и в случае использования спеченных лент (СЛ). Отличие состоит в том, что ПСЛ пористые и поэтому при обжати имеют заметную усадку, пропорциональную пористости, которая после наварки снижается.

При наварке присадочные материалы с материалом детали не перемешиваются.

Наплавка порошковых материалов в металлической оболочке

В предложенном способе вследствие размещения ПМ в оболочке исключается его контакт с электродом и, следовательно, стойкость электрода повышается. Появляется возможность предварительного изготовления ПМ для ЭКП: его можно уплотнять (обжатием) или спекать, причем оболочка предохраняет порошок от окисления. Наличие металлической оболочки позволяет увеличить количество компонентов с высоким электрическим сопротивлением, т.к. в этом случае ток протекает по оболочке и нагревает ее до температуры перехода в пластическое состояние; при определенном усилии, прилагаемом к электроду, происходит соединение оболочки с основным металлом, а порошковый материал нагревается теплом, поступающим от оболочки. На рис. 3.44 показана предлагаемая схема процесса электроконтактной наплавки [113–114].

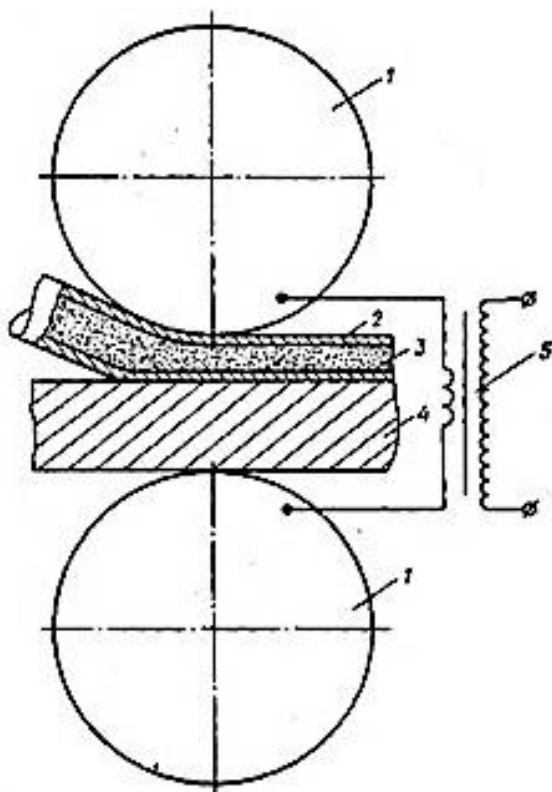


Рис. 3.44 – Схема процесса электроконтактной наплавки порошкового материала, заключенного в металлическую оболочку:

1 – электроды электроконтактной установки; 2 – металлическая оболочка; 3 – порошковый материал; 4 – наплавляемая заготовка; 5 – источник питания

В обеспечение подтверждения положительных особенностей наплавки ПМ в оболочке были выполнены следующие опыты. Производили наплавку порошковым материалом без оболочки и в оболочке. Наплавка порошка без оболочки осуществлялась традиционным способом. Для наплавки по предложенному способу шихту, состоящую из порошков сплава ПГ-С1 и углеродистого ферро-

хрома ФХ800, засыпали в оболочку (имевшую вид трубки диаметром 5 мм) из стали 08 кп.

Полученную заготовку протягивали до \varnothing 4 мм, продували аргоном, герметизировали и вновь протягивали до диаметра 3 мм. Затем производили ЭКН ПМ, заключенного в металлическую оболочку, на пластину из стали Ст3 толщиной 10 мм. Зависимость прочности сцепления с основным металлом от параметров режима ЭКН определяли путем отрыва штифта приложенной силой по методике.

При оптимальных режимах наплавки прочность сцепления порошкового материала, заключенного в металлическую оболочку, в 2–2,5 раза выше, чем порошка без оболочки.

При увеличении усилия на электроде в исследованных пределах прочность сцепления покрытия с деталью уменьшается. Это объясняется снижением температуры нагрева в зоне соединения, связанным с деформацией металлической оболочки до включения импульса электрического тока: при этом увеличивается площадь контакта между оболочкой и деталью, уменьшаются электрическое сопротивление контакта и плотность тока.

Проведенные сравнительные испытания с целью определения физико-механических свойств покрытий, полученных при использовании порошковых материалов, заключенных в оболочку и без нее (табл. 3.14, [116]), показали, что в первом случае, вследствие значительного снижения пористости слоя, ниже его твердость и износостойкость.

Таблица 3.14

Сравнительная характеристика физико–механических свойств покрытий

| Наличие оболочки | Материал покрытия | ϵ | HRC | Пористость, % | σ_{sp} , МПа |
|------------------|--------------------|------------|-----|---------------|---------------------|
| Нет | ПГ-С1 | 1,0 | 50 | 5–7 | 120–140 |
| Есть | ПГ-С1 + 50 % ФХ800 | 2,5 | 60 | 8–10 | 120–140 |
| | ПГ-С1 | 1,5 | 54 | 1–2 | 280–320 |
| | ПГ-С1 + 30 % ФХ800 | 2,9 | 59 | 1–2 | 300–320 |
| | ПГ-С1 + 50 % ФХ800 | 3,5 | 61 | 2–3 | 300–320 |

Уменьшению пористости способствует наличие оболочки, которая позволяет предварительно уплотнять порошок в процессе протяжки и, кроме того, создает благоприятное напряженное состояние при наплавке, близкое к состоянию всестороннего сжатия.

Значительно возрастает срок службы (стойкость) электродов электроконтактной установки. При наплавке порошка ПГ–С1+ФХ800 в оболочке стойкость электрода из бронзы типа БрХ составляет 200–250 м до переточки против 30–40 м при наплавке порошка того же состава без оболочки.

В итоге, применение металлической оболочки при электроконтактной наплавке с применением известных материалов дает следующие преимущества:

- повышаются физико-механические свойства наплавленного слоя в результате снижения пористости;
- увеличивается прочность сцепления покрытия с основой;
- предотвращается окисление порошкового материала;
- создается благоприятное напряженное состояние, близкое к всестороннему сжатию;
- увеличивается срок службы электродов;
- стабилизируется толщина наплавленного слоя благодаря точной дозировке порошкового материала;
- появляется возможность снижения напряжений в наплавленном слое, т.к как оболочка является своеобразной мягкой прослойкой между основным металлом и покрытием.

С целью определения возможности увеличения количества неэлектропроводных компонентов в шихте было изучено температурное поле при ЭКН ПГ–С1+ФХ800 (с различным количеством карбида бора), заключенного в металлическую оболочку. В начальный момент ЭКН температура в срединной области порошкового материала значительно ниже, чем температура оболочки (рис. 3.45, [116]). Это объясняется низкой электрической проводимостью порошка: практически в данный момент весь ток протекает по металлической оболочке. Однако нагрев порошка теплом, получаемым от оболочки, и уплотнение его усилием, приложенным к электроду, приводит к снижению электрического сопротивления порошкового слоя, его дальнейшему нагреву и уплотнению за счет пластической

деформации частиц, в результате чего происходит выравнивание температуры по сечению порошкового сердечника.

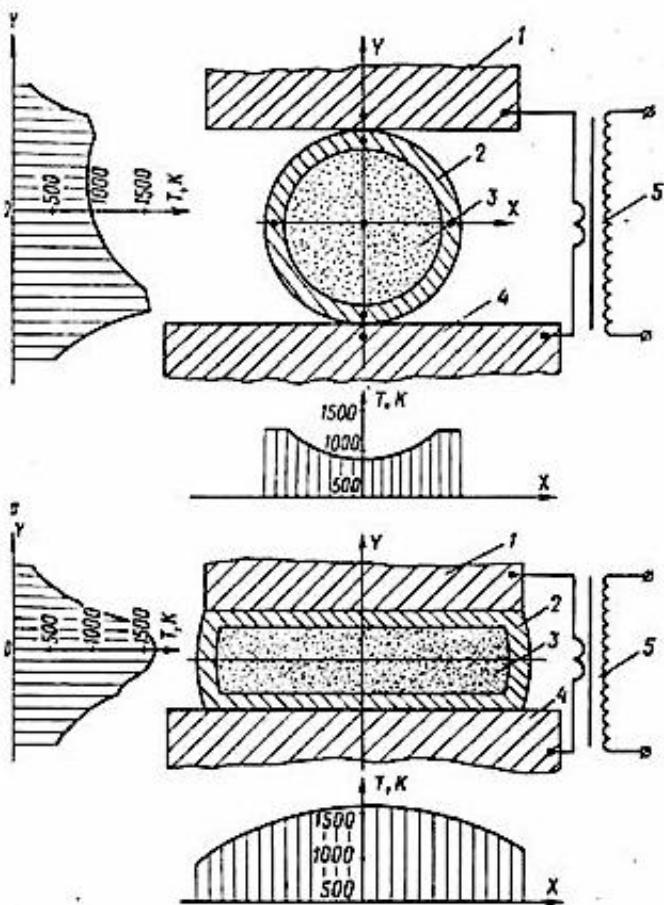


Рис. 3.45 – Температурное поле в начальный (а) и конечный (б) моменты наплавки ПМ, заключенного в металлическую оболочку:

- 1 – электрод установки ЭКН; 2 – оболочка; 3 – ПМ;
- 4 – основной металл; 5 – источник питания

Дальнейший нагрев приводит к перегреву последнего, что при неправильно выбранном режиме (большом токе или увеличенной длительности электрического импульса) может вызвать нарушение стабильности электроконтактного процесса, расплавление порошкового материала, прожог и выплеск расплавленного металла.

Увеличение в составе ПМ количества карбида бора до 20–30 % приводит к резкому возрастанию пористости, снижению пластических свойств покрытия, а также износостойкости вследствие значимого снижения прочности сцепления между частицами порошкового материала (табл. 3.16, [116]).

Таблица 3.16

Физико-механические свойства наплавленного слоя при различном содержании карбида бора

| Материал покрытия | ϵ | Пористость, % | Прочность сцепления, МДж/м ² | Характеристика поверхности |
|----------------------------|------------|---------------|---|----------------------------|
| ПС1 (ПГ-С1+50 % ФХ800) | 1,0 | 2–3 | 0,59 | Чистая |
| ПС1 +5 % В ₄ С | 1,3 | 3–5 | 0,54 | Чистая |
| ПС1 +10 % В ₄ С | 1,6 | 3–5 | 0,50 | Чистая |
| ПС1 +20 % В ₄ С | 1,4 | 5–10 | 0,42 | Видны поры |
| ПС1 +30 % В ₄ С | 0,5 | 10–12 | 0,26 | Имеются трещины |

При введении более 15 % карбида бора В₄С в состав ПМ, получаемый ПМ характеризуется высоким электрическим сопротивлением и низкой теплопроводностью и не успевает прогреться за время наплавки, поэтому, по видимому, плохо уплотняется и спекается. Однако наличие

оболочки позволило несколько увеличить критическое количество компонентов-диэлектриков (до 15 %), при этом ЭКН-процесс сохраняет стабильность на всем протяжении наплавки.

Для повышения износостойкости восстановленных деталей перспективными являются процессы приварки к изношенной поверхности порошковых твердых сплавов. Приварку твердых сплавов производят двумя способами.

В первом случае порошок самотеком подается из бункера непосредственно на деталь и тут же приваривается импульсами тока. Во втором случае порошковый твердый сплав предварительно закрепляется с помощью клея на стальной ленте. Затем ленту с нанесенным на нее порошком приваривают к поверхности детали. В процессе приварки металл детали и ленты в точках контакта от нагрева размягчается и сплавляется. Твердые частицы под действием давления, приложенного к электродам, внедряются в поверхность ленты и детали. Таким образом, на поверхности детали образуется армированный упроченный слой, имеющий высокую износостойкость.

Приварка порошковых твердых сплавов целесообразна для восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей, таких как оси качения, цапфы, оси сателлитов и др.

При ЭКН распространение нагрева происходит на малую глубину, при сохранении неизменности химического состава металла, так как сварка завершается преимущественно в твердой фазе. Кроме того, при контактной свар-

ке не требуются флюс и газы для защиты от вредного влияния воздуха. Большое влияние на механические свойства покрытий (твердость и прочность сварного соединения) оказывает материал стальной ленты. Материал ленты следует подбирать с учетом твердости восстанавливаемых деталей, которая может быть различной в зависимости от назначения детали.

Твердость приваренного слоя зависит от содержания углерода в материале ленты. С увеличением содержания углерода твердость повышается. Особенно высокую твердость обеспечивают хромистые и марганцовистые ленты. Оптимальным считают тот материал, который обеспечивает твердость приваренного слоя в соответствии с требованиями чертежа детали.

*Восстановления резьбовых участков валов,
штуцеров и подобных деталей способом ЭКН*

Способ электроконтактной приварки металлического слоя нашел применение для восстановления резьбовых участков валов, штуцеров и подобных деталей. В связи с тем, что детали с наружной резьбой в большинстве случаев имеют небольшие размеры (от 14 до 30 мм), восстановление их существующими способами осложняется сильным нагревом. Кроме того, твердость наплавленного слоя не должна быть высокой.

В наплавленном слое недопустимы неоднородность структуры, неметаллические включения, поры, т.к. при нарезании трудно получить качественную резьбу.

Способ восстановления наружной резьбы контактной сварочной наплавкой основан на использовании сварочного тока для нагрева присадочной проволоки и детали и формировании сварного шва под давлением.

Для получения высококачественного покрытия восстанавливаемая резьбовая поверхность должна быть очищена от грязи, следов масла, ржавчины. В зависимости от степени загрязнения применяют один из следующих способов очистки деталей перед восстановлением:

- механическая очистка металлической щеткой в течение 1–2 мин;
- химическая очистка путем мойки детали в ванне с бензином или уайт-спиритом. Время обработки 1–2 мин. Присадочную проволоку обезжиривают, протирая ветошью, смоченной в бензине или уайт-спирите.

При электроконтактной приварке присадочную проволоку укладывают во впадины резьбы и зажимают проволоку и деталь между электродами сварочной машины (рис. 3.46, [117]).

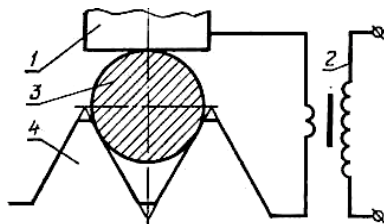


Рис. 3.46 – Электро-контактная приварка проволоки к виткам резьбы:

- 1 – электрод; 2 – сварочный трансформатор;
- 3 – присадочная проволока; 4 – витки резьбы

После включения сварочного трансформатора ток, проходя через место контакта проволоки с деталью, нагревает контактируемые поверхности до сварочной температуры. Благодаря сжатию электродов присадочная проволока полностью заполняет впадину между витками и сваривается с его боковыми гранями, образуя сварные соединения. Сила сварочного тока должна быть такой, чтобы создать высокую температуру в месте контакта проволоки с деталью, достаточную для сварки металла в твердой фазе, но в то же время не расплавить витки.

Усилие сжатия Q_{cm} приводит проволоку и деталь в тесное соприкосновение, способствуя разрыву оксидных пленок и слоев адсорбированных газов, обеспечивает возможность сварочного процесса и оказывает значительное влияние на качество сварного соединения. Между усилием сжатия Q_{cm} и площадью контакта проволоки с деталью F установлено соотношение $P = Q_{cm}/F = 0,8-1,0$ МПа (при плотности тока $300-400$ А/мм²). При таком соотношении сварочного давления и плотности тока продолжительность сварочного цикла принимается $0,08-0,12$ с. С увеличением шага резьбы продолжительность сварочного цикла увеличивается. Уменьшение сварочного цикла приводит к недостаточному оплавлению проволоки и детали. Качественное восстановление резьбы обеспечивается в том случае, когда последующая точка перекрывает предыдущую не менее чем на $25-30\%$. Диаметр проволоки подбирают таким образом, чтобы при нагреве и осадке проволока полностью заполняла впадину между витками и при этом

оставался припуск на последующую механическую обработку. Наилучшие результаты достигаются в том случае, если диаметр присадочной проволоки или равен шагу резьбы, или больше его на 5–10 %.

*ЭКН-восстановление участков валов, штуцеров
и подобных деталей с высадкой спиральной канавки*

Одним из существенных недостатков всех способов наплавки является снижение усталостной прочности наплавленных деталей вследствие разупрочнения наплавленного металла в месте нахлеста спиралевидных валиков. Здесь наблюдается наибольшее количество дефектов металлургического происхождения.

Одним из существенных недостатков всех способов наплавки является снижение усталостной прочности наплавленных деталей вследствие разупрочнения наплавленного металла в месте нахлеста спиралевидных валиков. В этой зоне происходит повторный отжиг при наложении очередного валика металла и снижение твердости металла. При наплавке металла спиралевидными перекрывающимися валиками снижение усталостной прочности неизбежно. Здесь наблюдается наибольшее количество дефектов металлургического происхождения.

Восстановление размеров изношенной детали (увеличение диаметра шейки вала, например) наплавкой без перекрытия валиков оказалось возможным в сочетании с другим способом восстановления – электромеханической высадкой.

Технология восстановления предусматривает предварительную электромеханическую высадку спиральной канавки на поверхности изношенной шейки вала (рис. 3.47, а) и последующую наплавку дополнительного металла в образовавшуюся канавку (рис. 3.47, б) электроконтактным способом.

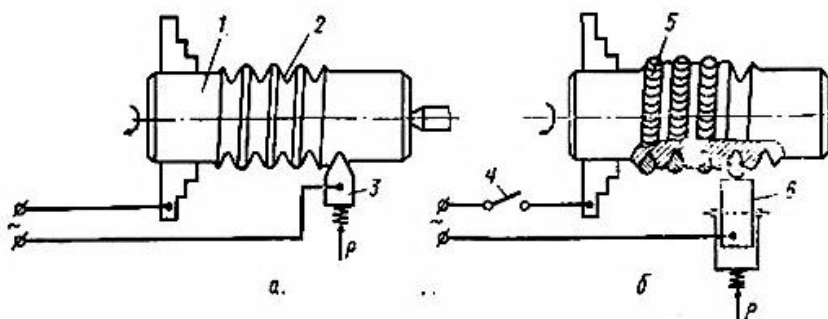


Рис. 3.47 – Схема наплавки в высаженную канавку:

а – схема электромеханической высадки; *б* – схема электроконтактной наплавки; 1 – деталь; 2 – высаженная канавка; 3 – высаживающая пластина; 4 – прерыватель тока; 5 – наплавленный валик присадочного металла; 6 – наплавляющий ролик

При этом валики присадочного металла разделяются высаженным металлом детали. Наплавлять металл в высаженную канавку целесообразно импульсами тока с модулированным фронтом, т.к при наплавке прямоугольными импульсами тока (рис. 3.48, а) его значение в момент включения равно номинальному, а площадь контакта круглой присадочной проволоки со стенками канавки минимальна [118]. Затем участок присадочной проволоки, находящейся под наплавляющим роликом, деформируется, заполняя канавку. Соответственно расту степени де-

формации увеличивается площадь контакта присадываемого материала проволоки с металлом основы (конструкционным материалом восстанавливаемого изделия. Однако при этом значение тока остается постоянным, а, следовательно, плотность тока уменьшается пропорционально площади контакта. По такому же закону распределяется и температура по площади контакта, что не обеспечивает одинаковых условий соединения металлов.

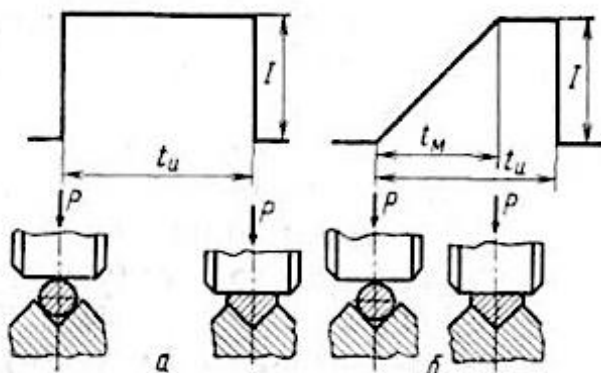


Рис. 3.48 – Схема нагрева и деформации присадочной проволоки прямоугольным импульсом тока (а) и импульсом тока с модулированным фронтом (б)

Цель модуляции фронта электрического импульса – обеспечить постоянную плотность тока в контакте деформирующейся присадочной проволоки со стенками высаженной канавки. Время нарастания тока до номинального значения t_M (рис. 3.48, б [118]) примерно равно времени деформации присадочной проволоки до заполнения всего сечения канавки.

При наплавке высаженной канавки на образце из стали 45 диаметром 50 мм проволокой из стали 45 диаметром 1,8 мм оптимальным является следующий режим:

- сила тока наплавки 11 кА;
- давление на наплавляющий электрод 80 кгс;
- длительность импульса 0,06 с;
- длительность модуляции 0,04 с;
- длительность пауз между импульсами 0,24 с;
- число оборотов детали 9 об/мин.

Прочность соединения наплавленного валика с осевой в этом случае составляет 55–60 кгс/мм². Технологическая схема электроконтактной наплавки в высаженную канавку обеспечивает технико-экономический эффект, выражающийся в увеличении срока службы восстановленных деталей, работающих в циклическом или знакопеременном режиме нагружения, ввиду незначительного снижения их усталостной прочности.

Наиболее слабое место в технологии ЭКН проволоки (рис. 3.49, а [118]) – обеспечение удовлетворительного качества соединения боковых поверхностей проволок 1 между собой. Кроме того, в корневой части этого соединения в месте контакта проволок 1 с деталью 2 могут образовываться пустоты, служащие концентраторами напряжений и источниками коррозионного разрушения.

В зависимости от режимов наварки и используемых материалов процесс образования сварного соединения может происходить с расплавлением контактной зоны и образованием литого ядра или без расплавления. В связи с

этим и получение сварного соединения может происходить как в жидкой, так и в твердой фазах.

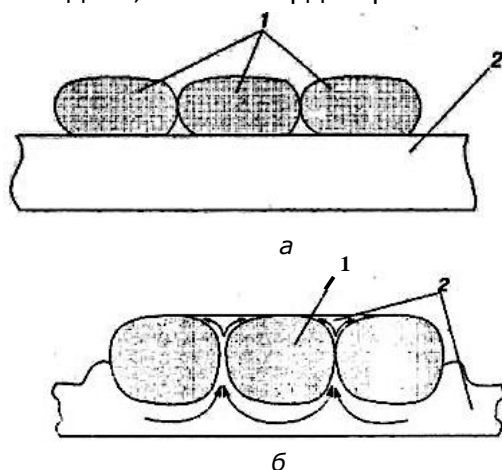


Рис. 3.49 – Формирование соединения при традиционном способе ЭЖН проволоки (а) и ЭЖН по способу в сочетании с электромеханической высадкой (б)

Образование литого ядра обеспечивает надежное соединение однородных материалов с измельчением, растворением и перемешиванием поверхностных оксидов и загрязнений в образованной ванне, но связано с увеличением ЗТВ в металле основы. Поэтому более рациональной представляется схема наварки, предусматривающая получение сварного соединения в твердой фазе.

При наваривании проволоки на цилиндрическую деталь по спирали в месте контакта второго и последующих витков с ранее наваренными, вытесненной предыдущей проволокой металл основы становится препятствием для образования сварного соединения между боковыми поверхностями проволок. Вытекшие с металлом основы

поверхностные оксиды из зоны контакта проволоки и детали остаются между боковыми поверхностями проволок, что значительно снижает качество наваренного слоя. Одним из путей устранения этого недостатка является создание в зоне соединения (рис. 3.49, б) таких температурно-деформационных условий, при которых металл основы 2 вытеснялся бы между проволоками 1 на поверхность.

Для решения этой проблемы был предложен способ ЭКН проволоки и разработано оборудование для его осуществления, сущность которого заключается в одновременной подаче под электрод пакета из нескольких расположенных на некотором расстоянии одна от другой проволок (рис. 3.49, б) и приваривания их одним импульсом сварочного тока. При этом сохраняются температурно-деформационные условия системы деталь–присадка, а одновременная приварка нескольких проволок в ряд обеспечивает вытеснение пластичного металла детали между проволоками на их поверхность. Этот способ может рассматриваться как развитие известного способа наварки в высаженную канавку проволоки согласно методу Б.М. Аскинази. Такой способ ЭКН предполагает совмещение по времени и энергозатратам операций высаживания канавки и приварку проволоки.

Недостатками способа ЭКН сварочной проволокой является ограниченная износостойкость наносимого покрытия, так как не все материалы можно изготовить в виде сплошной проволоки или прутка. Дальнейшее увеличение износостойкости наносимого покрытия при одновремен-

ном сокращении расхода легирующих элементов возможно только при широком использовании композиционных порошковых материалов.

3.10. Сравнительная характеристика способов наплавки

Для восстановления первоначальных размеров изношенных или поврежденных деталей применяется восстановительная наплавка. В этом случае наплавленный металл может быть близок по составу и свойствам основному металлу (восстановительная размерная наплавка) или отличаться от них (восстановительная износостойкая наплавка).

Наплавленный металл вследствие перемешивания с основным металлом и взаимодействия с атмосферой дуги и шлаком отличается по составу от электродного (присадочного) металла.

Доля основного металла в наплавленном слое γ_0 , обычно выражаемая в процентах, колеблется в широких пределах и зависит от способа и режима наплавки (табл. 3.17, [119]).

В производственных условиях разработаны и реализованы десятки различных способов восстановления деталей. Выбор наиболее приемлемого способа состоит в техническом, экономическом и организационном анализе требований к восстановленным деталям с учетом условий работы их в сопряжениях, производственной программы, оснащенности предприятий, обеспеченности материала-

ми, энергией, рабочей силой и других конкретных мероприятий.

Таблица 3.17

Физико-механические свойства наплавленного слоя при различном содержании карбида бора

| Способ наплавки | Производительность, кг/ч | Доля основного металла, % | Толщина наплавленного слоя, мм |
|--|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Газовая с присадкой прутков или проволоки | 0,5—1,5 | 1 | 0,8—5,0 |
| Газопорошковая | 0,5—3,0 | 1 | 0,3—3,0 |
| Аргоно-дуговая неплавящимся электродом | 1,0—7,0 | 10—30 | 2,5—5,0 |
| Плавящимся электродом в защитном газе | 1,5—9,0 | 30—60 | 3,0—5,0 |
| Ручная дуговая, покрытыми электродами | 0,8—3,0 | 20—50 | 2,0—5,0 |
| Под флюсом одной проволокой | 2—12 | 30—60 | 3,0—5,0 |
| Под флюсом многоэлектродная | 5—40 | 15—30 | 5,0—8,0 |
| Под флюсом лентой | 5—40 | 10—20 | 2,5—5,0 |
| Дуговая самозащитной проволокой | 2—9 | 25—50 | 2,5—5,0 |
| Дуговая самозащитной лентой | 10—20 | 15—40 | 2,5—5,0 |
| Электрошлаковая двумя электродными лентами | 10—60 | 5—15 | 1,5—5,0 |
| Электрошлаковая электродными проволоками | 20—60 | 10—20 | 6,0—50 |
| Электрошлаковая зернистым присадочным материалом | 20—200 | 5—10 | 15,0—50 |
| Плазменная порошком | 0,8—6,0 | 5—15 | 0,3—6,0 |
| Индукционная | 2—15 | 5—15 | 0,4—3,0 |

Различные способы восстановления первоначальных размеров изношенных или поврежденных деталей (рис. 3.50, [120]).

Восстановление изношенных деталей наплавкой – эффективный и экономичный способ продления срока службы деталей машин. Наплавку применяют для восстановления размеров изношенных деталей и создания слоя металла на поверхности детали, отличающегося по своим свойствам от основного металла детали повышенной из-

носостойкостью, коррозионной стойкостью, жаростойкостью и другими свойствами.

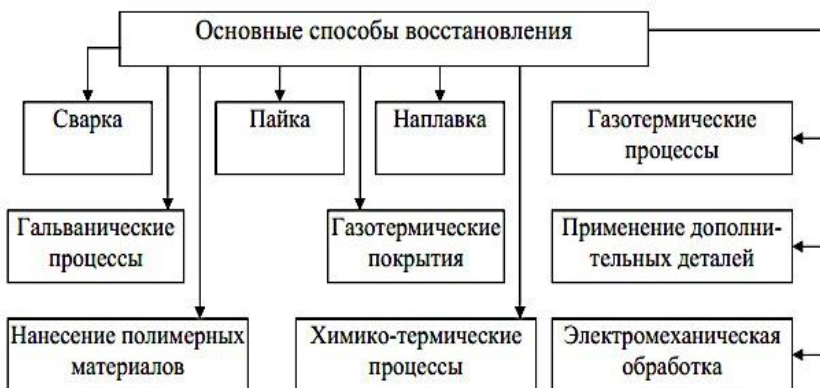


Рис. 3.50 – Основные способы восстановления деталей

Наиболее распространены способы ручной дуговой наплавки покрытыми электродами, наплавка неплавящимся угольным или вольфрамовым электродом в среде защитного газа, наплавка в углекислом газе, под слоем флюса, вибродуговая наплавка. Каждый из этих способов имеет свои области применения, преимущества и недостатки, которые в ряде случаев компенсируются процессами газотермического напыления покрытий (износо- и коррозионностойких, жаростойких и обладающих другими свойствами), детонационного, лазерного и плазменного напыления, а также иными инновационными методами реновации деталей машин.

Газотермические методы универсальны и поэтому могут с большой эффективностью применяться на всех уровнях производства – от заводов до передвижных ре-

монтажных мастерских. Универсальность и эффективность определяются следующими принципиальными особенностями газотермического напыления [121]:

- возможностью нанесения покрытий из самых различных материалов – цветных металлов и сталей, сплавов и интерметаллидов, соединений, органических веществ или композиций на их основе;

- возможностью нанесения покрытий на различные материалы – металлы, пластмассы, стекло, дерево, ткань, бумагу, керамику и т.д.;

- отсутствие деформации изделия, на которое покрытие наносится;

- небольшой потребностью в материалах для покрытий, т.к. их толщина обычно составляет до 1 мм;

- сравнительной простотой оборудования для напыления и относительно низкой трудоёмкостью процесса, поскольку он отличается высокой производительностью, которая для различных процессов составляет от 1 до 20 кг/час.

Контрольные вопросы

1. Что такое наплавка?
2. Как оценивается разбавление основным металлом наплавленного слоя?
3. Как выполняется ручная дуговая наплавка?
4. Как наплавлять цилиндрическую поверхность?
5. В чем достоинства дуговой наплавки угольным электродом?
6. В чем суть вибродуговой наплавки?

7. Каковы достоинства и недостатки наплавки в защитных газах?
8. Какой присадочный материал используют при плазменной наплавке?
9. В чем достоинства электрошлаковой наплавки?
10. Как наплавляют внутренние полости электрошлаковой наплавкой?
11. Почему при индукционной наплавке наблюдается равномерный нагрев наплавляемого слоя?
12. Каковы достоинства наплавки трением?
13. За счет чего нагревается изделие при электроконтактной наплавке?
14. В чем достоинства и недостатки газовой наплавки?
15. Что такое шликерный способ наплавки покрытия?
16. В чем достоинства лазерной наплавки?
17. Каковы достоинства и недостатки различных способов подачи порошка в зону лазерной наплавки?
18. Что такое электрод? Что такое плавящийся электрод?
19. В чем заключается назначение электродной проволоки?
20. Что представляет собой по структуре порошковая проволока?
21. В чем состоит назначение флюсов? Дайте их классификацию.
22. В чем заключаются основные требования к порошкам? Приведите классификацию порошков.
23. Что собой представляют шнуры? Какие материалы служат основой для их производства?

24. Какое значение имеет доля основного и присадочного металла на качество формирования наплавляемого слоя?
25. Как изменяется глубина проплавления при увеличении диаметра электрода?
26. Как подается флюс в зону сварки?
27. Виды классификации защитных газов, применяемых в наплавочных процессах.
28. Что называется восстановительной наплавкой?
29. Какими основными показателями характеризуются методы наплавки?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задачи и принципы подготовки производства и организации восстановления деталей машин обусловлены выходом из строя деталей машин и механизмов в процессе их эксплуатации вследствие ударных нагрузок, истирания, действия агрессивных сред и других причин.

Современные методы восстановления деталей машин располагают различными возможностями ремонта деталей и их отдельных поверхностей посредством технологического процесса возобновления исправного состояния и ресурса срока службы этих деталей путем возвращения им утраченной части материала из-за изнашивания и доведения до нормативных значений уровня свойств, изменившихся за время длительной эксплуатации.

В настоящее время известны многие способы восстановления изношенных деталей, каждый из которых имеет свою рациональную область применения.

При выполнении ремонтных работ любых видов машин в основном используется восстановительная наплавка – нанесение слоя металла на изношенную часть поверхности детали сваркой плавлением. Восстановительная наплавка применяется для получения первоначальных (номинальных) размеров изношенных или поврежденных деталей. В этом случае наплавленный металл близок по составу и механическим свойствам основному металлу.

Наиболее широко наплавка применяется при ремонтных работах по восстановлению корпусных деталей различных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), рас-

пределительных и коленчатых валов, клапанов, шкивов, маховиков, ступиц колес и т.д. Наплавку можно практически производить почти всеми известными способами сварки плавлением. При этом используется широкий сортамент материалов наплавки покрытий – электродов, лент, шнуров, порошковой проволоки и др.

Возобновление исправного состояния и ресурса срока службы деталей машин достигается применением традиционных способов наплавки покрытий – ручной и механизированной дуговой наплавки, вибродуговой и газопламенной наплавки, а также и специализированных способов наплавки покрытий – плазменной, лазерной, индукционной, электроискровой и электроконтактной наплавки, каждый из которых имеет свои преимущества и достоинства, в т.ч. в части рационального нивелирования температурного влияния на снижение усталостной прочности наплавленных деталей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пучин, Е.А. Технология ремонта машин / Е.А. Пучин, В.С. Новиков, Н.А. Очковский [и др.]; ред. Е.А. Пучина. – Москва: Колосс, 2011. – 448 с.
2. Купаев, В.В. Наплавка как один из методов восстановительных работ при ремонте техники / В.В. Купаев // Вестник Нижегород. гос. инженерно-экономич. ун-та. – 2013. – № 8(27). – С. 49–53.
3. Ельцов, В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин: электрон. учеб. пособие / В.В. Ельцов. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. – ISBN 978-5-8259-0820-5.
4. Характеристика способов наплавки и восстанавливаемых изделий. – URL: <https://extxe.com/1440/harakteristika-sposobov-naplavki-i-vostranavlivaemyh-izdelij/> (дата обращения: 05.03.23).
5. Наплавка. Классификация способов наплавки. – URL: <https://metalc-office.ru/obrabotka/naplavochnyye-raboty.html> (дата обращения: 05.03.23).
6. Технология конструкционных материалов: обработка металлов давлением: учебное пособие / В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов, А.В. Суворов. – Челябин. гос. пед. ун-т. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2016. – 183 с.: ил. – ISBN 978-5-906777-66-9.
7. Белевитин, В.А. Упрочнение и восстановление деталей машин: справоч. пособие / В.А. Белевитин, А.В. Суворов. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та. – 2015. – 263 с.: ил. – ISBN 978-5-906777-38-6.
8. Родионов, И.В. Анализ структуры поверхностного слоя, его качества и влияния на эксплуатационные свойства деталей / И.В. Родионов // Современные материалы, техника и технологии. – 2020. – № 3 (30). – С. 42–47.
9. Электроды для наплавки. – URL: <http://weldzone.info/materials/electrodes/17-classification/21-deposition> (дата обращения: 05.03.23).
10. Порошки для наплавки и напыления. – URL: <https://www.plasmacentre.ru/produkcziya/poroshki-provoloka-elektrodyi/> (дата обращения: 05.03.23).

11. Прогрессивные технологии восстановления и упрочнения деталей машин: учеб. пособие / Ж.А. Мрочек, Л.М. Кожуро, И.П. Филонов. – Минск: УП «Технопринт», 2000. – 268 с. – ISBN 985-6373-74-3.

12. Порошки интерметаллиды – основные марки и их характеристики. – URL: <https://www.ural-atom.ru/articles/163465> (дата обращения: 05.03.23).

13. Порошковые материалы: учеб. пособие / А.В. Гропянов, Н.Н. Ситов, М.Н. Жукова. – Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД. 2017. – 74 с.

14. Порошковые металлические материалы. Виды, классификация порошковых материалов. – URL: <https://extxe.com/14800/poroshkovye-metallicheskie-materialy-prime-nenie-poroshkovyh-materialov/> (дата обращения: 05.03.23).

15. Поляк, М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения: в 2-х т. Т. 1, 2 / М.С. Поляк. – Москва: «ЛВМ-СКРИПТ», «Машиностроение», 1995.

16. Хасуи, А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки; пер. с японск. В.Н. Попова; ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. – Москва: Машиностроение, 1985.

17. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А. Витязь и др. – Минск: Беларуская навука, 1998.

18. Ивашко, В.С. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий / В.С. Ивашко, И.Л. Куприянов, А.И. Шевцов. – Минск: Навука і тэхніка, 1996.

19. Пантелеенко, Ф.И. СДЛП на железной основе и защитные покрытия из них / Ф.И. Пантелеенко. – Минск: УП «Технопринт», 2001.

20. Петришин, Г.В. Диффузионно-легированный стальной порошковый материал для магнитно-электрического упрочнения / Г.В. Петришин, Е.Ф. Пантелеенко, А.Ф. Пантелеенко // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – № 4. – С. 26–31.

21. Соколов, И.О. Исследование влияния нанокремниевых компонентов на твердость композиционных газотермических покрытий / И.О. Соколов, Д.В. Куис, Д.Н. Лобко. – URL: https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/52667/1/Соколов.%20Куис_Исследование.pdf.

22. Пантелеенко, Ф.И. Исследование диффузионно-легированных самофлюсующихся порошков на основе сталей аустенитного класса / Ф.И. Пантелеенко, О.Г. Девойно // *Литье и металлургия*. – 2013. – № 1 (69). – С. 104–107. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-diffuzion-no-legirovannyh-samoflyusuyuschih-sya-poroshkov-na-osnove-staley-austenitnogo-klassa/viewer>

23. Никелевые и железные самофлюсующиеся сплавы для покрытий. – URL: <http://www.polema.net/nikelevye-samoflyusujushiesja-splavy-dlja-pokrytij.html>.

24. Сидоров, А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. – Москва: Машиностроение; 1987. – 192 с. – URL: <http://delta-grup.ru/bibliot/23/1.htm>

25. Li, Q. Comparison of laser-clad and furnace-melted Ni-based alloy microstructures / Q. Li, D. Zhang, T. Lei, C. Chen, W. Chen // *Surface and Coatings Technology*. – 2001. – Vol. 137, iss. 2–3. – P. 122–135.

26. Машков, Ю.К. Трибология конструкционных материалов: учеб. пособие / Ю.К. Машков. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 1996. – 304 с.

27. Simunovic, K., Saric, T., Simunovic, G. Different Approaches to the Investigation and Testing of the Ni-Based Self-Fluxing Alloy Coatings—A Review. Part 2: Microstructure, Adhesive Strength, Cracking Behavior, and Residual Stresses Investigations / K. Simunovic, T. Saric, G. Simunovic // *Tribology Transactions* – 2014. – Vol. 57, iss. 6. – P. 980–1000.

28. Simunovic, K. Different Approaches to the Investigation and Testing of the Ni-Based Self-Fluxing Alloy Coatings—A Review. Part 1: General Facts, Wear and Corrosion Investigations / K. Simunovic, T. Saric, G. Simunovic // *Tribology Transactions*. – 2014. – Vol. 57, iss. 6. – P. 955–979.

29. Алешин, Н.П. Сварка, резка, контроль: справочник / Н.П. Алешин, Г.Г. Чернышев, Э.А. Гладков. – 2004. – Москва: Машиностроение. – URL: <https://obuchalka.org/20210818135421/svarka-rezka-kontrol-spravochnik-tom-1-aleshin-n-p-chernishov-g-g-glادkov-e-a-2004.html>. – ISBN 5-217-03263-4

30. Иванов, В.П. Ремонт машин. Технология, оборудование, организация: уч-к / В.П. Иванов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новополюцк: УО «ПГУ», 2006. – 468 с. – ISBN 985-418-421-8 . – URL: https://elib.psu.by/bitstream/123456789/8011/1/Иванов%20В.П.%20Ремонт%20машин_учеб_2006.pdf

31. Смирнов, А.С. Выбор способа восстановления шеек коленчатых валов / А.С. Смирнов // Материалы междунар. студен. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы автомобильного транспорта», Владимир, 7–18 апр. 2014 г. / под ред. Ю.В. Баженова; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2014. – С. 26–28. – ISBN 978-5-9984-0521-1. – URL: <https://dspace.www1.vlsu.ru/bitstream/123456789/3630/1/01359.pdf>

32. Тарасов, В.В. П.Ф. Способ многоэлектродной наплавки в магнитном поле / В.В. Тарасов, Л.К. Лещинский, П.Ф. Лаврик // Авторское св-во на изобретение SU 354952 A1. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU354952A1_19721016

33. Размышляев, А.Д. Использование магнитных полей при дуговой наплавке / А.Д. Размышляев, В.Р. Маевский, В.П. Иванов // Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2000. – № 10. – С. 208–212. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-magnitnyh-poley-pri-dugovoy-naplavke>

34. Сущность способа электромагнитной наплавки. – URL: <https://ozlib.com/817982/tehnika/uprochnenie-metallicheskih-poverhnostey-elektromagnitnoy-naplavkoj>

35. Анализ способов электромагнитной наплавки и устройства, реализующие их. – URL: http://www.emn-modern.narod.ru/book/1_1.htm (дата обращения: 09.03.23).

36. Жудра, А.П. Наплавочные порошковые ленты: обзор / А.П. Жудра, А.П. Ворончук // Автоматическая сварка. 2012. – №1. – С. 39–44. – URL: <https://www.patonpublishinghouse.com/as/pdf/2012/pdfarticles/01/10.pdf> (дата обращения: 14.03.23).

37. Авт. св-во. СССР. № 132271. Ленточный порошковый электрод / Г.П. Клековкин, О.А. Бакши, Т.В. Сумина, Е.Ф. Белоусов. – Приорит. от 30.01.1959.

38. Бакши, О.А. Износостойкая наплавка ленточным порошковым электродом / О.А. Бакши, Е.Ф. Белоусов, Г.П. Клековкин и [др.] // Сварочное производство. – 1960. – № 3. – С. 30–33.

39. Авт. св-во. СССР № 143180. Порошковый электрод Клековкина / Клековкин Г. П., 1960.

40. Хаскин, В.Ю. Современное состояние и перспективы развития технологий лазерной и гибридной наплавки (обзор) / В.Ю. Хаскин, В.Д. Шелягин, А.В. Бернацкий. – URL: <https://www.patonpublishinghouse.com/as/pdf/2015/pdfarticles/06/6.pdf> (дата обращения: 14.03.23).

41. Gvozdetzky, V.S. Laser-arc discharge: Theory and applications / V.S. Gvozdetzky, I.V. Krivtsun, M.I. Chizhenko et al. // Welding and Surfacing Rev. – Harwood Academic Publ. – 1995. – № 3. – 148 p.

42. Hai-ou, Zhang, Ying-ping Qian, Gui-lan Wang. Study of rapid and direct thick coating deposition by hybrid plasma-laser manufacturing / Zhang Hai-ou, Qian Ying-ping, Wang Gui-lan // Surface & Coatings Technology. – 2006. – 201. – P. 1739–1744.

43. Wilden J., Bergmann J.P., Dolles M. Riporti superficiali laser: aumento di efficienza e flessibilità tramite processi ibridi / J. Wilden, J.P. Bergmann, M. Dolles // Riv. Ital. Saldatura. – 2005. – No 6, Novembre/Dicembre – P. 809–816.

44. Верхотуров, А.Д. Упрочнение поверхностей электроискровым легированием порошковыми материалами из минерального сырья / А.Д. Верхотуров, Ю.И. Мулин, Л.А. Климова // Электронная обработка материалов. 2003. № 2. С. 30-33. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uprochnenie-poverhnostey-elektroiskrovym-legirovaniem-poroshkovymi-materialami-iz-mineralnogo-syrya/viewer> (дата обращения: 14.03.23).

45. Юрченко, Е.В. Технология получения упрочняющих наноструктурированных электроискровых покрытий на алюминиевых сплавах и их использование при восстановлении и ремонте деталей машин: диссертация на соискание ученой степени д.т.н. / Е.В. Юрченко. – Кишинев. – 2016. –

URL:http://www.cnaa.md/files/theses/2016/50307/evgheni_i_urcenco_thesis.pdf (дата обращения: 14.03.23).

46. Способы электроконтактной наплавки. – URL: http://www.e-ng.ru/promyshlenost_proizvodstvo/kurovaya_rabota_elektrokontaktnaya.html (дата обращения: 15.03.23).

47. Способы восстановления поверхностей детали. – URL: <https://de.donstu.ru/CDOCourses/structure/TM/TM/780/2222.html> (дата обращения: 15.03.23).

48. Обобщенная характеристика и классификация материалов. – URL: https://studopedia.ru/22_89249_obshchaya-harakteristika-materialov.html (дата обращения: 19.03.23).

49. Типы смешанных структур. – URL: <http://pomol.club.com.ua/blog/?p=2780> (дата обращения: 19.03.23).

50. Композиционные порошки. – URL: <https://stal-kom.ru/material-metall-s-napyleniyem/> (дата обращения: 19.03.23).

51. Спекание, свойства порошковых материалов. – URL: https://metallicheskiy-portal.ru/articles/porochmet/spekanie_porochk_materialov_i_svoistva/?page=1 (дата обращения: 20.03.23).

52. Ремонт деталей автомобилей и тракторов сваркой и наплавкой. – URL: <https://extxe.com/1491/remont-detalej-avtomobilej-i-traktorov-svarkoj-i-naplavkoj/> (дата обращения: 21.03.23).

53. Из чего состоит сварочный электрод – виды покрытий, маркировка, классификация. – URL: <https://metall.org/obrabotka/svarka/iz-chego-sostoit-elektrod.html> (дата обращения 22.03.23).

54. Электроды для ручной электродуговой сварки. – URL: <https://helpiks.org/5-37170.html> (дата обращения: 23.03.23).

55. Пантелеенко, Ф.И. Восстановление деталей машин: справочник / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов и [др.]; под ред. В.П. Иванов. – Москва: Машиностроение, 2003. – 672 с., ил.

56. Электроды для сварки и наплавки чугуна. – URL: <http://weldzone.info/materials/wire/22-iron3> (дата обращения: 23.03.23).

57. Электроды для сварки цветных металлов: алюминия, меди, никеля и их сплавов. – URL: <http://weldzone.info/materials/wire/19-deposition5> (дата обращения: 29.03.23).

58. Порошки из сплавов для наплавки. Технические условия по ГОСТ 21448-75. – URL: https://pp-t.ru/informaciya/poroshki_dlya_naplavki_tehnicheskie_usloviya.htm (дата обращения: 29.03.23).

59. Порошки коррозионностойких сталей и сплавов. – URL: <https://topuch.com/legirovannie-poroshki/index.html> (дата обращения: 29.03.23).

60. Хренов, О.В. Материалы и технология порошковой металлургии: учеб.-метод. пособие / О.В. Хренов, Л.Н. Афанасьев, А.В. Лешок. – Минск: Изд-во БНТУ, 2010. – 37 с.

61. Металлические порошки. – URL: <http://www.polema.net/userfiles/files/metal-powders.pdf> (дата обращения: 29.03.23).

62. Химия и химическая технология: справочник. – URL: <https://www.chem21.info/info/1545691/> (дата обращения: 29.03.23).

63. Порошки газотермического покрытия. – URL: https://vuzlit.com/2077086/obschie_svedeniya (дата обращения: 09.03.23).

64. Особенности сварки порошковой проволокой. – URL: <https://svarkaved.ru/o-svarke/osobennosti-svarki-poroshkovoy-provolokoу> (дата обращения 29.03.23).

65. Жудра, А.П. Наплавочные ленты: обзор / А.П. Жудра, А.П. Ворончук. – URL: <https://www.patonpublishinghouse.com/as/pdf/2012/pdfarticles/01/10.pdf> (дата обращения: 11.03.23).

66. Наплавка деталей твердыми сплавами. – URL: <http://delta-grup.ru/bibliot/3/190.htm> (дата обращения: 07.04.23).

67. Ворончук, А.П. Особенности технологии изготовления и применения порошковых лент для наплавки / А.П. Ворончук, А.П. Жудра, В.О. Кочура и [др.]. Автоматическая сварка. – 2015. – № 5/6. – С. 114–118.

68. Гибкие шнуровые материалы (ГШМ) серии «Сфемкорд-Экзо». – URL: <https://www.oerlikon.com/ecoma/files/экзо.pdf?download=1> (дата обращения: 14.03.23).

69. Характеристики шнуровых материалов с порошковыми наполнителями для газотермического напыления и напла. – URL: <http://metalloved.narod.ru/8.htm> (дата обращения: 14.03.23).

70. Наплавка. Классификация способов наплавки. – URL: http://www.autowelding.ru/publ/professionalno_o_pajke/naplavka_sposoby_naplavki/naplavka_klassifikacija_sposobov_naplavki/31-1-0-475 (дата обращения: 14.03.23).

71. Наплавка покрытий. – URL: <https://kompaswork.ru/stati/12-statii/76-naplavka-pokrytij.html> (дата обращения: 14.03.23).

72. Технология дуговой наплавки деталей. – URL: <https://multiurok.ru/files/tehnologija-dugovoi-naplavki-detalei.html> (дата обращения: 16.03.23).

73. Ручная дуговая наплавка. – URL: <http://hssco.ru/ruchnaya-dugovaya-naplavka/> (дата обращения: 16.03.23).

74. Схема ручной наплавки. – URL: <https://www.autoezda.com/remauto/331-svarka.html> (дата обращения: 16.03.23).

75. Ручная дуговая сварка. – URL: <https://osvarka.com/vidy-i-sposoby-svarki/ruchnaya-dugovaya-svarka> (дата обращения: 16.03.23).

76. Сталинит. Наплавка. – URL: <https://mash-xxl.info/info/452897/?ysclid=lgf2m74vxw365885278> (дата обращения: 18.03.23).

77. Наплавка под флюсом, в защитных газах и порошковой проволокой. – URL: <https://extxe.com/2814/naplavka-pod-fljusom-v-zashhitnyh-gazah-i-poroshkovej-provolokoj/?ysclid=lgf2rbg5fd966645464> (дата обращения: 18.03.23).

78. Наплавка под флюсом. – URL: <https://mybiblioteka.su/10-36246.html> (дата обращения 18.03.23).

79. Технология дуговой наплавки. – URL: <https://poisk.ru.ru/s20828t26.html>. (дата обращения: 18.03.23).

80. Проволока – большой диаметр. – URL: <https://www.ngpedia.ru/id327521p1.html> (дата обращения: 18.03.23).

81. Сварка под флюсом. – URL: <https://svarka.ru/%D1%81%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B0-%D0%BF%>

D0%BE%D0%B4-%D1%84%D0%BB%D1%8E%D1%81%D0%BE%D0%BC/ (дата обращения: 18.03.23).

82. Наплавка под флюсом, в защитных газах и порошковой проволокой. – URL: <https://extxe.com/2814/naplavka-pod-fljusom-v-zashhitnyh-gazah-i-poroshkovoј-provolokoj/> (дата обращения: 18.03.23).

83. Дуговая наплавка под флюсом. – URL: <https://www.autoezda.com/sv1/654-dygsvarw.html> (дата обращения: 18.03.23).

84. Проволока стальная наплавочная. Технические условия по ГОСТ 10543-98. – URL: <https://www.autoezda.com/sv1/654-dygsvarw.html> (дата обращения: 18.03.23).

85. Восстановление деталей наплавкой. – URL: <https://svarkaprostо.ru/tehnologii/vosstanovlenie-detalej-svarkoj-i-na-plavkoј> (дата обращения: 18.03.23).

86. Флюсы и проволока для автоматической сварки. – URL: https://studopedia.su/19_108531_flyusi-i-provoloka-dlya-avtomaticheskoy-svarki.html (дата обращения: 18.03.23).

87. Сварка и наплавка в среде углекислого газа. – URL: <http://weldzone.info/technology/gas-shieldedarcwelding/258-co2> (дата обращения: 18.03.23).

88. Наплавка электродной лентой под флюсом. – URL: <https://megaobuchalka.ru/17/8161.html> (дата обращения: 18.03.23).

89. Ленточный электрод. – URL: <https://www.ngpedia.ru/id612353p2.html> (дата обращения: 18.03.23).

90. Оборудование и материалы, используемые для электромагнитной наплавки. – URL: https://ozlib.com/817983/tehnika/oborudovanie_materialy_іspolзуемые_elektrоmagnitnoу_naplavki (дата обращения: 18.03.23).

91. Рациональные режимы ЭМН. – URL: https://studref.com/498247/tehnika/ratsionalnye_rezhimy_elektromagnitnoу_naplavki (дата обращения: 18.03.23).

92. Сварка и наплавка деталей в среде защитных газов. – URL: <https://pvrт.ru/regim/regim-53.html> (дата обращения: 18.03.23).

93. Электродуговая наплавка неплавящимся электродом (вольфрамовым) в среде аргона. – URL: <http://avtomehi>.

ru/index/ehlektrodugovaja_naplavka_neplavjashhimsja_ehlektrodom_volframovym_v_srede_argona/0-690 (дата обращения: 18.03.23).

94. Восстановление деталей металлами. Вибродуговая наплавка. – URL: <https://everest-autokam.ru/news/vosstanovlenie-detaley-metallami/> (дата обращения: 18.03.23).

95. Вибродуговая наплавка деталей. – URL: <https://hon1.ru/?p=39> (дата обращения: 18.03.23).

96. Ремонт деталей способом вибродуговой наплавки. – URL: https://studopedia.su/9_43945_remont-detaley-sposob-om-vibrodugovoy-naplavki.html (дата обращения: 18.03.23).

97. Газовая сварка металлов. – URL: <https://svarkator.com/gazovaja-svarka-metallov/> (дата обращения: 18.03.23).

98. Газопламенная наплавка преимущества и недостатки. – URL: <https://poisk-ru.ru/s2283t23.html> (дата обращения 18.03.23).

99. Оборудование и оснастка для газопорошковой наплавки. – URL: https://bstudy.net/606660/tehnika/oborudovanie_osnastka_gazoporoshkovoy_naplavki. (дата обращения: 18.03.23).

100. Особенности и преимущества газопламенного напыления. – URL: <https://masterieltsonline.ru/o-materialah/gazoplennaya-metallizaciya.html> (дата обращения: 18.03.23).

101. Сущность и режимы газоацетиленовой сварки. – URL: <https://svarkagid.ru/tehnologii/sushhnost-i-rezhimy-gazovoj-atsetilenovoj-svarki.html> (дата обращения: 18.03.23).

102. Плазменно-дуговая сварка и наплавка <https://topuch.com/v-processe-ekspluatacii-avtomobilya-ego-rabochiesvoystva-post/index14.html> (дата обращения: 18.03.23).

103. Установки для плазменной наплавки. – URL: <http://weldzone.info/oborudovanie/machines/95-plasma-welding/294-plasma-deposition-facility> (дата обращения: 18.03.23).

104. Лазерная наплавка. – URL: <https://stal-kom.ru/tehnologiya-gazovoy-naplavki-metalla/> (дата обращения: 18.03.23).

105. Технология лазерной наплавки. Наплавка проволокой или порошком. – URL: https://www.irslasertech.ru/tehnologii/lazernaya_naplavka (дата обращения: 18.03.23).

106. Процесс DMT. – URL: https://3d_print.jofo.me/1934265.html (дата обращения: 18.03.23).

107. Наплавка токами высокой частоты. – URL: <https://extxe.com/2834/naplavka-tokami-vysokoj-chastoty-indukcionnaja/> (дата обращения: 18.03.23).

108. Характеристика зон поверхностного слоя детали после электроэрозионной обработки. – URL: https://studopedia.su/21_43389_harakteristika-zon-poverhnostnogo-sloya-detali-posle-elektroerozionnoy-obrabotki.html (дата обращения: 18.03.23).

109. Электроискровое наращивание и легирование. – URL: <https://extxe.com/2907/jelektroiskrovoye-narashhivanie-i-legirovanie/> (дата обращения: 18.03.23).

110. Наплавка трением. Электроконтактная наварка. – URL: <https://extxe.com/2839/naplavka-treniem-jelektrokontaktnaya-navarka/> (дата обращения: 18.03.23).

111. Электромагнитная наплавка. – URL: https://studopedia.ru/24_8067_elektromagnitnaya-naplavka.html (дата обращения: 18.03.23).

112. Электроконтактные напекание и наплавка. – URL: <https://stroy-technics.ru/article/elektrokontaktnye-napekanie-i-naplavka> (дата обращения: 21.03.23).

113. Электроконтактное припекание порошка. – URL: <https://pandia.ru/text/81/170/18164-6.php> (дата обращения: 21.03.23).

114. Ярошевич, В.К. Электроконтактное упрочнение / В.К. Ярошевич, Я.С. Генкин, В.А. Верещагин; под ред. Н.Н. Дорожкина. – Минск: Наука и техника, 1982. – 256 с.: ил.

115. Особенности наварки свободных порошков. – URL: <https://studentopedia.ru/tovarovedenie/osobennosti-navarki-svobodnih-poroshkov--vliyanie-kolichestva-polimera-i-raboche-go-davleniya.html> (дата обращения: 21.03.23).

116. Электроконтактная наплавка. – URL: <https://topref.ru/referat/135830/6.html> (дата обращения: 21.03.23).

117. Электро-контактная приварка металлического слоя. – URL: <https://sxteh.ru/mess007.htm> (дата обращения: 21.03.23).

118. Схема электроконтактной наплавки в высаженную канавку. – URL: <https://poisk-ru.ru/s23416t15.html> (дата обращения: 21.03.23).

119. Восстановительная наплавка. Классификация способов наплавки. – URL: http://www.autowelding.ru/publ/professionalno_o_pajke/naplavka_sposoby_naplavki/naplavka_klassifikacija_sposobov_naplavki/31-1-0-475 (дата обращения: 21.03.23).

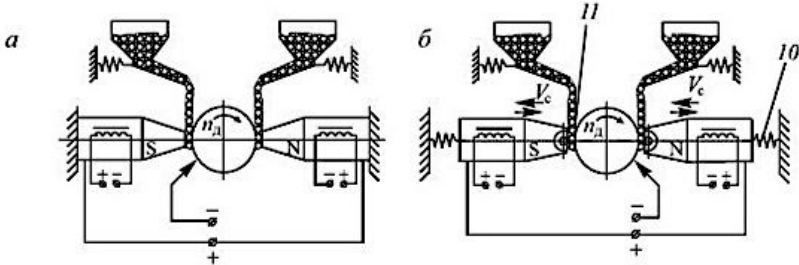
120. Характеристика способов наплавки и восстанавливаемых изделий. – URL: <https://extxe.com/1440/harakteristika-sposobov-naplavki-i-vosstanavlivaemyh-izdelij/> (дата обращения: 21.03.23).

121. Практические применения газотермических технологий нанесения защитных покрытий: руководство для инженеров. – URL: https://t-s-t.ru/f/prakticheskiye_primene_niya_gazotermicheskikh_tekhnologiy_naneseniya_zashchitnykh_pokrytij_rukovodstvo_dlya_inzhenerov.pdf (дата обращения: 21.03.23).

ПРИЛОЖЕНИЕ

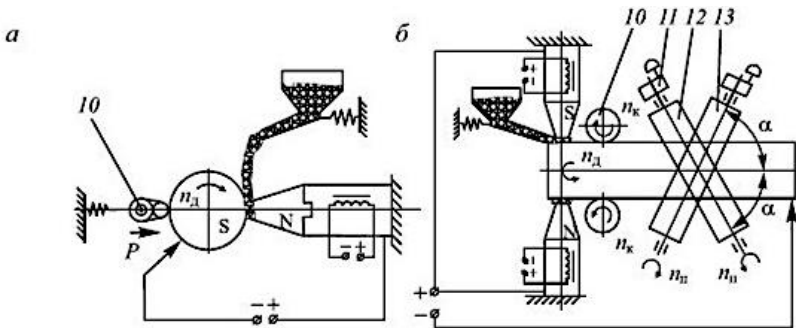
Инновационные варианты способа ЭМН

1. Нанесение защитных металлических покрытий на внешние (наружные) поверхности деталей типа тел вращения:

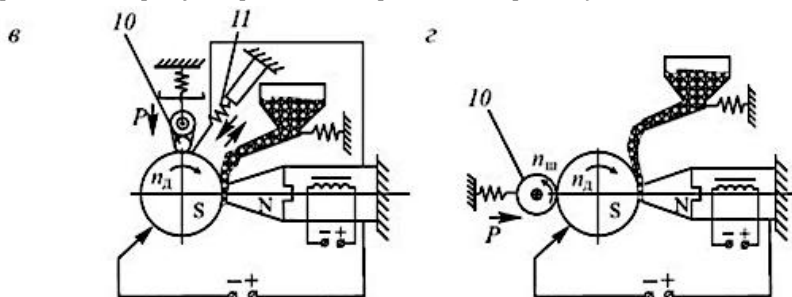


а – с постоянным рабочим зазором; б – с автоматическим поддержанием рабочего зазора (10 – пружина; 11 – ролик опорный)

2. Комбинированная обработка наружных металлических поверхностей деталей типа тел вращения (а, б – наплавка с с поверхностной пластической деформацией (ППД))

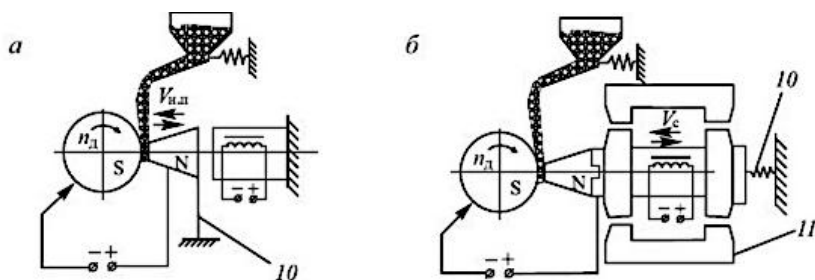


а – с жёстко закреплённым накатным устройством; (10 – шариковый накатник); *б* – без базирования деталей (10 – направляющий ролик; 11 – редуктор; 12, 13 – прижимной ролик)



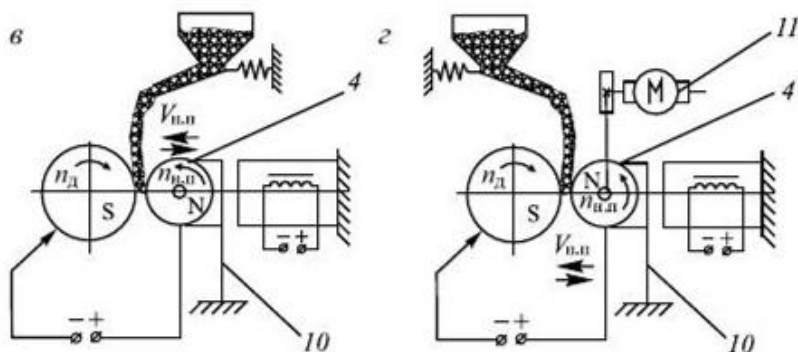
в – с дополнительным термическим воздействием электрода; (10 – вибрирующий ролик); 11 – угольный электрод); *г* – со шлифованием покрытий (10 – абразивный круг)

3. Нанесение упрочняющих металлических покрытий на поверхности деталей типа тел вращения в условиях фазового сдвига импульсов электрического тока



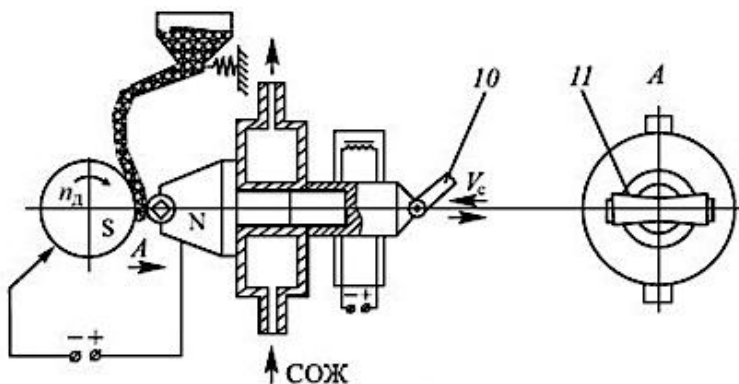
а – с вибрацией полюсного наконечника; (10 – пластинчатая пружина); *б* – с вибрацией магнитной системы (10 – пружина; 11 – магнитопровод)

4. Нанесение упрочняющих металлических покрытий на поверхности деталей типа тел вращения в условиях фазового сдвига импульсов магнитного поля



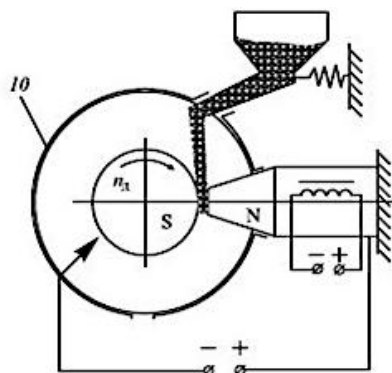
в – с осцилляцией и самовращением полюсного наконечника (4 – дисковый полюсный наконечник; 10 – пластинчатая пружина); з – с осцилляцией и принудительным вращением полюсного наконечника (4 – дисковый полюсный наконечник; 10 – пластинчатая пружина; 11 – электродвигатель)

5. Нанесение упрочняющих металлических покрытий на поверхности деталей типа тел вращения с осцилляцией полюсного наконечника посредством электромеханического привода



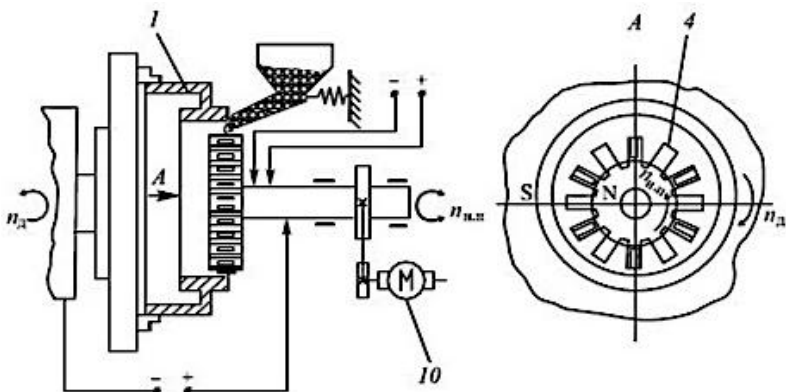
(10 – рычаг механизма привода; 11 – роликовый полюсный наконечник)

6. Нанесение защитных металлических покрытий в среде инертных газов на наружные поверхности деталей типа тел вращения



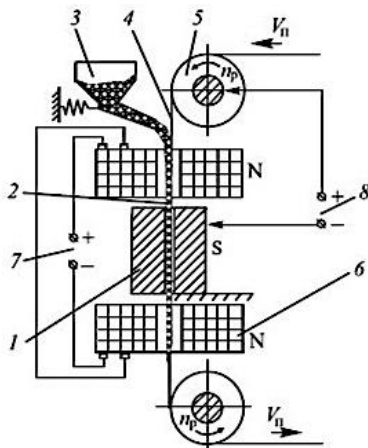
(10 – защитная диамагнитная электрическая камера)

7. Нанесение защитных металлических покрытий на внутренние цилиндрические поверхности



(10 – деталь; 4 – полюсный наконечник; 10 – электродвигатель)

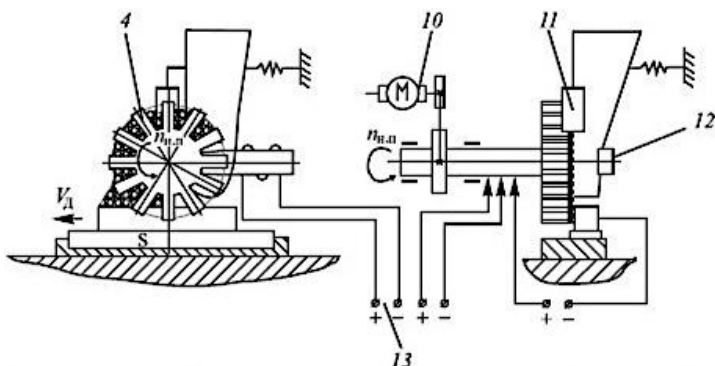
8. Нанесение защитных металлических покрытий на внутренние цилиндрические поверхности



(10 – деталь; 2, 7 – источники питания электромагнитной катушки (ЭМК) и технологического тока (ТТ); 3 – ферромагнитный порошок; 4 – бункер-дозатор; 5 – электрод-инструмент; 6 – направляющий ролик; 8 – электромагнитная катушка)

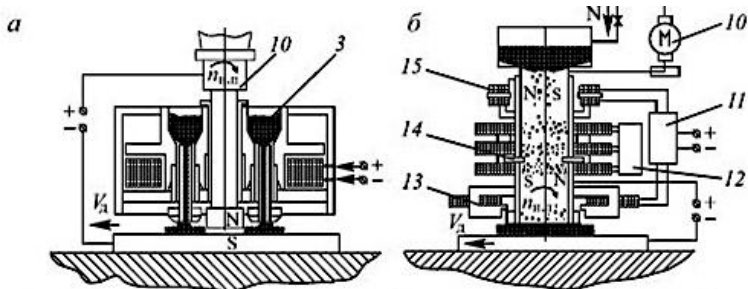
9. Нанесение упрочняющих металлических покрытий на наружные плоские, сложные профильные поверхности с

автоматическим регулированием подачи ферромагнитного порошка (ФМП) в рабочую зону



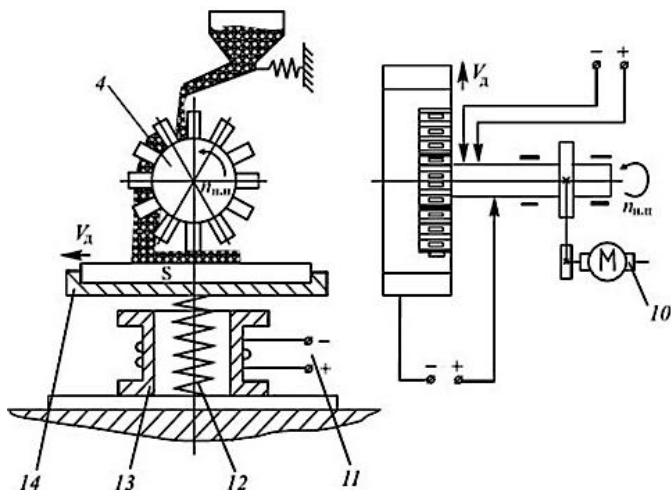
(4 – полюсный наконечник; 10 – электродвигатель; 11 – калибрующий ролик; 12 – постоянный магнит; 13 – источник питания заслонки электромеханической камеры)

10. Нанесение упрочняющих металлических покрытий на наружные плоские поверхности



а – с вибрацией полюсных наконечников; (3 – дозирующая втулка; 10 – оправка); б – с подачей азота в рабочую зону (10 – электродвигатель; 11 – фазовый генератор; 12 – блок управления; 13 – электромагнит; 14 – электрод; 15 – постоянный магнит)

11. Нанесение упрочняющих металлических покрытий на наружные плоские поверхности с автоматическим регулированием рабочего зазора



(4 – полюсный наконечник; 10 – электродвигатель; 11 – блок управления зазором; 12 – пружина; 13 – сердечник; 14 – опорный стол)

Учебное издание

Белевитин Владимир Анатольевич

ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Учебное пособие

ISBN 978-5-907790—09-4

Работа рекомендована РИС ЮУрГГПУ
Протокол № 28 от 2023 г.

Редактор Е.М. Сапегина
Компьютерная верстка В.А. Белевитин

Фото на обложке: <https://ru.freepik.com/photos/welder>.
Издательство ЮУрГГПУ

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69

Подписано в печать 24.05.2023 г.

Формат 60x84 1/16

Объем 8,4 уч.-изд. л. – 17,4 усл.п.л.

Тираж 100 экз. Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета

в типографии ЮУрГГПУ

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69