



# ТЕХНОЛОГІЯ І ОБОРУДОВАННЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕННЯМ

(по матеріалам учебника Акулова А.И., Бельчука Г.А., Демянцевич В.П.  
Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник для студентов вузов.  
М., «Машиностроение», 1977. – 432 с.)

**Автор: д. т. н. Лузан С.О.**

# **Лекция 17. Сварка алюминия и сплавов на его основе.**

## **(тема 6)**

### **План лекции**

- 1. Состав, свойства.**
- 2. Общие сведения о свариваемости.**
- 3. Способы сварки алюминия и его сплавов.**
- 4. Характеристика сварочных материалов для сварки алюминия и его сплавов.**
- 5. Особенности технологии сварки алюминия и его сплавов.**



# 1. Состав, свойства.

**Алюминий** – самый распространённый цветной металл по объёмам производства и масштабам применения. **Алюминий не претерпевает полиморфных превращений** и во всём температурном интервале вплоть до точки плавления имеет кристаллическую решётку ГЦК. Плотность алюминия  $\gamma = 2,7 \text{ г/см}^3$ ,  $T_{\text{пл.}} = 658 \text{ }^\circ\text{C}$ .

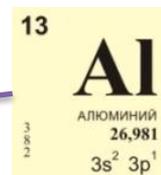


**Специфические свойства алюминия** – высокая электро- и теплопроводность, коррозионная стойкость, способность поглощать нейтроны. Алюминий – химически активный металл. Даже при нормальной температуре на его поверхности образуется **оксид**  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

**Наличие оксидной плёнки** на поверхности алюминия **предохраняет его** от дальнейшего взаимодействия с окружающей средой. Благодаря этому алюминий и его сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях и в тех средах, которые не разрушают плёнку.

# 1. Состав, свойства.

Алюминиевые сплавы делят на две основные группы: **деформируемые**, применяемые в прессованном, катаном и ковном состояниях, и **литейные**:



Технический алюминий АД1, АД, алюмино-марганцевый сплав АМц (Al + 1,3% Mn), группа сплавов системы Al – Mg: АМг1, АМг2, АМг3, АМг4, АМг5, АМг6.

Сплавы на основе системы Al – Mg – Zn: В92, В92Ц, АЦМ.

Сплавы на основе системы Al – Cu – Mg – Fe – Ni: АК2, АК4, АК4 – 1.

**Дуралюмины** – сплавы на основе системы Al – Cu – Mg: Д1, Д16, Д19, ВАД1, ВД17, М40, Д18.

Сплавы на основе системы Al – Cu – Mn: Д20, Д21 и ВАД – 23 (Al – Cu – Mn – Li – Cd).

**Авиали** – сплавы на основе системы Al – Mg – Si и Al – Cu – Mg – Si: АВ, АД31, АД33, АД35, АК6, АК6-1.

Сплавы на основе системы Al – Zn – Mg – Cu: В93, В94, В95, В96.

# 1. Состав, свойства.

5

Из перечисленных сплавов **к свариваемым относятся:**  
АД, АД1, АМц, АМг3, АМг5,  
АМг6, АВ, АД31, АД33,  
АД35, М40, Д20, ВАД1, В92Ц

К **литейным** относятся сплавы со значительным содержанием кремния или меди: АЛ2, АЛ4, АЛ9, АК5М7, АК7М2 и др. Их сварку выполняют при исправлении дефектов литья и при соединении литейных деталей с узлами из деформируемых сплавов.

**Области применения:** авиационная и космическая техника, транспортное и химическое машиностроение, автомобильная и пищевая промышленность, строительство.



## Контрольные вопросы

1. Какая кристаллическая решетка у алюминия?
2. Какая свариваемость у алюминия?
3. Плотность и температура плавления алюминия?
4. Области применения алюминия и его сплавов?



## 2. Общие сведения о свариваемости.

Металлургические особенности сварки алюминия и его сплавов определяются взаимодействием их с газами окружающей среды. Интенсивностью испарения легирующих элементов, а также особенностями кристаллизации в условиях сварочного процесса.

**Лёгкая окисляемость алюминия** приводит к образованию, на его поверхности плотной тугоплавкой плёнки оксида алюминия  $Al_2O_3$ . Обладая высокой температурой плавления ( $2050\text{ }^{\circ}C$ ), окисная плёнка не расплавляется в процессе сварки и покрывает металл прочной оболочкой, затрудняющей образования общей ванны.

Частицы окисной плёнки, попавшие в ванну, а также часть плёнок с поверхности основного металла, не разрушенных в процессе сварки, могут образовывать окисные включения в швах, снижая свойства сварных соединений и их работоспособность.

Удаление плёнки в процессе сварки достигается действием тока при горении дуги или воздействием составляющих флюса или покрытия электрода на окись алюминия.



## 2. Общие сведения о свариваемости.

Затруднения при сварке вызывает **также большая склонность металла шва к образованию пор**. В отличие от стали поры в алюминии располагаются преимущественно внутри шва вблизи границы сплавления его с основным металлом и у поверхности шва.

**Основным возбудителем пор в алюминиевых швах является водород**, который обладает способностью растворяться в расплавленном алюминии. При затвердевании металла растворённый водород в связи с понижением растворимости стремится выделиться из металла. Пузырьки выделяющегося водорода, не успевая всплыть из ванны, остаются в шве, образуя поры.

**Основным источником водорода является влага**, адсорбированная поверхностью металла и входящая в состав оксидной плёнки и жировые загрязнения с поверхности свариваемых деталей и сварочной проволоки, применяют предварительный и сопутствующий подогрев до температуры 200 ... 400 °С.



## 2. Общие сведения о свариваемости.

**Подогрев** облегчает удаление газовых пузырьков из сварочной ванны, а плёнка окиси алюминия препятствует дальнейшему поступлению водорода в жидкий металл.

Затруднения при сварке вызывает **также большая склонность металла шва к образованию пор**. В отличие от стали поры в алюминии располагаются преимущественно внутри шва вблизи границы сплавления его с основным металлом и у поверхности шва.

**Основным возбудителем пор** в алюминиевых швах является **водород**, который обладает способностью растворяться в расплавленном алюминии.

**Основным источником водорода** является **влага**, адсорбированная поверхностью металла и входящая в состав оксидной плёнки и жировые загрязнения с поверхности свариваемых деталей и сварочной проволоки, применяют **предварительный и сопутствующий подогрев** до температуры **200 ... 400 °С**.

## 2. Общие сведения о свариваемости.

Серьёзные затруднения при сварке алюминия и его низколегированных сплавов создаются из-за **возникновения кристаллизационных трещин**.

Образование трещин при сварке технического алюминия и алюминиево-марганцевого сплава АМц **зависит от содержания железа и кремния в металле шва**.

**Увеличение содержания кремния до 0,6 % приводит к снижению стойкости шва против образования кристаллизационных трещин.**  
Увеличение содержания железа до 0,7 % приводит к повышению стойкости металла шва против образования кристаллизационных трещин.

**Поэтому наименьшей стойкостью против образования кристаллизационных трещин обладают алюминий и сплав АМц, содержащие по 0,1 (0,05 ... 0,15) % железа и кремния. Такому составу соответствует алюминий марки А85.**



## 2. Общие сведения о свариваемости.

Среди **алюминиево-магниевых сплавов** *наименьшей стойкостью против образования кристаллизационных трещин обладает сплав **АМг2**. Действие магния в данном случае аналогично действию железа.*

**Более стойкие к образованию подобных трещин сплавы АМг5 и АМг6,** *содержащие 5 ... 6 % Mg. Подогрев не способствует предотвращению кристаллизационных трещин, так как приводит к существенному увеличению размеров кристаллитов и росту напряжений и деформаций.*

*Дополнительные затруднения при сварке легированных сплавов алюминия создаются из-за **холодных трещин**. При сварке так называемых самозакаливающихся (алюминий – цинк – магний) сплавов подобные трещины возникают спустя определённый промежуток времени после сварки.*

**Для борьбы с задержанным разрушением применяют нагрев сварных соединений до температуры 200 ... 220 °С (перестаривание).**



## 2. Общие сведения о свариваемости.

*Значительная усадка при затвердевании сварного шва и высокий коэффициент линейного расширения приводят к существенным остаточным деформациям.*

*Снижение деформаций в конструкциях из алюминия и его сплавов может быть достигнуто за счёт использования технологических мероприятий*

*Большая жидкотекучесть и малая прочность при температурах выше 550 °С вызывает необходимость применения подкладок при сварке алюминия и его сплавов.*



# Контрольные вопросы

1. Чем можно обеспечить хорошее формирование шва при сварке алюминия?
2. Причина склонности швов к образованию кристаллизационных трещин?
3. Перечислите способы сварки алюминия и его сплавов?



### 3. Способы сварки алюминия и его сплавов.

Для алюминия и его сплавов применяются практически все промышленные способы сварки плавлением:

ручная дуговая сварка угольным или графитовым электродом;

ручная дуговая сварка покрытыми электродами;

автоматическая сварка с применением флюсов;

сварка в инертных газах;

электрошлаковая сварка;

плазменная и микроплазменная сварка;

электронно-лучевая сварка.



## 4. Характеристика сварочных материалов для сварки алюминия и его сплавов.

При сварке плавлением алюминия и его сплавов в основном используют тянутую и прессованную сварочную проволоку из алюминия и алюминиевых сплавов по ГОСТ 7871 – 75, который предусматривает изготовление четырнадцати марок СвА97, СвА85Т, СвА5, СвАМц, СвАМг3, СвАМг4, СвАМг5, Св1557, СвАМг6, СвАМг63, СвАМг61, СвАК5, СвАК10, Св1201.

*Кроме указанных марок используют сварочную проволоку из алюминия АД1, сплавов АК3, В92 и других, поставляемую по специальным техническим условиям.*

**Проволока в бухтах покрыта оксидной плёнкой и смазкой, которые перед сваркой удаляют химической обработкой или электрополированием.**



## 4. Характеристика сварочных материалов для сварки алюминия и его сплавов.

Для сварки распространённых деформируемых сплавов рекомендуется применять следующие проволоки:

Свариваемый металл	Проволока
АДОО	СвА85Т; СвА97
АДО; АЛ1	СвА1*; СвА85Т; СвА97
АМц	СвАМц
АМг2; АМг3	СвАМг3; СвАМг6
АМг4; АМг5	СвАМг5; СвАМг6; Св1557
АМг6	СвАМг6; СвАМг61; Св1557; СвАМг6Цв.ч*
АД31; АД33; АВ	СвАК5; Св1557
1915	СвАМг5; СвАМг6Цв.ч.*; Св1557; СвАМг61
АМг61	СвАК5
АЛ2; АЛ4; АЛ6	СвАК5
В92	СвВ92*
* Поставляется по специальным техническим условиям	



## 4. Характеристика сварочных материалов для сварки алюминия и его сплавов.

Для сварки алюминия и его сплавов применяют следующие марки покрытых электродов:

Свариваемый металл	Марка электрода	Группа покрытия
Технический алюминий	ЭА – 1; ЭА – 11Ф1	Безлитиевые
Сплавы типа АМг и АМц	ВАМИ – А1	
Литейные сплавы АЛ4, АЛ5	МАТИ – 1; МАТИ - 2	
Сплавы типа АМц	МВТУ	Литиевые
Сплавы типа АМГ, АМц	АФ – 1	
Сплавы типа АМц, силумин	А1; А1Ф	



## 4. Характеристика сварочных материалов для сварки алюминия и его сплавов.

Для дуговой и электрошлаковой сварки алюминия и его сплавов применяют плавленные и керамические солевые флюсы

Компонент	Марка флюса							
	для сварки по слою флюса					для сварки под флюсом		для электрошлаковой сварки
	АН – А1	АН – А4	48 – АФ – 1	МАТИ – 1а	МАТИ – 10	ЖА – 64*	ЖА – 64А*	АН – А301 АН – А302 АН – А304
Хлористый натрий	20	–	–	–	–	17	15	–
Хлористый калий	50	57	47	47	30	43	43	20 ... 60
Хлористый литий	–	–	–	8	–	–	–	10 ... 40
Хлористый барий	–	28	47	–	68	–	–	5 ... 30
Фтористый натрий	–	–	–	42	–	–	–	–
Фтористый калий	–	–	2	–	–	–	–	–
Фтористый литий	–	7,5	–	–	–	–	–	2 ... 20
Фтористый кальций	–	–	–	–	–	–	3	–
Фтористый алюминий	–	7,5	–	–	–	–	–	–
Криолит	30	–	–	3	2	36	43	–
Фторцирконат калия	–	–	2	–	–	–	–	–
Песок кварцевый	–	–	–	–	–	4	≤ 1	–
Оксид хрома	–	–	2	–	–	–	–	–
* Керамический флюс								



## 5. Особенности технологии сварки алюминия и его сплавов.

Ручная дуговая сварка неплавящимся угольным или графитовым электродом применяется редко, например, при соединении электрических шин. Она выполняется постоянным током прямой полярности.

Сваривают стыковые соединения и с отбортовкой. Применяют стальные, алюминиевые и графитовые подкладки. Концы электродов затачивают на конус под углом  $60 \dots 70^\circ$ .

При сварке применяют флюсы, механические свойства сварных соединений несколько ниже свойств основного металла.



## 5. Особенности технологии сварки алюминия и его сплавов.

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами применяется в основном при изготовлении малонагруженных конструкций из технического алюминия, алюминиевых сплавов типа АМц и АМг, содержащих до 5 % Mg, а также изделий из силумина.

Сварка производится постоянным током обратной полярности, как правило, без колебаний конца электрода. Минимальная толщина свариваемого металла толщиной до 20 мм разделка кромок не требуется.

Для обеспечения устойчивого процесса сварки при минимальных потерях на разбрызгивание рекомендуется принимать сварочный ток из расчёта не более 60 А на 1 мм диаметра электрода.



## 5. Особенности технологии сварки алюминия и его сплавов.

Автоматическая сварка по флюсу (полуоткрытой дугой) используется при изготовлении конструкций типа цистерн, котлов и ёмкостей из технического алюминия и сплава АМц толщиной 10 ... 30 мм.

Сварка производится постоянным током обратной полярности от стандартных источников с пологопадающей или жёсткой внешней характеристикой.

Флюсы для сварки алюминия состоят из галогенидов и криолита, практически не взаимодействует с жидким алюминием, защищают сварочную ванну от воздействия газов атмосферы и удаляют из неё оксид алюминия.



## 5. Особенности технологии сварки алюминия и его сплавов.

Автоматическая сварка под флюсом (закрытой дугой) производится при больших плотностях тока, благодаря чему достигается глубокое проплавление металла и не требуется разделка кромок.

Сварка выполняется расщепленным электродом переменным или постоянным током обратной полярности.

Применяемые керамические флюсы марок ЖА – 64 и ЖА – 64А обеспечивают получение удовлетворительно сформированных швов без дефектов (пор, трещин, шлаковых включений и др.).



## 5. Особенности технологии сварки алюминия и его сплавов.

**Сварка в инертных газах** – наиболее распространённый способ сварки, применяющийся для изготовления сварных конструкций из алюминия и алюминиевых сплавов ответственного назначения.

Сварка выполняется неплавящимся вольфрамовым электродом (ручная и автоматическая) и плавящимся электродом (механизованная и автоматическая).

В качестве инертного защитного газа используют в основном аргон первого сорта или гелий высокой чистоты, а для сварки плавящимся электродом – смесь аргона с гелием. Выбор вида сварки в инертных газах определяется толщиной металла, конструкцией изделия и масштабами производства.



## 5. Особенности технологии сварки алюминия и его сплавов.

Импульсно–дуговая сварка плавящимся электродом расширяет возможность сварки алюминиевых сплавов при различных пространственных положениях.

При этом улучшается формирование швов, регулируется время пребывания металла сварочной ванны в расплавленном состоянии, а значит и протекание металлургических реакций.

Режимы сварки неплавящимся и плавящимся электродом в инертных газах устанавливаются по рекомендациям справочной литературы в зависимости от марки сплава и толщины свариваемого металла.



## 5. Особенности технологии сварки алюминия и его сплавов.

Электрошлаковая сварка алюминиевых сплавов производится электродами большого сечения – пластинчатыми и плавящимся мундштуком с подачей в зону сварки по плавящемуся мундштуку ленты или проволоки.

Для выполнения протяжённых швов при толщине свариваемого металла 200 ... 300 мм рекомендуется плавящийся мундштук.

Для электрошлаковой сварки используют источники питания с жёсткой внешней характеристикой – ТШС – 3000 – 1, ТШС – 10 – 1. Применяют флюсы на основе галогенидов щелочных и щелочноземельных металлов (АН – А301, АН – А302, АН – А304). Формирование шва осуществляется медными водоохлаждаемыми или графитовыми кристаллизаторами.



## 5. Особенности технологии сварки алюминия и его сплавов.

Плазменная сварка в связи с необходимостью разрушения и удаления оксидной плёнки выполняется сжатой дугой переменного или постоянного тока обратной полярности.

Аргонодуговой сваркой алюминия и его сплавов неплавящимся электродом, позволяет повысить производительность сварочных работ на 50 ... 70 %, снизить расход аргона в 4 ... 6 раз, улучшить качество сварных соединений.

Плазменную сварку стыковых соединений из алюминиевых сплавов, толщиной до 8 мм выполняют без разделки кромок с зазором до 1,5 мм за один проход на стальной подкладке или с двух сторон на весу.



## 5. Особенности технологии сварки алюминия и его сплавов.

Электронно–лучевая сварка является эффективным способом соединения деталей и узлов из алюминиевых сплавов. .

В условиях электронно–лучевой сварки в вакууме успешно решается вопрос разрушения и удаления окисной плёнки на поверхности свариваемых кромок.

Рекомендуется перед электронно–лучевой сварки свариваемые кромки подвергать химическому травлению с последующей зачисткой до блеска. При сварке остаточное давление в камере обычно составляет 0,013 ... 0,065 Па.

Электронно–лучевая сварка позволяет выполнять соединения из алюминия и его сплавов различного типа: стыковые, нахлесточные, угловые, прорезные и др. Сварку стыковых соединений из металла толщиной до 20 мм выполняется на весу за один проход.



# Задание для самостоятельного изучения:



*Холодная сварка чугуна электродами, обеспечивающими получение в наплавленном металле низкоуглеродистой стали*

Акулова А.И., Бельчука Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник для студентов вузов. М., «Машиностроение», 1977. – 432 с. (С. 333-336)





**Кафедра технології металлов и матеріалознавства**

**Лузан Сергей Алексеевич**

**E-mail: [khadi.luzan@gmail.com](mailto:khadi.luzan@gmail.com)**

**г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М**

**Тел. 097-174-19-15**