

## Уважаемые студенты!

### Задание:

1. Прочтите приведенный ниже конспект лекции.
2. Напишите конспект лекции в тетрадь объемом не менее 5 страниц рукописного текста.
3. Ответьте письменно на контрольные вопросы.
4. Письменный отчет конспекта лекции и ответов на вопросы в виде фото предоставьте преподавателю на e-mail ([tamara\\_grechko@mail.ru](mailto:tamara_grechko@mail.ru)).

**Обратите внимание!!!** В случае возникновения вопросов по теоретическому материалу лекции обращайтесь для консультации к преподавателю по тел. 0721355729 (Ватсап).

С уважением, Гречко Тамара Ивановна!

## ЛЕКЦИЯ

Тема: Общие сведения и классификация способов наплавки.

Цель: Изучить особенности и способы наплавки

### *План*

1. Общие сведения
2. Классификация способов наплавки
3. Термические способы наплавки

## 1. Общие сведения

Наплавка – нанесение слоя металла на поверхность заготовки или изделия посредством сварки плавлением.

В зависимости от назначения различают изготовительную и восстановительную наплавку.

*Изготовительная наплавка* служит для получения новых биметаллических (многослойных) изделий. Такие изделия состоят из основы (основной металл), обеспечивающей необходимую конструкционную прочность, и наплавленного рабочего слоя (наплавленный металл) с особыми свойствами (износостойкость, термостойкость, коррозионная стойкость и др).

*Восстановительная наплавка* применяется для восстановления первоначальных размеров изношенных или поврежденных деталей. В этом случае наплавленный металл может быть близок по составу и свойствам основному металлу (восстановительная размерная наплавка) или отличаться от них (восстановительная износостойкая наплавка).

Наплавку осуществляют нанесением расплавленного металла на поверхность изделия, нагретую до оплавления или до температуры надежного смачивания жидким наплавленным металлом. Наплавленный слой образует одно целое с основным металлом (металлическая связь). При этом, как правило, химический состав наплавленного слоя может значительно отличаться от состава основного металла. Толщина наплавленного металла, образованного одним или несколькими слоями, может быть 0,5-10 мм и более.

Необходимые свойства металла наплавленного слоя зависят от его химического состава, который определяется составом основного и дополнительного металлов и долями их участия в образовании шва.

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

#### *Преимущества наплавки.*

1. Возможность нанесения металлического покрытия большой толщины.
2. Высокая производительность.
3. Отсутствие ограничений по размерам наплавливаемых поверхностей изделий,
4. Простота выполнения, не требующая высокой квалификации, сварщика.
5. Возможность нанесения износостойкого покрытия на основной металл любого состава.
6. Возможность повышения эффективности наплавки путем ее сочетания с другими способами поверхностной обработки.

#### *Недостатки технологии наплавки.*

1. Ухудшение свойств наплавленного слоя из-за перехода в него элементов основного металла.
2. Деформация изделия, вызываемая высокой погонной энергией наплавки.
3. Неравномерность свойств наплавленных изделий,
4. Ограниченный выбор сочетаний основного и наплавленного металла.
5. Трудность наплавки мелких изделий сложной формы.

## **2. Классификация способов наплавки**

Способы наплавки, как и способы сварки, классифицируются по трем группам признаков: физическим, техническим и технологическим.

По физическим признакам (используемые источники нагрева) основные способы наплавки можно разделять на **три класса**:

- термический (наплавка дуговая, электрошлаковая, плазменная, электронно-лучевая, световая, индукционная, газовая, печная);

- термомеханический (наплавка контактная, прокаткой);
- механический (наплавка взрывом, трением).

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

### 3. Термические способы наплавки

#### 3.1. Ручная дуговая наплавка угольными электродами

Ручная дуговая наплавка угольными электродами (рисунок 35.1, а) осуществляется путем расплавления слоя сыпучего зернистого наплавочного сплава.

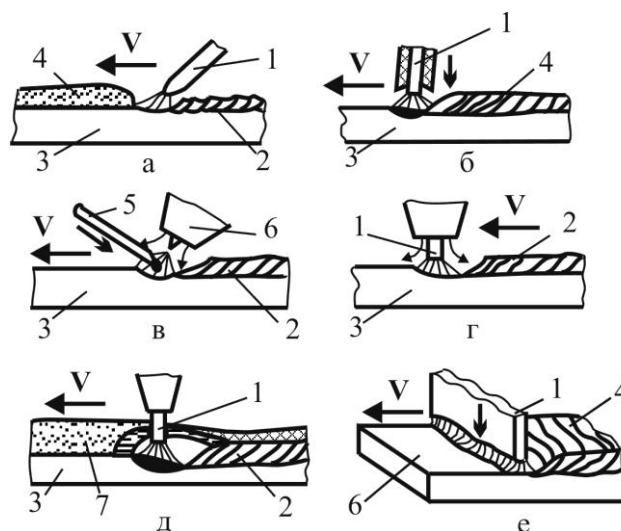


Рисунок 35.1 - Схемы основных способов дуговой наплавки:

- а – угольным (графитовым) электродом (1) расплавлением слоя сыпучего зернистого наплавляемого материала;
- б – ручной дуговой сваркой покрытым электродом (1) с легирующим покрытием (2);
- в – неплавящимся вольфрамовым электродом (1) в защитных инертных газах с присадочным прутком (2);
- г – плавящимся электродом (проволокой) (1) в среде защитных газов;
- д – электродной проволокой (1) под флюсом (7);
- е – плавящейся лентой (1) в защитных газах или под флюсом; во всех схемах: 3 – наплавляемая деталь; 4 – наплавленный слой

**3.2. Ручная дуговая наплавка покрытыми электродами** – наиболее универсальный способ для наплавки деталей различной формы, который может выполняться во всех пространственных положениях.

Легирование наплавленного металла производится через стержень

электрода или через покрытие (рисунок 35.1, б). Электродное покрытие служит для защиты ванны жидкого металла от кислорода и азота воздуха, повышения технологичности процесса наплавки и введения легирующих элементов в состав наплавленного металла.

Для наплавки используют электроды диаметром 3 – 6 мм (при толщине наплавленного слоя менее 1,5 мм применяют электроды диаметром 3 мм, при большей – диаметром 4 – 6 мм). Для обеспечения минимального проплавления основного металла при достаточной устойчивости дуги плотность тока должна составлять 11 – 12 А/мм<sup>2</sup>.

*Основные достоинства* способа: универсальность и гибкость при выполнении разнообразных наплавочных работ; простота и доступность оборудования и технологии; возможность получения наплавленного металла практически любой системы легирования.

*Основные недостатки* способа: низкая производительность; тяжелые условия труда; нестабильность качества наплавленного слоя; большое проплавление основного металла.

### **3.3. Полуавтоматическая и автоматическая дуговая наплавка**

Для наплавки применяются все основные способы механизированной дуговой сварки – под флюсом, в среде защитных газов и самозащитными проволоками и лентами.

*При наплавке под флюсом* (проволокой, лентой и др.) (рисунок 35.1, д, е) дуга скрыта под слоем гранулированного флюса, предварительно насыпанного на поверхность основного металла. Для наплавки под флюсом применяют электроды в виде одной или нескольких проволок диаметром 1 – 6 мм или электродной ленты толщиной 0,4 – 1,0 мм и шириной 20 – 100 мм. Расплавленный шлак надежно изолирует жидкий металл от газов воздуха, способствует сохранению теплоты дуги. После затвердевания металла образуется наплавленный валик, покрытый шлаковой коркой и нерасплавленным флюсом. Остывшую шлаковую корку удаляют. С помощью наплавки под флюсом можно наносить слой металла почти любого химического состава толщиной от 2 мм и более. Данный процесс применяют при наплавке цилиндрических поверхностей, а также всевозможных плоских деталей и изделий криволинейной формы (лопастей гидротурбин).

Процесс наплавки под флюсом отличается большой универсальностью, широкими возможностями легирования металла наплавленного слоя и повышенной производительностью труда.

Широкое распространение получила *электродуговая наплавка лентой*. Дуга на торце ленты (рисунок 35.1, е) циклически перемещается от одной кромки к другой в зависимости от тока и ширины ленты со скоростью 1 – 4

м/с. Вследствие перемещения дуги получается рассеянное тепловложение в основной металл, что снижает глубину проплавления основного металла и долю его в наплавленном до 10 – 15 %.

На рисунок 35.2 приведены некоторые примеры, характеризующие пути повышения производительности труда и качества при наплавке под флюсом. Наибольшее распространение получили способы многоэлектродной и многодуговой наплавки.

Суть способа *многоэлектродной электродуговой* наплавки под флюсом заключается в том, что дуга автоматически возникает на торце то одного, то другого электрода, расположенных на определенном расстоянии друг от друга и имеющих один общий токоподвод. Дуга, перемещаясь с одного электрода на другой, приводит к попеременному плавлению электродов, чем обеспечивается малая глубина проплавления при высокой производительности процесса.

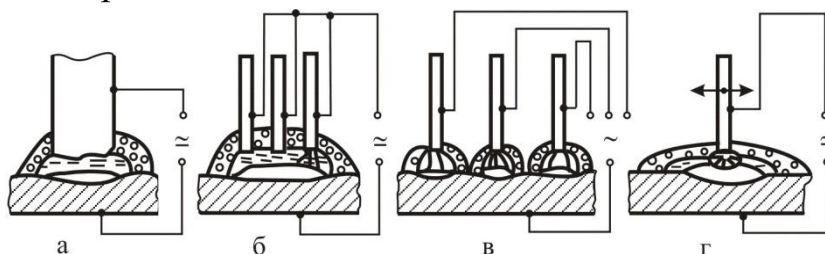


Рисунок 35.2 - Способы наплавки под флюсом:

а – электродной лентой; б – многоэлектродная;

в – многодуговая; г – поперечным колебанием электрода

При многоэлектродной наплавке вследствие перемещения дуги с одного электрода на другой длительность ее горения на одном из электродов значительно меньше, чем при одноэлектродной. Это уменьшает длительность воздействия дуги на расплавленный металл ванны в определенном ее месте. В результате уменьшаются глубина кратера и проплавление основного металла.

*Вибродуговая наплавка* под флюсом. Стремление сохранить хорошие качества наплавки, получаемой под слоем флюса, и уменьшения остаточных деформаций привело к использованию вибрации электрода при наплавке, что обеспечивает надежное зажигание и горение дуги при весьма низких параметрах режимов. В сочетании с охлаждением наплавляемой детали данный способ дает существенное снижение остаточных деформаций при высоких механических свойствах.

Схема устройства для наплавки валов небольшого диаметра таким способом показана на рисунок 35.3. Флюсоудерживающее приспособление 2 крепится к сварочной головке и перемещается вместе с ней. Для лучшего

отделения шлака и охлаждения наплавляемой детали устанавливают охладитель 3, подающий сжатый воздух.

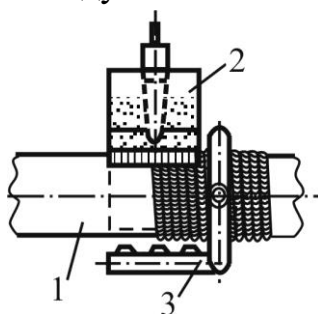


Рисунок 35.3 - Схема вибродуговой наплавки под флюсом

*Основные преимущества наплавки под флюсом:* универсальность; высокая производительность; возможность получения наплавленного металла практически любой системы легирования; малые потери электродного металла; отсутствие излучения дуги.

*Основные недостатки:* большое проплавление основного металла, особенно при наплавке проволоками; невозможность визуального наблюдения за формированием валиков; необходимость использования различных флюсоудерживающих и формирующих устройств; невозможность выполнения наплавки в пространственных положениях, отличных от нижнего; затрудненность удаления шлаковой корки при наплавке деталей малого диаметра и глубоких внутренних поверхностей.

**3.4. Наплавка в среде защитных газов.** Среди способов наплавки в среде активных защитных газов наибольшее распространение получила наплавка плавящимся электродом в среде дешевого и недефицитного углекислого газа. Этот способ позволяет наносить на детали небольших диаметров слои толщиной 0,5 – 3,5 мм высокого качества при высокой производительности. К недостаткам следует отнести повышенное разбрызгивание металла (до 15 %), необходимость применения специальной легированной проволоки для получения слоев высокого качества.

Перспективна наплавка в среде различных газовых смесей (12% CO<sub>2</sub> и 88% Ar; 3% O<sub>2</sub> и 97% Ar и др.). Этот способ дает возможность получать слои с высокими механическими свойствами, особенно по сопротивлению усталости и ударной вязкости.

*Наплавку в среде инертного газа* осуществляют неплавящимся и плавящимся электродами.

Для наплавки неплавящимся электродом в качестве неплавящихся электродов используются угольные (графитовые) стержни диаметром 5 – 40 мм и вольфрамовые прутки. При этом присадочный металл вводят в зону дуги в виде проволоки (прутка) или в виде порошка. При наплавке угольным (графитовым) электродом наплавочные порошки насыпают на наплавляемую

поверхность, а затем расплавляют (см. рисунок 35.1, а). Наплавленный металл отличается невысоким качеством вследствие окисления легирующих элементов, образования пор, неметаллических включений и других дефектов. Наплавка вольфрамовым электродом в среде инертного газа характеризуется тем, что дуга, за счет теплоты которой происходит плавление наплавочного присадочного металла, возникает между основным металлом и вольфрамовым электродом (см. рисунок 35.1, в). Процесс аргонодуговой наплавки, сходный с газовой наплавкой, протекает в условиях подачи наплавочного прутка и его плавления дугой.

Применение механизированных средств подачи наплавочного материала с постоянной скоростью позволяет осуществлять наплавку в автоматическом или полуавтоматическом режиме. Наплавка плавящимся электродом в среде защитного газа (см. рисунок 35.1, г) характеризуется тем, что дуга возникает между основным металлом и электродным наплавочным материалом. Наплавка протекает в условиях автоматической подачи электродной проволоки. В качестве защитного газа чаще всего используют аргон. С целью стабилизации дуги при наплавке стали к аргону добавляют до 20 % кислорода или углекислого газа. Поэтому задача получения наплавленного металла с заданными свойствами требует тщательного выбора состава защитного газа.

**3.5 Дуговая наплавка самозащитными порошковыми проволоками и лентами** в настоящее время получила большое распространение. Стабилизация дуги, легирование и защита расплавленного металла от азота и кислорода воздуха обеспечивается за счет соответствующих компонентов сердечника электродного материала. При этом газо- и шлакообразующие компоненты составляют 10 – 12 % массы проволоки или ленты (рисунок 35.4). Такая наплавка перспективна при упрочнении деталей сложной формы, когда наплавка их под слоем флюса затруднительна.

При плавлении такой проволоки легирующие элементы шихты и металла оболочки переходят в шов, образуя наплавленный металл. Наплавленный валик покрывается тонким слоем шлака, достаточным для защиты от воздействия воздуха и не требующим удаления при многослойной наплавке. Порошковые проволоки с внутренней защитой для автоматической и механизированной наплавки изготавливают диаметрами: 1,6; 2,0; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2 мм.

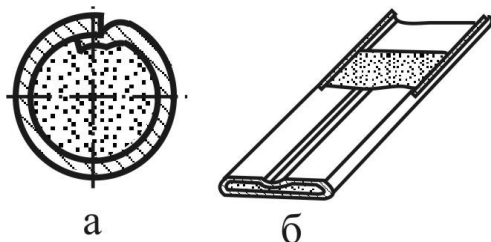


Рисунок 35.4- Конструкции порошковой проволоки (а) и ленты (б)

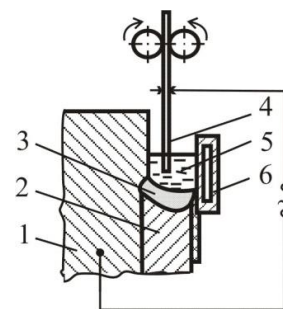


Рисунок 35.5 - Схема электрошлаковой наплавки

При наплавке крупных деталей вместо порошковой проволоки используется близкая по составу порошковая лента, что дает дополнительный выигрыш в производительности.

### 3.6. Электрошлаковая наплавка

Электрошлаковая наплавка (ЭШН) основана на использовании тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через расплавленный шлак (рисунок 35.5). В пространстве между плоскостью наплавляемого изделия 1 и формирующим кристаллизатором 6 создается ванна расплавленного шлака 5, в которую подается электрод 4. Ток, проходя между электродом и изделием, нагревает шлаковую ванну до температуры свыше  $2000^{\circ}\text{C}$ , в результате чего электродный и основной металлы оплавляются, образуя металлическую ванну 3, при затвердевании которой создается наплавленный слой 2.

ЭШН имеет ряд особенностей, отличающих ее от дуговой наплавки: при установившемся электрошлаковом процессе разбрызгивание отсутствует; расход флюса на образование шлаковой корки на поверхности наплавленного металла составляет не более 5 % его массы; расход электроэнергии в 1,5 – 2 раза меньше, а флюса в 20 раз; более низкие скорости нагрева и охлаждения основного металла шва неблагоприятно сказываются на структуре наплавленного металла и зоны термического влияния; формирование благоприятного направления роста кристаллов в наплавленном металле обуславливает снижение вероятности образования кристаллизационных трещин; меньшая склонность к образованию пор и несплошностей в металле наплавления. Малые плотности тока на электроде, характерные для данного способа наплавки, позволяют применить электроды большого сечения, в качестве которых используются проволока, прокатанные или литые стержни и пластины, трубы. Не исключается применение порошковой проволоки, а также проката различного профиля. Для получения устойчивого электрошлакового процесса необходимо, чтобы



глубина шлаковой ванны была не менее 30 мм. При уменьшении глубины ванны до 10–15 мм электрошлаковый процесс переходит в дуговой либо неустойчивый.

Способ ЭШН позволяет наплавить слой практически неограниченных размеров с принудительным формированием, а также толщиной 3 – 4 мм, получать слои с изменяющимся по длине химическим составом и свойствами по заранее заданному закону.

Данный способ наплавки имеет отличительный признак: присадочный материал вводится в металлический (или шлаковый) расплав как дополнение к основному металлу, получаемому либо расплавлением расходных электродов, либо плавлением одним из методов литья (дуговой, индукционный и т. п.).

Технология позволяет наплавлять детали различной формы, но наибольший опыт получен при наплавке наружных поверхностей цилиндрических деталей. Наплавляемое изделие 1 (см. рисунок 35.6) устанавливается вертикально, соосно с кристаллизатором-электродом 3. В зазор между наплавляемой поверхностью и стенкой секционного кристаллизатора, к одной из секций которого подведено напряжение, заливается расплавленный (отдельно) шлак.

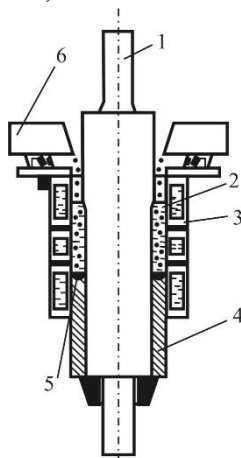


Рисунок 35.6 - Схема электрошлаковой наплавки зернистой присадкой в токоподводящем кристаллизаторе

При перекрытии шлаком всех секций кристаллизатора идущий от токоподводящей секции ток наплавки обеспечивает выделение в шлаковой ванне 2 теплоты, достаточной для поддержания ее в расплавленном состоянии и обеспечения электрошлакового процесса.

Конструкция ТПК позволяет вращать шлаковую ванну в горизонтальной плоскости благодаря взаимодействию магнитных полей шлаковой ванны и токоподводящей секции без применения каких-либо специальных источников энергии.

Нижняя секция кристаллизатора служит для формирования наплавленного слоя 4 и по конструкции является обычным кристаллизатором.

Промежуточная секция разделяет токоподводящую и формирующую секции, а также является элементом автоматического слежения за уровнем металлической ванны 5, которая образуется при расплавлении переплавляемых в шлаке частиц. Подача присадочного материала в шлаковую ванну осуществляется несколькими стационарными дозаторами 6, обеспечивающими (наряду с вращающейся шлаковой ванной) равномерное распределение частиц на поверхности шлаковой ванны, или одним, совершающим возвратно-вращательные движения по периметру кристаллизатора.

Порции жидкого металла постепенно кристаллизуются на очищенной шлаком от оксидов наплаваемой поверхности, формируя наплавленный слой. В процессе наплавки заготовка остается неподвижной, а кристаллизатор поднимается вверх (либо кристаллизатор неподвижен, а заготовка вытягивается из него). Для наплавки металла по всей длине заготовки на верхнем торце последней устанавливают выводные втулки, которые удерживают шлаковую ванну. При данном способе наплавки получение качественного наплавленного соединения во многом зависит от выбранного режима наплавки, применяемого состава флюса, фракционного состава присадочного материала и скорости ее подачи.

*Основные достоинства ЭШН:* высокая устойчивость процесса в широком диапазоне плотностей тока (от 0,2 до 300 А/мм<sup>2</sup>), что позволяет использовать для наплавки как электродную проволоку диаметром менее 2мм, так и электроды большого сечения (более 35000 мм<sup>2</sup>); высокая производительность, достигающая сотен килограммов наплавленного металла в час; возможность наплавки за один проход слоев большой толщины; возможность применения для сталей и сплавов с повышенной склонностью к образованию трещин; возможность придавать наплавленному металлу необходимую форму, сочетать наплавку с электрошлаковой сваркой и отливкой, на чем основана стыкошлаковая наплавка.

*Основные недостатки ЭШН:* большая погонная энергия процесса, что обуславливает перегрев основного металла в ЗТВ; сложность и уникальность оборудования; невозможность получения слоев малой толщины (кроме способа ЭШН лентами); большая длительность подготовительных операций.

### **3.7. Газовая наплавка**

При *газовой* наплавке (ГН) в качестве источника теплоты для получения наплавленного слоя металла используется газовое пламя. Газовым

пламенем специальных горелок можно производить наплавку, напыление покрытий, а также их оплавление. Газовое пламя получают при сжигании газообразных продуктов в кислороде. В качестве горючего газа чаще всего применяют ацетилен, максимальная температура пламени которого составляет 3150 °С. Используют для этих целей также пропан-бутан.

При наплавке, в отличие от сварки, желательна малая глубина проплавления основного металла, поэтому наплавку выполняют способом скоростной сварки (способом Линда). При сварке (наплавке) таким способом используют горелку с соплом большого диаметра, нагревая основной металл науглероживающим пламенем. При сварке с использованием горючей смеси, обогащенной ацетиленом, на поверхности металла оседают частицы восстановленного углерода, образуя тонкий науглероженный слой толщиной ~0,02 мм. Вследствие снижения точки плавления металла науглероженного слоя происходит расплавление только в тонком поверхностном слое. Возникновение этого явления, называемого "запотеванием", свидетельствует о готовности основного металла к газовой наплавке. "Запотевание" основного металла в сочетании с применением присадочного материала создает особо благоприятное условие для газовой наплавки с незначительным проплавлением основного металла. Появление "запотевания" позволяет также определить момент нагрева до температуры наплавки и точнее выбрать время подачи наплавочного материала. Вместе с тем науглероживание поверхности при наплавке этим способом вызывает повышение содержания углерода в наплавленном металле, что оказывает неблагоприятное влияние на его механические свойства и коррозионную стойкость. В связи с этим в настоящее время рассмотренный способ применяют только при наплавке высокохромистого сплава на основе железа и других высокоуглеродистых наплавочных материалов, тогда как при нанесении покрытий из коррозионно-стойкой стали, для которой науглероживание нежелательно, применяют способы дуговой наплавки плавящимся и вольфрамовым электродами в среде инертного газа.

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. Наряду с этими способами получил значительное развитие способ газопорошковой наплавки.

*Газопорошковая* наплавка позволяет упрочнять детали сложной конфигурации слоем минимальной толщины (0,1 – 0,3 мм) без разбавления основным металлом, так как зона перехода при этом составляет всего 100 –

120 мкм. Для наплавки используют специальные горелки (рисунок 35.7).

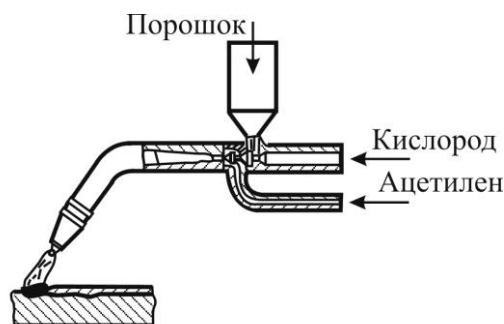


Рисунок 35.7 - Горелка для газопорошковой наплавки

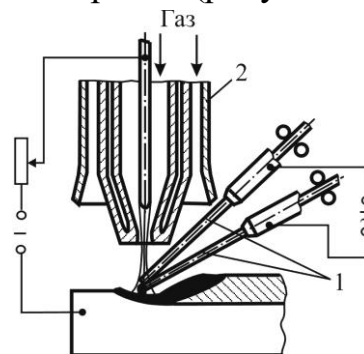


Рисунок 35.8 - Схема плазменной наплавки с двумя присадочными проволоками

Наплавочный материал в виде порошкового сплава подается из бункера под действием силы тяжести и инжектирующего действия кислородной струи через газокислородное пламя в место наплавки. В результате нагрева пламенем частицы порошка достигают поверхности детали в высокопластичном или расплавленном состоянии и после затвердевания образуют слой наплавленного металла, используемый для восстановления и упрочнения деталей машин.

Наплавку ведут гранулированным самофлюсующимся порошком системы хром – бор - никель. Расход порошка составляет до 2,7 кг/ч. Рекомендуемые размеры частиц порошка 40 – 100 мкм.

Газопорошковую наплавку используют в основном при ремонтных работах для восстановления и упрочнения автотракторных деталей, штампов и матриц, головок рельсов в железнодорожном транспорте и других деталей.

*Основные достоинства способа:* малое проплавление основного металла; универсальность и гибкость технологии; возможность наплавки слоев малой толщины.

*Основные недостатки способа:* низкая производительность процесса; малый коэффициент использования наплавочных материалов (60 – 80 %); нестабильность качества наплавленного слоя.

### 3.8. Плазменная наплавка

Широкое применение в настоящее время находят плазменные способы наплавки. При плазменной наплавке (ПН) в качестве источника нагрева используется плазма, которая представляет собой вещество в сильно ионизированном состоянии. В 1 см<sup>3</sup> плазмы содержится 10<sup>9</sup> – 10<sup>10</sup> и более заряженных частиц. Практически в любом дуговом разряде образуется плазма. Основным методом получения плазмы для технологических целей является пропускание газовой струи через электрическую дугу, расположенную в узком медном канале. При этом в связи с отсутствием

возможности расширения столба дуги возрастает число упругих и неупругих соударений заряженных частиц, т. е. увеличивается степень ионизации, возрастает плотность и напряжение дуги, что вызывает повышение температуры до 10000 – 15 000 С.

Наличие у плазменных горелок стабилизирующего водоохлаждаемого канала сопла является основным отличием от обычных горелок, применяемых при сварке в среде защитных газов неплавящимся электродом.

При упрочнении и восстановлении деталей в зависимости от их формы, условий работы применяют несколько разновидностей плазменной наплавки, отличающихся типом присадочного металла, способом его подачи на упрочняемую поверхность и электрическими схемами подключения плазмотрона.

При плазменной наплавке по отношению к наплавляемой детали применяют два вида сжатой дуги: прямого и косвенного действия. В обоих случаях зажигание дуги плазмотрона и осуществление процесса наплавки выполняют комбинированным способом: вначале между анодом и катодом плазмотрона с помощью осциллятора возбуждают дугу косвенного действия.

*Дуга прямого действия* образуется при соприкосновении малоамперной (40 – 60 А) косвенной дуги с токоведущей деталью. В зону дуги могут подаваться материалы: нейтральная или токоведущая проволока, две проволоки (рис. 8.8), порошок, порошок одновременно с проволокой.

*Метод косвенной дуги* заключается в том, что между дежурной дугой и токоведущей проволокой образуется прямая дуга, продолжение которой является косвенной независимой дугой по отношению к электрически нейтральной детали.

Высокую производительность (до 30 кг/ч) обеспечивает плазменная наплавка с подачей в ванну двух плавящихся электродов 1 (рис.8.8), подключенных последовательно к источнику питания и нагреваемых почти до температуры плавления. Защитный газ подается через сопло 2.

Универсальный способ плазменной наплавки – *наплавка с вдуванием порошка в дугу* (рисунок 35.9). Горелка имеет три сопла: 3 – для формирования плазменной струи, 4 – для подачи присадочного порошка, 5 – для подачи защитного газа. Один источник тока служит для зажигания дуги осциллятором 2 между электродом и соплом, а другой источник тока формирует плазменную дугу прямого действия, которая оплавляет поверхность изделия и плавит порошок, подающийся из бункера 6 потоком газа. Изменяя ток обеих дуг устройствами 1, можно регулировать количество теплоты, идущей на плавление основного металла и присадочного порошка и, следовательно, долю металла в наплавленном слое.

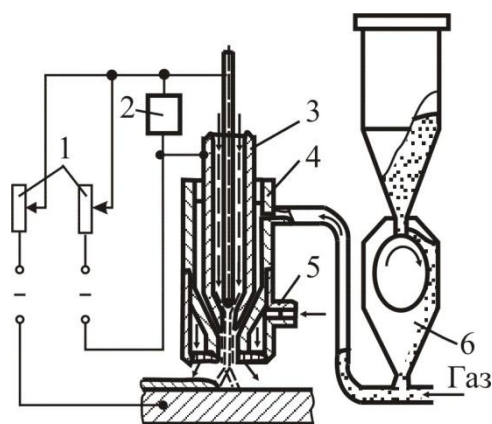


Рисунок 35.9 - Плазменная порошковая наплавка:

Увеличение производительности процесса плазменной наплавки во многом зависит от эффективности нагрева порошка в дуге. Температура, которую приобретают частицы порошка в дуге, определяется интенсивностью и продолжительностью нагрева, зависящими от параметров плазмы, условия ввода порошка в дугу, технических параметров процесса наплавки. Наибольшее влияние на нагрев порошка оказывают ток дуги, размер частиц и расстояние между плазмотроном и анодом.

*Основные достоинства метода ПН:* высокое качество наплавленного металла; малая глубина проплавления основного металла при высокой прочности сцепления; возможность наплавки тонких слоев; высокая культура производства.

*Основные недостатки ПН:* относительно невысокая производительность; необходимость в сложном оборудовании.

### 3.9 Лазерная (световая) наплавка

В последние годы наплавку все чаще выполняют с использованием высококонцентрированных источников энергии, таких, как лазерный и электронный лучи. Лазерное излучение на несколько порядков превосходит по концентрации остальные источники теплоты, используемые при сварке и наплавке. Лазерная наплавка (ЛН), в отличие от электронно-лучевой также обеспечивающей высокую концентрацию энергии, не требует вакуумных камер. При лазерной наплавке луч лазера генерируется оптическим квантовым генератором. Процессы лазерной наплавки можно разбить на две основные группы по способу введения наплавочного материала на поверхности обрабатываемого изделия.

Первая группа – это способы, основанные на оплавлении предварительно размещенного наплавочного материала на поверхности обрабатываемого изделия. В качестве наплавочного материала применяют прутки, ленты, обмазки, содержащие присадочные порошки со связующим.

Вторая группа – способы, при которых наплавочный материал подается

в зону воздействия излучения непосредственно в процессе обработки. В этом случае наплавочный материал представляет собой проволоку или порошок, вдуваемый в зону наплавки с помощью транспортирующего газа (газопорошковая лазерная наплавка). Наиболее эффективными считают газопорошковую лазерную наплавку и оплавление слоя предварительно насыпанного порошка. При *газопорошковой лазерной наплавке* подача порошка может осуществляться вслед движению образца и навстречу движению. На рисунок 35.10 показана схема газопорошковой лазерной наплавки с подачей порошка вслед движению образца.

В процессе наплавки основными параметрами подачи порошка являются дистанция подачи  $l$ , угол подачи  $\alpha$ , расстояние от поверхности основы до точки пересечения осей луча и газопорошковой струи  $h_1$ , расход транспортирующего газа и расход порошка  $Q$ .

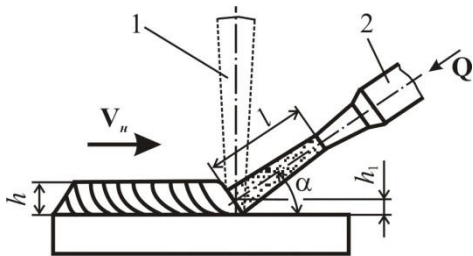


Рисунок 35.10 - Схема процесса газопорошковой лазерной наплавки:  
1 – лазерный луч;  
2 – питатель (дозатор для порошка)

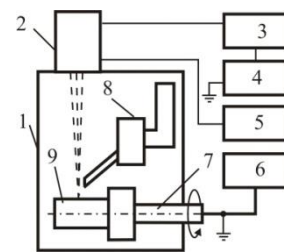


Рисунок 35.11 - Схема установки электронно-лучевой наплавки

Образование наплавленного валика происходит в процессе взаимодействия лазерного луча, газопорошкового потока и ванны расплава.

Энергия падающего излучения передается в зону наплавки двумя путями: поглощением непосредственно на поверхности изделия и переносом тепла частицами порошка, нагревающимися за время пролета через луч. В связи с этим условие подачи порошка существенно влияет на образование наплавленного валика и на эффективную мощность источника нагрева. Максимальная эффективность наплавки обеспечивается при наиболее локальной подаче и невысокой скорости частиц.

Порошок в зону наплавки подается с помощью питателя – дозатора инжекционного типа с диаметром сопла 1,5 мм. В качестве транспортирующего газа используют осушенный атмосферный воздух.

Процесс отличается целым рядом особенностей. Формирование валика при этом идет наращиванием от подложки к поверхности валика. При лазерной наплавке резко уменьшается неравномерность валиков и возможность капельного формирования. Процесс характеризуется

минимальным тепловым воздействием на материал подложки. Последовательным наложением валиков с коэффициентом перекрытия  $K_n = 0,6...0,7$  можно получить слои различной ширины, а также различной высоты при наложении их друг на друга, причем для этого не требуются какие-либо предварительные технологические операции.

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

*Основные недостатки ЛН:* малая производительность; низкий КПД процесса; необходимость в сложном, дорогостоящем оборудовании.

### **3.10. Электронно-лучевая наплавка**

Электронно-лучевая наплавка (ЭЛН) осуществляется в вакууме за счет плавления основного и присадочного материалов с помощью электронного луча. Как лазерный, так и *электронный луч* являются высококонцентрированным источником энергии. По сравнению с низким КПД нагрева при лазерной обработке (3–7 %) электронно-лучевая наплавка имеет более высокий КПД, составляющий 85–95 %. Электронный пучок позволяет отдельно регулировать нагрев и плавление основного и присадочного материалов, а также свести к минимуму их перемешивание. Наплавка производится с присадкой сплошной или порошковой проволоки. Так как наплавка производится в вакууме, то шихта порошковой проволоки может состоять из одних легирующих компонентов.

В состав установки для электронно-лучевой наплавки износостойких покрытий входят вакуумная камера 1 (рисунок 35.11) с откачными средствами, механический манипулятор 7 с электроприводом 6, устройство 8 для дозированной подачи порошкового материала в зону расплава и электронный источник 2. Устройство для питания электронного источника состоит из блока питания разряда 3, высоковольтного блока 4, блоков питания фокусирующей катушки и отклоняющей системы 5. Порошковый дозатор 8 обеспечивает стабильную подачу наплавленного материала в зону действия электронного луча, а блок управления формирует развертку луча в виде одной или нескольких линий, направленных поперек движения наплавленного изделия 9. Высоковольтный блок 4 служит для преобразования сетевого трехфазного напряжения в выпрямленное высокое напряжение. Манипулятор 6 служит для перемещения изделия в процессе наплавки.

Для ЭЛН в вакууме пригодны порошки дисперсностью 50–350 мкм.



При дисперсности менее 50 мкм порошки недостаточно сыпучи в вакууме и поэтому трудно обеспечить их подачу непосредственно в ванну расплава. Для расплавления порошков крупнее 350 мкм требуется больше энергии, что приводит к дополнительному проплавлению основы, увеличению остаточных напряжений и росту зерна в покрытии.

Параметрами, характеризующими процесс наплавки, являются: ускоряющее напряжение, ток электронного пучка, расстояние фокусирующей системы до поверхности обрабатываемой детали, диаметр и длина развертки пучка, скорость перемещения детали.

В основном покрытия, полученные ЭЛН, применяют для защиты поверхностей, подвергающихся различным видам абразивного и эрозионного изнашивания. Так как технология ЭЛН удобна для нанесения «толстых» покрытий, то её применяют для восстановления деталей с толщиной изношенного слоя до 10 мм. Освоены технологические процессы восстановления и упрочнения новых деталей машин и инструмента широкой номенклатуры.

Химический и фазовый состав наплавляемого покрытия выбирают с учетом условий работы конкретной детали. При этом износостойкость покрытий, полученных ЭЛН, значительно превышает износостойкость покрытий, наносимых традиционными методами (в 2–5 раз) по сравнению с намыленными порошковыми покрытиями и в 1,5–2 раза по сравнению с намыленными и оплавленными порошковыми покрытиями.

*Основные достоинства ЭЛН:* малое проплавление основного металла; возможность наплавки слоев малой толщины.

*Основные недостатки ЭЛН:* сложность и высокая стоимость оборудования; необходимость биологической защиты персонала.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Какие виды износа деталей оборудования Вы знаете?
2. Что называется наплавкой?
3. Что такое «доля основного металла в наплавленном»?
4. Какие группы наплавочных материалов Вы знаете?
5. Что называется восстановительной наплавкой?