

## 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)).

Примите к сведению, что данная лекция изучается на трех занятиях (3 пара 04.04.2023, 1 и 3 пары 07.04.2023).

**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: **Сварка сплавов цветных металлов**

**Цель: Изучить особенности сварки сплавов цветных металлов**

### *План*

1. Свойства и особенности сварки цветных металлов
2. Сварка меди и ее сплавов
3. Сварка алюминия и его сплавов
4. Сварка алюминиевых сплавов с медью
5. Сварка никеля и его сплавов
6. Сварка титана и его сплавов

### **1. Свойства и особенности сварки цветных металлов**

#### *Свойства цветных металлов*

Цветные металлы практически не встречаются в чистом виде, зато востребованы сплавы из них. Основными направлениями применения таких сплавов в промышленности стали авиация, автостроение, химическая и пищевая отрасли. В домашних же условиях для сварки используют чаще медь, алюминий, никель и другие вещества.

При проведении сварочных работ по цветным металлам и сплавам необходимо учитывать их особенности, тип сваривания и другие нюансы:

**Окисление.** Цветные металлы и сплавы из них сильно подвержены влиянию кислорода, из — за чего впоследствии на их поверхности образуется оксидная пленка. Эта пленка препятствует прочному соединению и провоцирует образование трещин в шве.

**Теплопроводность.** Она проявляется в скором остывании свариваемых поверхностей. Для качественного соединения потребуется предварительный нагрев деталей или источники сильного тепла.

**Температура плавления.** Существуют металлы, у которых разная температура плавления со сплавами, в связи с чем высока вероятность испарения «легкого» элемента. Ускорение процесса поможет этого избежать.

**Потеря прочности.** В процессе нагревания цветные металлы могут разрушаться от слабого воздействия извне. Работать с такими веществами надо предельно аккуратно.

**Взаимодействие с окружающей средой.** В связи с особенностями данных металлов и их сплавов сварку стоит выполнять исключительно в среде защитных газов для достижения требуемого результата.

### ***Особенности сварки цветных металлов***

- Они легко окисляются.
- При плавлении этих металлов появляются тугоплавкие окислы, которые способны заполнить сварочный шов. Из-за этого повышается риск изготовления некачественного шва и возникновения трещин.
- Некоторые цветные металлы требуют применение более мощного источника энергии, так как их остывание происходит очень быстро. Работать в данном случае нужно оперативно.
- Существует вероятность испарения «лёгких» составляющих сплава, так как все они имеют разную температуру плавления.
- Цветные металлы лучше взаимодействуют с газовой средой, чем черные
- При сварке на цветных металлах появляется оксидная пленка, которая мешает сварить качественный шов.
- Работы по сварке должны проходить в зоне с ограниченным объемом кислорода.

## **2. Сварка меди и ее сплавов**

### ***Основные свойства медных сплавов***

**Медь** – металл красно-розового цвета с температурой плавления 1083°C; имеет плотность 8,94 г/см<sup>3</sup>; очень хорошо проводит электрический ток и тепло, уступая только серебру. Медь легко деформируется и паяется; но плохо сваривается и обрабатывается резанием, дает большую усадку при литье.

Техническая медь выпускается 9 марок по ГОСТ 859-2001 и может содержать количество примесей от 0,01 % (М00) до 1% (М4). Сплавы на медной основе в зависимости от состава легирующих элементов относятся к латуням, бронзам, медно-никелевым сплавам.

**Латунями** называется медно-цинковые сплавы, которые могут содержать другие легирующие элементы. Химический состав латуней определяется ГОСТ 15527-70 и ГОСТ 17711-93. При содержании цинка до 39% латуни пластичны, хорошо свариваются, коррозионностойки. Латуни легируют Fe, Al, Si, Ni. Алюминий уменьшает летучесть цинка, образуя защитную пленку из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Железо задерживает кристаллизацию и измельчает зерно. Кремний улучшает свариваемость.

**Оловянные бронзы** имеют высокие антифрикционные свойства и

коррозионную стойкость. **Кремнистые и алюминиевые** бронзы обладают высокими механическими и коррозионными свойствами. Они дешевле оловянных. **Марганцовистые бронзы** имеют хорошую коррозионную стойкость и повышенную жаропрочность. **Берилевые бронзы** после термической обработки приобретают прочность, сопоставимую с прочностью стали.

**Медно-никелевые сплавы** содержат до 30 % Ni, а также марганец, железо. Их используют для конструкций, работающих в агрессивных средах (морской воде, растворах солей, органических кислотах).

Стоимость меди и сплавов на ее основе в зависимости от чистоты и содержания легирующих элементов в большинстве случаев в 8–35 раз превышает стоимость рядовой стали.

### *Особенности состояния медных сплавов, их влияние на технологию сварки*

1. Высокая температура плавления и теплопроводность (в 6 раз больше, чем у стали) требуют применения мощных источников теплоты при сварке плавлением, и во многих случаях предварительного и сопутствующего подогрева.

2. Легкая окисляемость меди при высоких температурах вызывает засорение металла шва тугоплавкими окислами. Закись меди  $\text{Cu}_2\text{O}$  ( $t_{\text{пл}}=1064^\circ\text{C}$ ), сосредотачиваясь по границам зерен, снижает стойкость металла шва против кристаллизационных трещин. В меди, предназначенной для сварных конструкций, содержание кислорода не должно превышать 0,03 %, а для ответственных изделий - 0,01 %. Ввиду малого времени существования сварочной ванны раскисление меди происходит за счет активных раскислителей: фосфора (содержание P не более 0,3 %), марганца и кремния (с общим содержанием 1-3 %).

Тугоплавкие окислы, образующие пленку на поверхности сварочной ванны, разрушают с помощью флюсов на основе буры  $\text{N}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , переводя тугоплавкие окислы в легкоплавкие комплексные соединения:

3. Наличие примесей висмута Bi и свинца Pb, вследствие образования их оксидами с медью легкоплавких эвтектик, снижает устойчивость против кристаллизационных трещин. Содержание висмута в меди допускается не более 0,03 %. Эти примеси могут быть связаны в тугоплавкие соединения введением в сварочную ванну цезия и циркония.

4. Высокий коэффициент линейного расширения у меди вызывает образование остаточных сварочных напряжений и коробление конструкций.

5. Снижение прочности и пластичности меди при 400-600 °C в сочетании с высоким уровнем сварочных деформаций и напряжений может привести к образованию трещин

6. Высокая растворимость водорода в расплавленной меди вызывает при кристаллизации с большими скоростями образование пор и микротрещин вследствие выделения водорода и водяного пара, а также оксида углерода  $\text{CO}_2$ .

При сварке латуней поры могут возникнуть вследствие испарения цинка ( $T_{\text{кип}}=907^{\circ}\text{C}$  - ниже температуры плавления меди). Образующийся при испарении оксид цинка ядовит. Испарение цинка уменьшается при использовании предварительного подогрева и высоких скоростей сварки, при легировании металла шва кремнием.

7. Высокая жидкотекучесть меди и ее сплавов (в 2-2,5 раза выше, чем у сталей) затрудняет сварку в вертикальном и потолочном положениях. Для качественного формирования корня шва применяют подкладки (асбестовые, графитовые, флюсовые подушки).

8. Сварные швы имеют крупнозернистую структуру и низкую прочность. Измельчение структуры и повышение прочности обеспечивается термопластической обработкой.

### ***Способы сварки медных сплавов***

Для сварки меди и ее сплавов могут быть применены почти все способы сварки плавлением.

Перед сваркой свариваемый металл и проволоку очищают от окислов и загрязнений до металлического блеска и обезжиривают. Очистку кромок основного металла чаще всего делают механическим путем (наждаком, металлическими щетками), а проволоки - пропуская через станки для очистки или травлением в растворе из азотной, серной и соляной кислот с промывкой в воде, щелочи, и сушкой горячим воздухом.

Для правильного формирования сварного шва предпочтительно применять в конструкциях типы соединений с равномерным теплоотводом (стыковые, угловые, но не тавровые и нахлесточные). При толщинах более 5 мм делают V-образную или X-образную разделки кромок.

### ***Сварка в защитных газах***

Этот способ позволяет получить сварные соединения с наиболее высокими механическими и коррозионными свойствами благодаря минимальному содержанию примесей в наплавленном металле. В качестве защитных газов используют азот особой чистоты, аргон высшего сорта, гелий высшей категории качества, а также их смеси (например, 70-80%Ar + 20-30%N<sub>2</sub>) для экономии аргона и увеличения глубины проплавления основного металла. При сварке в среде азота эффективный и термический КПД дуги выше, чем при сварке в среде аргона и гелия, но замечена ниже устойчивость горения дуги.

При сварке в защитных газах в качестве ***неплавящегося электрода*** используют лантанированные вольфрамовые электроды диаметром до 6 мм. В качестве присадочного материала используют проволоку из меди и ее сплавов, по составу близкую к основному металлу, но с повышенным содержанием раскислителей (МРЗТЦрБ 0,10,1-0,1-0,1; БрХНТ; БрКМц 3-1; БрХ 0,7). При сварке в азоте для улучшения качества сварного шва дополнительно применяют флюс на борной основе, который наносят на сварочную проволоку или в канавку подкладки.

Сварку вольфрамовым электродом ведут на постоянном токе прямой

полярности. При сварке в среде азота или в смеси азота с гелием сварочный ток уменьшают, а напряжение повышают. При толщинах более 4 мм рекомендуется подогрев до 300-600 °С.

При сварке *плавящимся электродом* используют постоянный ток обратной полярности. Широко применяется для меди толщиной более 4 мм многослойная полуавтоматическая сварка проволокой диаметром 12 мм. Режимы сварки: сварочный ток 150-200 А для проволоки 01 мм и 300-450 А для проволоки 02 мм, напряжение дуги 22-26 В, скорость сварки зависит от сечения шва. Температура подогрева 200-300 °С.

Для латуней, бронз и медно-никелевых сплавов предпочтение отдается сварке неплавящимся электродом, так как в этом случае меньше испарение цинка, олова и других элементов. Предварительный подогрев для медных сплавов требуется при толщинах более 12 мм.

#### ***Ручная дуговая сварка***

Медь и ее сплавы этим способом сваривают на постоянном токе обратной полярности. Медные листы толщиной до 4 мм сваривают без разделки кромок, до 10 мм с односторонней разделкой при угле скоса 60-70° и притуплением 1,5-3,0 мм, более 10 мм - с Х-образной разделкой кромок. Для сварки меди используют электроды с покрытием АНЦ / 03М-2, АНЦ / 03М-3, 3Т, АНЦ-3.

Сварку ведут короткой дугой с возвратно-поступательным движением электрода без поперечных колебаний. Удлинение дуги ухудшает формирование шва, увеличивает разбрызгивание, снижает механические свойства сварного соединения. Предварительный подогрев делают при толщине 5-8 мм до 200-300°С, при толщине 24 мм - до 800°С. Теплопроводность и электропроводность металла шва резко снижаются при сохранении высоких механических свойств. Для сварки латуней, бронз и медно-никелевых сплавов применяют электроды ММЗ-2, Бр1 / ЛИВТ, ЦБ-1, МН-4 и др.

#### ***Механизированная дуговая сварка под флюсом***

Этот способ осуществляют угольным (графитовым) электродом и плавящимся электродом.

Сварку *угольным электродом* выполняют на постоянном токе прямой полярности с использованием стандартных флюсов АН-348А, ОСЦ-45, АН-20. При сварке угольным электродом (рис.) кромки 1 собирают на графитовой подкладке 2, поверх стыка накладывают полосу латуни 3, которая служит присадочным металлом. Дуга горит между угольным электродом 4, заточенным в виде плоской лопаточки, и изделием под слоем флюса 5. Способ пригоден для сварки толщин до 10 мм. Диаметр электрода до 18 мм, сила тока до 1000 А, напряжение дуги 18-21 В, скорость сварки 6-25 м/ч.

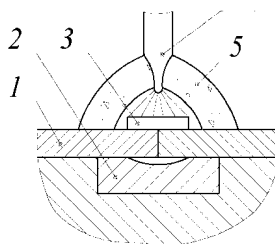


Рисунок 37.1 - Схема механизированной сварки меди угольным электродом под флюсом

Механизированную сварку *плавящимся электродом* под плавленными флюсами (АН-200, АН-348А, ОСЦ-45, АН-М1) выполняют на постоянном токе обратной полярности, а под керамическим флюсом ЖМ-1 и на переменном токе. Основным преимуществом этого способа сварки является возможность получения высоких механических свойств сварного соединения без предварительного подогрева. При сварке меди используют сварочную проволоку диаметром 1,4—5,0 мм из меди МБ, М1, бронзы БрКМц 3-1, БрОЦ 4-3. За один проход можно сваривать без разделки кромок толщины до 20 мм, а при использовании сдвоенного (расщепленного) электрода - до 30 мм. При толщинах кромок более 15 мм рекомендуют делать У-образную разделку с углом раскрытия 90°, притуплением 2-5 мм, без зазора. Флюс и графитовая подкладка перед сваркой должны быть прокалены. Для возбуждения дуги при сварке под флюсом проволоку закорачивают на изделие через медную обезжиренную стружку или пружину из медной проволоки диаметром 0,5-0,8 мм. Начало и конец шва должны быть выведены на технологические планки. При сварке латуней применяют флюсы АН-20, ФЦ-10 и проволоки бронзовые БрКМц 3-1, БрОЦ 4-3 и латунные ЛК 80-3. Сварка ведется на низких значениях сварочного тока и напряжения для снижения интенсивности испарения цинка. Бронзы под флюсом свариваются хорошо.

#### ***Газовая сварка***

Этот способ сварки меди используют в ремонтных работах. Рекомендуется использовать ацетиленокислородную сварку, обеспечивающую небольшую температуру ядра пламени. Для сварки меди и бронз используют нормальное пламя, а для сварки латуней - окислительное, чтобы уменьшить выгорание цинка. Сварочные флюсы для газовой сварки меди содержат соединения бора (борная кислота, бура, борный ангидрид). Флюсы наносят на обезжиренные свариваемые кромки по 10-12 мм на сторону и на присадочный металл. При сварке алюминиевых бронз надо вводить фториды и хлориды, растворяющие  $Al_2O_3$ . При сварке меди используют присадочную проволоку из меди М1 и М2, а при сварке медных сплавов - сварочную проволоку такого же химического состава. При сварке латуней рекомендуют использовать проволоку из кремнистой латуни ЛК 80-3. После сварки производят проковку шва при подогреве до 300-400°С с последующим отжигом для получения мелкозернистой структуры и высоких пластических свойств.

#### ***Электрошлаковая сварка***

При этом способе применяют легкоплавкие флюсы системы NaF-LiF-CaF<sub>2</sub>(АНМ-10). Режим электрошлаковой сварки: сварочный ток  $I_{св} = 1000-1800$  А, напряжение  $U = 40-50$  В, скорость подачи пластинчатого электрода 12-15 м/ч. Механические свойства шва мало отличаются от свойств основного металла.

#### ***Электронно-лучевая сварка***

Этот способ сварки меди эффективен при изготовлении электровакуумных приборов. Он обеспечивает высокую чистоту швов от примесей и получение мелкозернистой структуры.

#### ***Плазменная сварка***

Этот способ дает хорошие результаты при соединении элементов из меди и ее сплавов больших толщин. За один проход возможна сварка элементов толщиной до 60 мм. Применяют плазмотроны прямого действия. Для обеспечения хорошей защиты от атмосферного воздуха плазменную сварку иногда выполняют по слою флюса, а для обеспечения мелкозернистой структуры используют порошковую проволоку. Для сварки малых толщин до 0,5 мм эффективно использовать микроплазменную сварку.

### **3. Сварка алюминия и его сплавов**

#### ***Основные свойства алюминия***

Алюминий – металл серебристо-белого цвета, легкий (плотность 2,7г/см<sup>3</sup>) и легкоплавкий (температура плавления 660<sup>0</sup>С)

Чистый алюминий из-за низкой прочности используют редко. В основном, в конструкциях применяют сплавы в связи с их сравнительно высокой прочностью при малой плотности, высокой коррозионной стойкостью во многих средах и высокими механическими свойствами при низких температурах. в авиационной и пищевой промышленности.

Алюминиевые сплавы подразделяют на ***деформируемые*** и ***литейные***.

Деформируемые сплавы, в свою очередь, подразделяются на сплавы, не упрочняемые термообработкой и сплавы, упрочняемые термообработкой. В сварных конструкциях используют деформируемые, термически не упрочняемые сплавы.

– Сплавы повышенной пластичности – авиали (АВ)- система легирования Al-Mg-Si.

– Конструкционные сплавы – дюралюмины (Д1, Д16) - система легирования Al-Mg-Cu.

– Ковочные сплавы – АК6, АК8 - система легирования Al-Mg-Cu-Si

– Высокопрочные сплавы –В95, В96 - система легирования Al-Mg-Cu-Zn.

#### ***Трудность сварки алюминия и его сплавов заключается в следующем:***

1. Высокая теплоемкость, теплопроводность, скрытая теплота плавления требуют более высокого и концентрированного тепловложения, чем при сварке стали (в 1,2-1,5 раз больше), несмотря на более низкую температуру плавления алюминия.

2. Алюминий легко окисляется в твердом и расплавленном состояниях.

Плотная тугоплавкая окисная пленка  $Al_2O_3(t_{пл}=2050^{\circ}C)$  препятствует сплавлению металла и образует в шве неметаллические включения. Перед сваркой надо удалить окисную пленку с поверхности основного и присадочного металлов механическим путем или травлением. В процессе сварки окисную пленку удаляют за счет применения флюсов, растворяющих или разрушающих ее переводом в летучее состояние.

3. Низкая прочность алюминия при высоких температурах и высокая жидкотекучесть способствуют «проваливанию» сварочной ванны. Для предотвращения провалов и прожогов обычно применяют подкладки из графита.

4. Высокая растворимость газов в расплавленном состоянии, особенно водорода, способствует образованию пор при кристаллизации. Водород, растворенный в жидком металле, при затвердевании должен выделиться из него в количестве 90-95 % своего объема, но этому препятствует плотная окисная пленка и низкий коэффициент диффузии водорода в алюминии. Основной задачей технологов является борьба с газовой пористостью. Для предотвращения пористости удаляют окисную пленку, влагу и жировые загрязнения с поверхности свариваемых материалов, осушают инертные газы, при сварке используют подогрев и механическое воздействие на жидкий металл сварочной ванны (например, ультразвуковые колебания, магнитное перемешивание).

5. Значительная усадка металла шва и высокий коэффициент линейного расширения приводят к большим остаточным деформациям и короблению конструкции. Для уменьшения коробления рекомендуют использовать жесткие приспособления, изготовленные из материалов с низкой теплопроводностью.

6. При дуговой сварке неплавящимся вольфрамовым электродом возможно загрязнение сварного шва вольфрамовыми включениями. При сварке используют электроды из чистого вольфрама ЭВЧ, из вольфрама с оксидом лантана ЭВЛ или с оксидом иттрия ЭВИ-1 по ГОСТ 23949-80.

7. При сварке термически упрочненных алюминиевых сплавов снижается прочность сварного соединения по сравнению с прочностью основного металла.

### ***Виды сварки алюминиевых сплавов***

Для алюминия и его сплавов используют все виды сварки плавлением.

Чтобы получить качественные сварные соединения необходимо перед сваркой с поверхности заготовок удалить жировую смазку, которой покрывают полуфабрикаты при консервации. Поверхности обезжиривают ацетоном, уайт-спиритом. Окисную пленку удаляют шабером или металлическими проволочными щетками непосредственно перед сваркой. Можно также производить травление, после которого допустимая продолжительность хранения заготовок перед механической зачисткой свариваемых поверхностей не более 4 суток. После механической зачистки сварку рекомендуется производить в течение 3 часов.

Для очистки поверхности алюминиевой сварочной проволоки не-



обходимо производить ее химическую обработку: обезжиривание, травление в 15%-ном растворе едкого натрия технического в течение 5-10 минут при 60-70°C, промывание в воде, сушку, дегазацию (прокалка при 300°C в течение 10-30 минут на воздухе или в течение 5 часов в вакууме при 0,13 Па). Сварку алюминиевых сплавов применяют при толщине металла более 4мм.

#### ***Ручная дуговая сварка вольфрамовым электродом***

Сварку ведут, в основном, на специально разработанных установках типа УДГ. Использование источников переменного тока связано с тем, что при сварке постоянным током обратной полярности допустим сварочный ток небольшой величины из-за возможного расплавления электрода, а при сварке постоянным током прямой полярности не происходит удаления окисной пленки с поверхности алюминия. Расход аргона составляет 6-15 л/мин. При защите гелием расход газа больше примерно в 2 раза. Напряжение дуги при сварке в аргоне 15-20 В, в гелии 25-30 В. При выполнении швов на алюминии вручную особое внимание следует уделить технике сварки. Угол между присадочной проволокой и электродом должен быть примерно 90°. Присадка подается короткими возвратно-поступательными движениями. Поперечные колебания вольфрамового электрода недопустимы. Вылет электрода от торца наконечника горелки 1-1,5 мм. Длина дуги 1,5-2,5 мм. Сварку ведут обычно справа налево («левый» способ), чтобы снизить перегрев металла.

При автоматической сварке вольфрамовым электродом качество и свойства шва по его длине более стабильны, чем при ручной сварке.

#### ***Ручная дуговая сварка угольными электродами.***

Этот вид применяют только для неответственных конструкций. Сварку производят на постоянном токе обратной полярности. Диаметр угольного электрода  $d_э=10-20$  мм, сварочный ток  $I_{св}=(20-25)d_э$ ,  $U_д=25-35$  В. Конец угольного электрода затачивают на конус под углом 60°. Металл толщиной до 2,5 мм сваривают без разделки кромок, а более толстый - с разделкой (угол разделки 70-90°). Используют присадочный пруток диаметром 2-5 мм. На присадочный пруток наносят слой флюса многократным окунанием в водный раствор флюса (смеси фторидно-хлоридных солей) или флюс наносят в виде пасты на свариваемые кромки.

#### ***Ручная дуговая сварка покрытыми электродами***

Способ применяют для изделий из технического алюминия, алюминированномарганцевых и алюминиево-магниевого (с содержанием Mg до 5%) сплавов, силуминов при толщине металла более 4 мм. Можно сваривать металл толщиной до 20мм без разделки кромок, но все-таки рекомендуется разделка кромок с толщины 10мм.

Чаще всего тип соединения - стыковое. Соединения внахлестку и тавровые не рекомендуются, так как возможно затекание шлака в зазоры, откуда его сложно удалить при промывке. Остатки шлака могут вызвать коррозию.

При сварке необходимо обеспечить подогрев до 100-400 °С в зависимости от толщины деталей. Диаметр электродов  $d_э=4-8$  мм. Стержень

электродов изготавливается из проволок состава, близкого к составу основного свариваемого металла. Для широко применяемых сплавов типа АМг берут проволоку с увеличенным на 2 % содержанием магния для компенсации его угара при сварке. Основу покрытия электродов составляют криолит, хлористые и фтористые соли натрия и калия.

Сила сварочного тока  $I_{св}=(50-60)d_{э}$ ,  $I_{д}=30-36$  В. Ток постоянный обратной полярности. При сварке алюминиевый электрод расплавляется в 2-3 раза быстрее стального. При обрывах дуги кратер и конец электрода покрываются пленкой шлака, препятствующей ее повторному зажиганию. Поэтому сварку необходимо выполнять на высоких скоростях, без колебания электрода, непрерывно в пределах одного электрода. При прерывании дуги конец электрода необходимо зачистить.

При выполнении многослойных швов перед наложением каждого слоя необходима тщательная зачистка предыдущего слоя от шлака и окислов.

Получаемые сварные соединения обладают удовлетворительными механическими свойствами.

### ***Дуговая сварка в среде инертных газов***

Сварка производится неплавящимися (вольфрамовыми, лантанированными) и плавящимися электродами. Используются инертные газы: аргон высшего и первого сорта ГОСТ 10157-79, гелий повышенной чистоты, смесь аргона с гелием. Выбор конкретного способа сварки, режимов сварки определяется конструкцией изделия и условиями производства.

### ***Сварка плавящимся электродом***

Сварка выполняется полуавтоматом или автоматом в струе чистого аргона или в смеси аргона и гелия (до 70%He) на постоянном токе обратной полярности проволокой диаметром 1,5-2,5 мм. При использовании газовой смеси (30%Ar+70%He) увеличивается ширина шва и глубина провара и улучшается форма шва.

### ***Автоматическая сварка алюминия и его сплавов с применением флюсов***

Этот способ применяют в двух вариантах: сварка по флюсу полуоткрытой дугой и сварка под флюсом закрытой дугой.

#### ***1. Сварка по флюсу***

При производстве сосудов из алюминия и алюминиевомарганцевого сплава АМц автоматическую сварку производят не под флюсом, а при наличии тонкого дозированного слоя флюса впереди дуги, который, не закрывая дугу, обеспечивает достаточно надежную защиту сварочной ванны и удаление окисной пленки. Поэтому данный способ получил название сварка по флюсу или сварка полуоткрытой дугой. Выделяющиеся газы и пары металла изолируют дуговой промежуток от проникновения воздуха.

Необходимость такой технологии обусловлена тем, что флюсы для сварки алюминия обладают высокой электропроводностью и, благодаря высокой концентрации энергии при сварке алюминия по флюсу, достигается глубокое проплавление основного металла.

Для технического алюминия применяют флюс АН-А1, а для сплавов -

другие флюсы, не содержащие NaCl, так как восстановленный натрий ухудшает пластичность шва. Толщина слоя насыпанного флюса обычно составляет 7-16 мм, ширина 25-45 мм в зависимости от толщины свариваемого металла. Сварка ведется на постоянном токе обратной полярности одиночным или сдвоенным (расщепленным) электродом на стальной формирующей подкладке.

Сварочные алюминиевые проволоки имеют небольшую жесткость и при значительных колебаниях конца проволоки при сварке могут возникнуть непровары. Использование сдвоенных проволок позволяет увеличить размеры сварочной ванны, время пребывания ее в жидком состоянии и уменьшить пористость.

Основные преимущества сварки по флюсу - высокая производительность и экономичность, меньшее коробление конструкции.

Недостаток - необходимость удалять шлак после сварки.

## ***2. Сварка под флюсом***

Автоматическую сварку под слоем флюса ведут на больших плотностях тока расщепленным электродом на переменном или постоянном токе обратной полярности. Применяют керамические флюсы ЖА-64, ЖА-64А. Но при этом предъявляются повышенные требования к вентиляционным системам для удаления паров флюса.

### ***Электрошлаковая сварка***

Применяется для сварки алюминия и его сплавов для толщин 50-250мм. Сварку ведут на переменном токе пластинчатым электродом или плавящимся мундштуком. Применяют флюсы АН-301, АН-302 на основе галогенидов щелочных и щелочноземельных металлов. Шов формируют медными кристаллизаторами. Плотность тока в электроде около 2,5 А/мм, скорость сварки 6-8 м/час. Прочность сварных соединений 80-100 % от прочности основного металла. Чем больше толщина свариваемых изделий, тем больше технико-экономическая эффективность данного способа.

### ***Газовая сварка***

Этот способ сварки алюминия применяют с использованием ацетилена, реже - с использованием пропан-бутановой смеси и метана. Сварку ведут нормальным пламенем при незначительном избытке ацетилена. При выборе горелки исходят из расхода примерно 100 л/г ацетилена на 1 мм толщины основного металла. Номер наконечника выбирают в зависимости от толщины свариваемых деталей, а диаметр присадочного прутка - 1,5...5,5 мм.

Наиболее распространенный флюс, обеспечивающий высокое качество сварки, АФ-4А, который состоит из 28 % хлористого натрия, 50% хлористого калия, 14% хлористого лития, 8% фтористого натрия. Флюс наносится на присадочный пруток или свариваемые кромки. При толщине деталей до 4 мм разделку кромок не выполняют, а свыше 4 мм - рекомендуется выполнять. При толщине листов более 8 мм производят общий или местный подогрев. Сварку выполняют «левым» способом. После сварки швы промывают для удаления остатков флюса и образующихся шлаков теплой или подкисленной водой (2%-ный раствор хромовой кислоты). Для этой цели применяют

волосяные щетки, которыми протирают шов и участки вдоль его.

#### **4. Сварка алюминиевых сплавов с медью**

Сварка алюминия и его сплавов с медью затруднена значительными различиями их физико-химических свойств и образованием хрупкой интерметаллидной фазы. Для облегчения процесса сварки на медь после ее очистки необходимо нанести слой покрытия, который улучшает смачиваемость меди алюминием. Лучшим является цинковое покрытие толщиной 50-60 мкм, которое наносится гальваническим методом. Технология сварки алюминия с медью производится по той же схеме, что и сварка со сталью. Дуга смещается на более теплопроводный материал (медь) на 0,5 толщины металла. На границе соединения образуется со стороны меди прослойка интерметаллидов ( $\text{CuAl}_2$ ) толщиной 3-10 мкм, а со стороны алюминия - полоска твердого раствора меди в алюминии такого же размера.

Прочность соединения повышается при легировании металла шва кремнием (4-5%) и цинком (6-8%), которые подавляют рост интерметаллидной прослойки. Для обеспечения стабильной прочности сварных соединений по свариваемой кромке меди нужно делать скос под углом 45-60°.

**Интерметаллиды** - химические соединения двух или нескольких металлов. Они относятся к металлическим соединениям.

Интерметаллиды образуются в результате взаимодействия компонентов при сплавлении, а также при реакциях в твердом состоянии, а также в результате интенсивной пластической деформации при механическом сплавлении

Интерметаллиды имеют кристаллическую структуру и свойства, отличные от структур и свойств исходных металлов (обладают высокой твёрдостью, имеют более высокую температуру плавления и меньшую пластичность, чем исходные металлы)

##### **Способы сварки алюминия с медью**

##### ***Автоматическая сварка под слоем флюса и аргонодуговая сварка***

Применяется при толщине металла 8, 10, 12, 20 мм

При обоих способах прочность соединений не изменяется при длительном нагреве до 150 °С.

##### ***Сварка давлением (холодная сварка)***

Освоена и широко применяется контактная сварка алюминия с медью сопротивлением и оплавлением. Для уменьшения возможности образования хрупких интерметаллидов в этом случае рекомендуется медь цинковать или алитировать, а иногда и покрывать слоем серебряного припоя. Наиболее благоприятные результаты получены при контактной сварке по методу оплавления, так как при этом обеспечивается более полное разрушение и удаление хрупких фаз из металла и шва.

#### **5. Сварка никеля и его сплавов**

### ***Основные свойства никеля***

Удельный вес никеля - 8,7-8,84 г/см<sup>3</sup>, температура плавления 1452-1455°C.

Производится никель пяти марок для изготовления сплавов на никелевой основе:

Н-0 (N1=99,99%); Н-1 (N1=99,93%); Н-2 (N1=99,80%);

Н-3 (N1=98,60%); Н-4 (N1=97,60%).

Характерной особенностью чистого никеля является способность сохранять свои пластические свойства при низких температурах

Никель обладает высокой коррозионной стойкостью и повышенными механическими свойствами. Все сплавы типа монеля устойчивы против коррозии на воздухе, в морской и пресной воде, в растворах серной кислоты при концентрациях до 80 %, а также в сухих газах при обычных температурах, хорошо противостоят действию водных растворов солей и щелочей, пара и органических кислот.

Хром, а иногда кремний, алюминий вводят в сплавы для улучшения их окислительной стойкости, для повышения жаропрочности применяют легирующие присадки: Ti, Al, P, Ca, Mo, W и др. Эти элементы вводят одновременно в определенных сочетаниях, и чем выше требование жаропрочности, тем более сложен химический состав сплава.

### ***Особенности сварки сплавов никеля***

При сварке никеля и его сплавов необходимо, чтобы свариваемый металл был чистым. Особенно тщательно надо предупреждать контакт расплавленного металла с атмосферным воздухом. Никель и никелевые сплавы в расплавленном состоянии могут растворять большое количество газов, которые, выделяясь при кристаллизации и охлаждении металла шва, могут приводить к образованию в них пор. Большое влияние на свойства металла сварного шва оказывает содержание в нем серы.

Для сварки никеля и никелевых сплавов применяют следующие способы сварки:

#### ***Газовая сварка***

Этот способ применяют при сварке никеля, медно-никелевых сплавов. При кислородно-ацетиленовой сварке необходимо поддерживать нормальное пламя, так как избыток кислорода вызывает окисление расплавленного металла и хрупкость.

При сварке никеля мощность пламени соответствует удельному расходу ацетилена 120-140 л/м на 1 мм толщины свариваемого изделия. Главным дефектом при газовой сварке являются поры, из которых при нагрузке возникают трещины. Качество сварки зависит от состава флюсов и раскислителей, конструкции соединения, положения швов, а также от опытности сварщика. Большое влияние оказывает также состав присадочной проволоки. Для сварки никеля рекомендуется применение присадочной проволоки такого же состава, что и основной металл. Хорошие результаты дает проволока, легированная Mn, Mg, Si. При этом марганец служит раскислителем и связывает серу, кремний придает металлу лучшую

жидкотекучесть, а магний связывает остатки серы. Проволока должна иметь чистую поверхность. Диаметр ее рекомендуется выбирать равным половине толщины свариваемого металла.

Качество шва можно определить по цвету. Хороший шов имеет матовокоричневую или серо-желтую окраску. Шов, сваренный с перегревом, блестящий, сине-черного цвета.

Во избежание пористости сварного соединения присадочная проволока и ядро пламени горелки не должны касаться ванны. При сварке рекомендуется производить горелкой легкие колебательные движения.

Флюсы применяют главным образом для облегчения растворения окислов, защиты сварочной ванны от действия окружающего воздуха и улучшения жидкотекучести металла. Их обычно приготавливают в виде пасты и наносят на присадочный пруток и свариваемый металл. При изготовлении пасты сухую смесь замешивают на воде или спирте.

### ***Ручная дуговая сварка***

Этот способ применяется в основном для соединения листов толщиной более 1,5мм и ведется электродами с качественным (чаще основным) покрытием на постоянном токе обратной полярности. Для предупреждения перегрева электрода и получения возможно меньших напряжений в сварном соединении используют пониженный сварочный ток (03 мм - 70–100А, 04 мм - 90–100А), что также уменьшает угар стабилизирующих и раскислительных элементов, содержащихся в электродной проволоке. При этом необходимо поддерживать короткую дугу и сварку вести на небольшой скорости. Поперечные движения электрода не должны превышать трех его диаметров. Скорость сварки никелевых сплавов примерно на 15 % меньше скорости сварки сталей. Сварку следует вести, по возможности, в нижнем положении.

При сварке никеля металлический стержень электрода по составу часто идентичен основному металлу. Большое значение имеет обработка поверхности швов, так как подрезы, наплывы и плохое формирование шва может быть причиной возникновения коррозии, трещин и других дефектов. Наилучшие результаты дает механическое полирование.

При сварке никеля зазор между свариваемыми кромками должен быть 2-3 мм. Листы надо жестко закреплять. По возможности рекомендуется сварка за один проход. При многопроходной сварке больших толщин необходима хорошая очистка поверхности промежуточных слоев от окислов шлака. Длинные швы лучше сваривать участками, оставляя небольшие разрывы, завариваемые после очистки от шлака. Шов выполняют с усилением, которое потом шлифуют.

При сварке никеля используют электроды Н-10, Н-37 В качестве электродного прутка применяют никелевую проволоку Н-1 ГОСТ 2179-85.

### ***Аргонодуговая сварка***

При аргонодуговой сварке обеспечивается надежная защита расплавленного металла сварочной ванны струей аргона, в результате чего получаем постоянное и высокое качество сварных соединений. Добавка к аргону до 20% водорода предотвращает пористость. Никель растворяет

большое количество водорода как в жидком, так и в твердом состоянии. При кристаллизации никель может растворить водорода в три раза больше, чем низкоуглеродистая сталь. Аргонодуговая сварка может осуществляться неплавящимся вольфрамовым электродом с присадочным прутком или по отбортовке кромок, а также плавящейся никелевой проволокой, желательна легированная до 3 % титаном.

При использовании вольфрамового электрода аргонодуговая сварка никеля и его сплавов производится на постоянном токе прямой полярности при питании сварочной дуги от обычных серийных преобразователей (типа ПС-300) или сварочных установок типа УДГУ, ТИР, ВСВУ и др. Чтобы избежать включений вольфрама в металл шва при зажигании дуги, возбуждение ее следует производить на технологической подкладке. Заканчивая процесс сварки, надо уменьшить сварочный ток для предотвращения образования трещин в кратере. Перечисленные установки позволяют это делать автоматически. Швы желательна накладывать с минимальными поперечными колебаниями электрода и на максимально возможной скорости. При многопроходной сварке последующие швы необходимо накладывать после полного охлаждения металла, зачистки от шлака и обезжиривания предыдущих слоев. При сварке никеля допускается охлаждение водяным душем. Швы, обращенные к агрессивной среде, выполняют в последнюю очередь.

#### ***Контактная сварка***

Никель и высоконикелевые сплавы (монель, инконель и др.) хорошо свариваются точечной сваркой между собой, а также со сталями и многими медными сплавами. Соединения никеля и его сплавов можно также успешно выполнять роликовой и стыковой контактной сваркой.

#### ***Сварка под флюсом и ЭЛС***

При сварке никеля и его сплавов эти способы также можно применять.

### **6. Сварка титана и его сплавов**

Титан – цветной металл, имеющий серебристо-белую окраску, внешне напоминает сталь. При температуре 0<sup>0</sup>С его плотность составляет 4,517 г/см<sup>3</sup>.

Титан и его сплавы весьма перспективны, так как они имеют высокую удельную прочность вплоть до температуры 400-500 °С и отличную коррозионную стойкость во многих агрессивных средах. Применяется в химическом машиностроении, авиационной промышленности и других отраслях. Чистый титан находит ограниченное применение (в радиотехнике).

Технический титан содержит примеси внедрения, в том числе газы – кислород, азот, водород, которые в разной степени повышают прочность и снижают пластичность и вязкость металла. В сварных швах они вызывают образование холодных трещин. Поэтому свариваемый технический титан должен содержать ограниченное количество примесей – газов: азота – до 0,05%, кислорода – до 0,018%, водорода – до 0,015%

Легирование титана позволяет получать свариваемые сплавы, обладающие повышенной прочностью при достаточной пластичности и

вязкости. Алюминий, цинк, цирконий и др. не изменяют кристаллического строения технического титана при нормальной температуре.

Марганец, молибден, ванадий, хром и др. при добавлении в титан способствует сохранению кристаллического строения при высокой температуре

### ***Особенности сварки титановых сплавов***

Обязательным условием получения качественного соединения при сварке плавлением является надежная защита от газов атмосферы ( $O_2$ ,  $H_2$ ) не только сварочной ванны, но остывающих участков металла шва и околошовной зоны вплоть до температуры  $400\text{ }^\circ\text{C}$ .

Низкая теплопроводность титана способствует увеличению времени пребывания шва и околошовной зоны при высоких температурах. На качество сварных соединений титана оказывает влияние состояние поверхности кромок и присадочного металла (механическая обработка, травление).

Наиболее частыми дефектами сварных швов являются поры и холодные трещины. Возбудителями пор являются газы и среди них, в первую очередь, водород. Борьба с порами: обеспечить требуемую чистоту основного и сварочного материалов, сварку выполнять на оптимальных режимах.

Для предохранения шва от загрязнений водородом применяют сварочную или присадочную проволоку, предварительно подвергнутую вакуумному отжигу, после чего содержание водорода не превышает  $0,002\text{--}0,004\%$ .

### ***Способы сварки титановых сплавов***

#### ***Дуговая сварка с защитой инертным газом***

В качестве защитного газа применяется аргон марки А ГОСТ 10157-87.

При сварке сосудов или труб инертный газ пропускают внутрь изделия.

При сварке ***неплавящимся электродом*** технического титана и малолегированных титановых сплавов применяют присадочный металл - титановую проволоку ВТ1-00, подвергнутую вакуумному отжигу. Сварку вольфрамовым, обычно лантанированным, электродом выполняют на постоянном токе обратной полярности.

О надежности газовой защиты в процессе сварки в инертных газах можно судить по внешнему виду сварного шва. Блестящая серебристая поверхность говорит о хорошей защите. Появление на шве серых налетов - на плохую защиту.

#### ***Аргонодуговая сварка плавящимся электродом с применением флюсов - паст***

Для титана и его сплавов толщиной более 3 мм находят применение способ сварки под флюсом, разработанный в ИЭС им. Патона. Так как технический титан имеет сравнительно высокую температуру плавления, то флюс для сварки титана должен быть более тугоплавким, чем для стали. Сварку выполняют постоянным током обратной полярности электродом того же состава, что и основной металл. Так как титан обладает большим



электрическим сопротивлением, чем сталь, то сварку титана следует выполнять при малых вылетах электрода.

### ***Электрошлаковая сварка***

Титан толщиной более 30 мм целесообразно сваривать электрошлаковой сваркой. При этом используют тугоплавкий безкислородный флюс АН-Т2 с подачей чистого аргона над поверхностью шлаковой ванны.

Термическая обработка сварных соединений из титана и его малолегированных сплавов проводится лишь с целью снятия сварочных напряжений. Температура нагрева до 600-650 °С, время выдержки 30-40 минут, охлаждение - с печью.

### ***Контрольные вопросы;***

1. Какие в основном применяются цветные металлы и сплавы в изготовлении сварных изделий?
2. В чем отличия свойств цветных металлов и сплавов от сталей?
3. В чем трудности сварки меди?
4. Какими способами проводят сварку латуни и бронзы?
5. Какие трудности возникают при сварке алюминия и его сплавов?
6. Каким образом происходит удаление окислов с поверхности сварочной ванны при дуговой сварке алюминиевых сплавов?
7. Какие электроды и сварочные проволоки применяют для дуговой сварки алюминия?
8. Какие свойства титана отрицательно влияют на его свариваемость?
9. Чем характеризуется свариваемость меди и ее сплавов?
10. Какие методы сварки меди вы знаете?
11. Какие технологические приемы используются при сварке меди?
12. Какие элементы вводятся в присадочные проволоки в качестве раскислителей при сварке алюминия?
13. Какие электроды и сварочные проволоки применяют для дуговой сварки меди?
14. Какие элементы вводятся в присадочные проволоки в качестве раскислителей при сварке меди и ее сплавов?
15. Какие методы сварки алюминия применяются в промышленности и в ремонтных работах?
16. Чем и почему отличаются режимы дуговой сварки меди и алюминия от режимов сварки стали такой же толщины?
17. Какие защитные среды применяются при сварке меди и алюминия?