

УрФУ

Кафедра Технологии сварочного производства



Сварочное производство

Сварка цветных металлов. Алюминий и его сплавы

УрФУ

Кафедра Технологии сварочного производства

Чистый алюминий из-за низкой прочности используют в отдельных случаях в химической, пищевой и электротехнической промышленности. Алюминий высокой чистоты применяют в отраслях новой техники, в том числе при производстве полупроводников.

26.981538
13 Al
3s²3p¹
660.37
2467
1.61/1.47
Aluminium
[Aluminum]
Алюминий

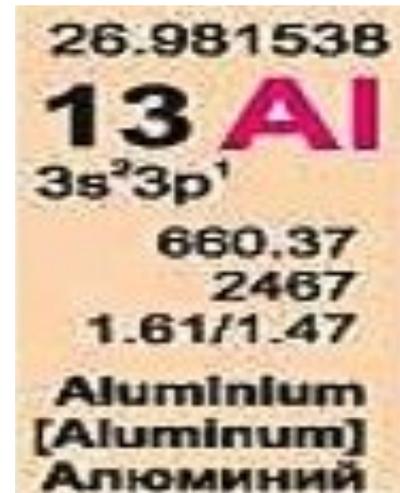
Алюминиевые сплавы: сочетание высоких механических свойств (высокая удельная прочность и физических свойств (малая плотность, высокая теплопроводность (в 3-3.5 раза выше, чем у стали), высокая электропроводность

Сварка алюминия и его сплавов

УрФУ

Кафедра Технологии сварочного производства

Основными областями применения являются транспорт (авиационная промышленность, кораблестроение, вагоностроение), строительство (металлоконструкции общего назначения) и упаковочная промышленность



Сварка алюминия и его сплавов

Сплавы алюминия:

- ❖ **Литейные** (ГОСТ 1583-93, 2685-75), , сварку которых осуществляют для устранения дефектов литья
- ❖ **Деформируемые** (ГОСТ 4784-97) (термоупрочняемые и нетермоупрочняемые)

Деформируемые:

- не упрочняемые термообработкой (с концентрацией легирующих элементов ниже предела растворимости при 20 °С)
 1. технический алюминий **АД1, АД**
 2. алюминиево-марганцевый сплав **АМц** (Al + 1,3%Mn)
 3. группа сплавов системы Al—Mg (**АМг1, АМг2, АМг3 и АМг6**)

В сварных соединениях сохраняют до 95% от $\sigma_{ом}$ при высокой пластичности и коррозионной стойкости

- упрочняемые термической обработкой (с концентрацией ЛЭ выше этого предела).

1. Дуралюмины — сплавы на основе системы Al—Cu—Mg (**Д1, Д16, Д19, ВАД1, ВД17, М40, Д18**)
2. Авиали — сплавы на основе системы Al—Mg—Si и Al—Cu—Mg—Si (**АВ, АД31, АД33, АД35, АК6, АК6-1, АК8**)
3. Сплавы на основе системы Al—Cu—Mg—Fe—Ni (**АК2, АК4, АК4-1**)
4. Сплавы на основе системы Al—Cu—Mn (**Д20, Д21**)
5. Сплавы на основе системы Al—Cu—Mn—Li—Cd (**ВАД-23**)
6. Сплавы на основе системы Al—Zn—Mg—Cu (**В93, В95, В96, В94**)
7. Сплавы на основе системы Al—Mg—Zn (**В92, В92Ц, АЦМ**)

Металлургические особенности сварки определяются взаимодействием с газами окружающей среды, испарением легирующих элементов и особенностями кристаллизации.

Основная трудность - наличие на поверхности тугоплавкой оксидной пленки Al_2O_3 ($2050^\circ C$), препятствующей сплавлению основного и присадочного металлов.

При $1000^\circ C$ реакция окисления может протекать при $p_{O_2} = 44 \cdot 10^{-45} \text{ МПа}$. Оксид покрывает поверхность плотной и прочной пленкой. При $20^\circ C$ процессы окисления также протекают.

Окисная пленка адсорбирует газы, в особенности водяной пар, который удерживается до температуры плавления металла.

Коэффициент теплового расширения окисной пленки почти в 3 раза меньше коэффициента расширения алюминия, поэтому при нагреве металла в ней образуются трещины. При наличии легирующих добавок состав окисной пленки может существенно меняться. Возникающая сложная окисная пленка в большинстве случаев является более рыхлой, гигроскопичной и обладает худшими защитными свойствами.

Окисная пленка не расплавляется в процессе сварки и покрывает металл прочной оболочкой, затрудняющей образование общей ванны.

Она является источником газов, растворяющихся в металле, и косвенной причиной возникновения в нем несплошностей различного рода. Частицы пленки могут образовывать кислородные включения в швах.

Для осуществления сварки должны быть приняты меры по разрушению и удалению пленки и защите металла от повторного окисления. С этой целью используют специальные сварочные флюсы или сварку осуществляют в атмосфере инертных защитных газов.

При подготовке деталей из алюминиевых сплавов под сварку профилируют свариваемые кромки, удаляют поверхностные загрязнения и окислы. Обезжиривание и удаление поверхностных загрязнений осуществляют с помощью органических растворителей или обработкой в специальных ваннах щелочного состава.

В качестве растворителей для обезжиривания применяют уайт-спирит (нефрас-С4-155/200, растворитель Стоддарда) (ГОСТ 3134-78) технический ацетон (ГОСТ 2768-84) растворители РС-1 (РС-12) и РС-2 (ГОСТ 7827-74)

Обезжиривание можно проводить в водном растворе состава:
40—50 г/л технического тринатрийфосфата ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)
40—50 г/л кальцинированной соды (Na_2CO_3)
25—30 г/л жидкого стекла (Na_2SiO_3)
Температура ванны 60—70 °С, время обработки 4—5 мин.

Удаление поверхностной окисной пленки является наиболее ответственной операцией подготовки деталей. При этом в основном удаляют старую пленку окислов, полученную в результате длительного хранения и содержащую значительное количество адсорбированной влаги.

УрФУ

Кафедра Технологии сварочного производства

Окисную пленку можно удалять с помощью металлических щеток из проволоки диаметром 0,1—0,2 мм при длине ворса не менее 30 мм или шабрением.

После зачистки кромки вновь обезжиривают растворителем. Продолжительность хранения деталей перед сваркой после зачистки 2—3 ч.

При более широких масштабах производства - травление:

- 1) обезжиривание в растворителе
- 2) травление в ванне водного раствора 45—150 г/л NaOH при $t = 60—70$ °С, 1—2 мин для неплакированных материалов; при необходимости снятия технологической плакировки (например, на АМгб) время травления выбирают из расчета 0,01 мм за 2,5—3 мин;
- 3) промывка в проточной воде (60—80 °С), затем в холодной воде
- 4) осветление в 20-40% водном растворе HNO_3 при 20 °С в течение 1—2 мин или в 15% при 60 °С в течение 2 мин;
- 5) промывка в холодной проточной воде, затем в горячей (60—70 °С)
- 6) сушка горячим воздухом (80—90 °С)

При сварке деталей из сплавов алюминия, содержащих магний повышенной концентрации (например, сплава АМгб), перед сваркой кромки деталей и особенно их торцовые поверхности необходимо зачищать шабером.

Для обработки проволоки используют те же ванны.

После травления рекомендуется проводить **электрохимическое полирование**, особенно для сплавов, содержащих магний в растворе:

700 мл ортофосфорной кислоты

300 мл серной кислоты окиси хрома

Температуру электролита поддерживают 95—100 °С. При перегреве электролита выше 100 °С происходит растравливание поверхности, а при понижении температуры ниже 90 °С процесс полирования прекращается.

Качество подготовки проволоки контролируют наплавкой технологических валиков с последующей оценкой пористости металла шва путем взвешивания.

Для осуществления сварки должны быть приняты меры по разрушению и удалению пленки и защите металла от повторного окисления. С этой целью используют специальные сварочные флюсы или сварку осуществляют в атмосфере инертных защитных газов.

Способы удаления оксидной пленки:

- Механический (до сварки)
- химический (до сварки - травление, при сварке - применение флюсов, содержащих фтористые и хлористые соли)
- электрический (сварка переменным током или катодное распыление при сварке на обратной полярности)

Сварку следует выполнять не позже, чем через 2 часа после механической очистки и 8 часов после химической.

После сварки требуется тщательное удаление (смывание горячей водой) остатков флюса с поверхности изделия во избежание коррозии металла.

Следует иметь в виду, что при нагреве до 400-500°C прочность алюминия резко падает и изделие может разрушиться даже под тяжестью собственного веса

Типы соединений регламентированы ГОСТ 14806—69.

Наиболее рациональны стыковые, выполнить которые можно любыми способами сварки.

Для устранения окисных включений применяют подкладки с канавкой рациональной формы или разделку кромок с обратной стороны шва, что в некоторых случаях обеспечивает удаление окисных включений из стыка в формирующую канавку или в разделку.

Применение при аргонодуговой сварке флюсов, наносимых на торцовые поверхности перед сваркой в виде дисперсной взвеси фторидов в спирте, также способствует уменьшению количества окисных включений в металле шва.

При угол раскрытия кромок необходимо ограничивать с целью уменьшения объема наплавленного металла в соединении, а следовательно, и вероятности образования дефектов

В качестве присадочного материала при сварке чистого алюминия применяют проволоку примерно того же химического состава, что и основной металл.

При сварке алюминиевых сплавов марки проволок выбираются по ГОСТ 7871-63.

Упрочняемые сплавы и сплавы АМц сваривают проволокой Св АК5, содержащей 5% кремния, который повышает жидкотекучесть и уменьшает усадку шва.

Для сварки сплавов АМг используются проволоки марок Св АМг3, Св АМг5, Св АМг7 с несколько большим содержанием магния, чем в основном металле.

Алюминиевое литье сваривают проволоками Св АК, Св АМц и проволокой из чистого алюминия.

Сварку обычно ведут левым способом при наклоне мундштука к изделию не более 45°.

После сварки - легкая проковка шва в холодном состоянии.

Газовая сварка

Толщина металла, мм	0,5 - 0,8	1,0	1,2	1,5 - 2,0	3,0 - 4,0
Мощность пламени, л/ч	50	75	75 -100	150 - 300	300 - 500

Для защиты от окисления и удаления окислов с кромок применяют флюсы.

Например, АФ-4А:

28% NaCl, 50% KCl, 14% ZnCl, 8% NaF.

Флюс вводится с присадочным прутком, или предварительно наносится на кромки в виде пасты, разведенной в воде. Флюс не хранится более 8—10 ч в разведенном состоянии.

Применяют сварочную проволоку из алюминия или его сплавов. Диаметр зависит от толщины металла.

РДС можно выполнять угольным или металлическим покрытым электродом.

Сварка угольным (графитовым) электродом - для заварки брака отливок, сварки алюминиевых шин, иногда для тонкого материала по отбортовке. Присадочный материал в виде прутков, покрытых флюсом. Постоянный ток прямой полярности.

Толщина металла, мм	Ток, А	Диаметр, мм		
		присадочного прутка	угольного электрода	графитового электрода
2-5	120-250	4-6	12,5	10,0
5-10	250-400	5-6	15	12,5
10-15	400-500	6-8	18	15

РДС можно выполнять угольным или металлическим покрытым электродом.

Для РДС применяют электроды, стержни которых изготавливают из сварочной проволоки (ГОСТ 7871—75), а покрытия из смеси хлористых и фтористых солей. В качестве связующего используют раствор NaCl в воде или раствор декстрина, а также водный раствор карбоксилметилцеллюлозы (КМЦ).

Сварку производят на постоянном токе обратной полярности

ОЗАНА - 1	сварка и наплавка деталей из алюминия технической чистоты. Сварка в нижнем и вертикальном положениях
ОЗАНА - 2	заварка брака литья и наплавка деталей из алюминиево-кремнистых сплавов типа АЛ-4, АЛ-9, АЛ-11. Сварка в нижнем и вертикальном положениях
ОЗА - 1	сварка и наплавка деталей из алюминия технической чистоты. Сварка в нижнем и ограниченно вертикальном положениях
ОЗА - 2	заварка брака литья и наплавка деталей из алюминиево-кремнистых сплавов типа АЛ-4, АЛ-11. Сварка в нижнем и ограниченно вертикальном положениях

Широко используют **TIG сварку**.

Применяют аргон чистотой не менее 99,9% (по ГОСТ 10157—73, сорта: высший, первый и второй) или смеси аргона с гелием.

Питание дуги - переменным током от источников с падающими характеристиками или постоянным только обратной полярности с обязательным применением осциллятора. Необходимо поддерживать минимальную длину дуги (до 2 мм).

Используют вольфрамовые электроды (ГОСТ 23949-80) и присадочную проволоку (ГОСТ 7871-75) (при необходимости)

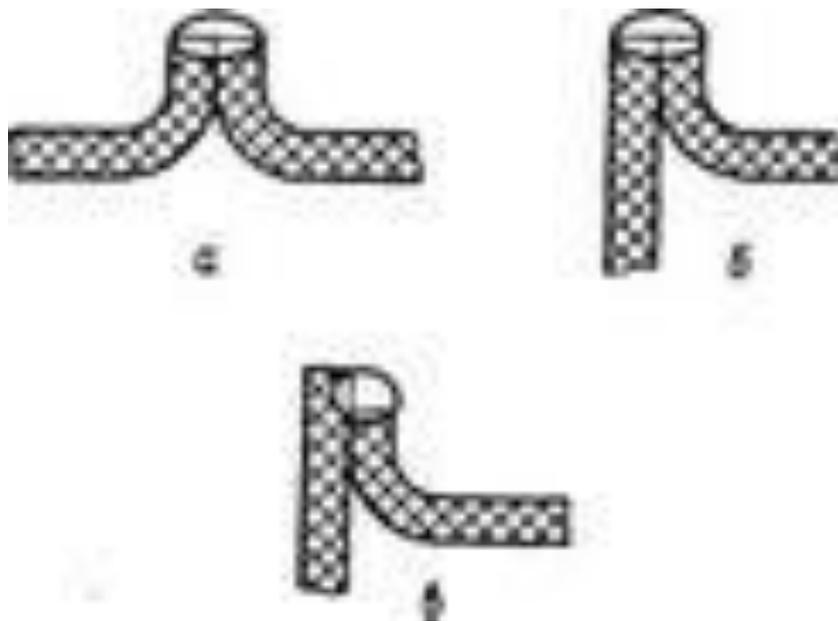
Используют сварку **импульсной дугой** (от 0,2 мм) с применением специализированных источников питания для сварки алюминиевых сплавов на переменном токе.

При сварке больших толщин используют способ сварки **погруженной дугой** (за один проход до 20 мм). При этом используют специальные электроды с добавками иттрия и тантала и сварочные горелки с улучшенной защитой зоны сварки.

Применяют сварку **трехфазной дугой** с регулированием тепловложения (за один проход свыше 30мм).

Сварку тонколистового металла ($\delta \leq 2 \text{ мм}$) выполняют без присадочной проволоки (по отбортовке или за счет расплавления кромок).

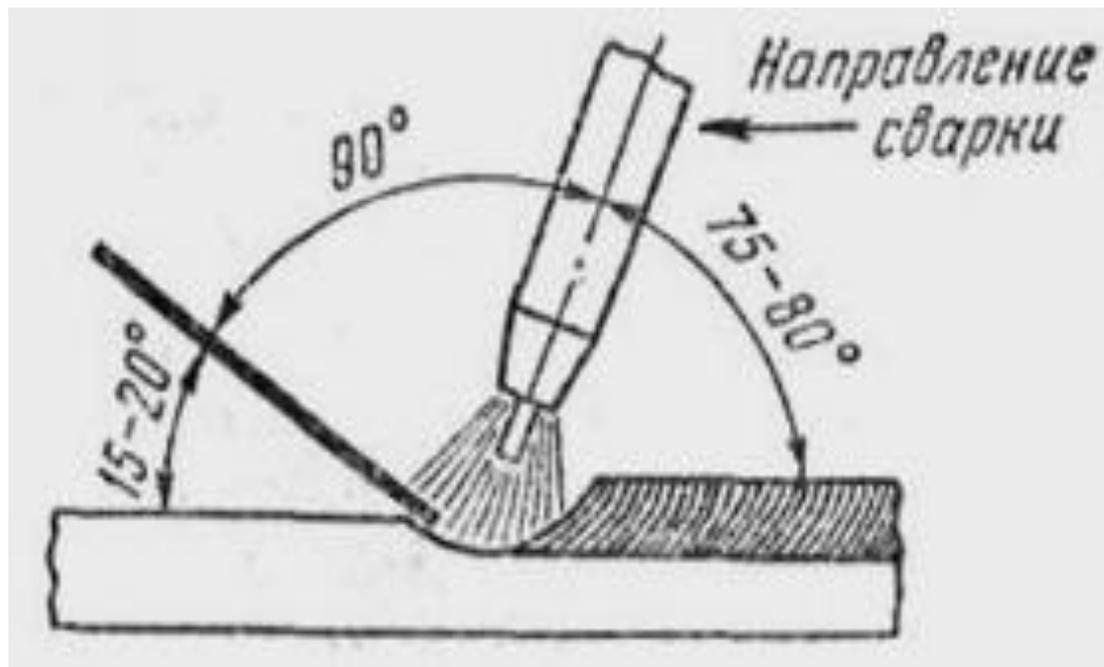
При $\delta > 3 \text{ мм}$ присадочный металл подают в дугу в виде тонкой проволоки диаметром от 0,5 до 2,5 мм



УрФУ

Кафедра Технологии сварочного производства

При ручной TIG сварке без присадки (по отбортовке) или с присадкой в один проход горелку перемещают с наклоном «углом вперед». Угол наклона горелки к плоской поверхности детали около 60° . Присадочная проволока подается под возможно меньшим углом к плоской поверхности детали.



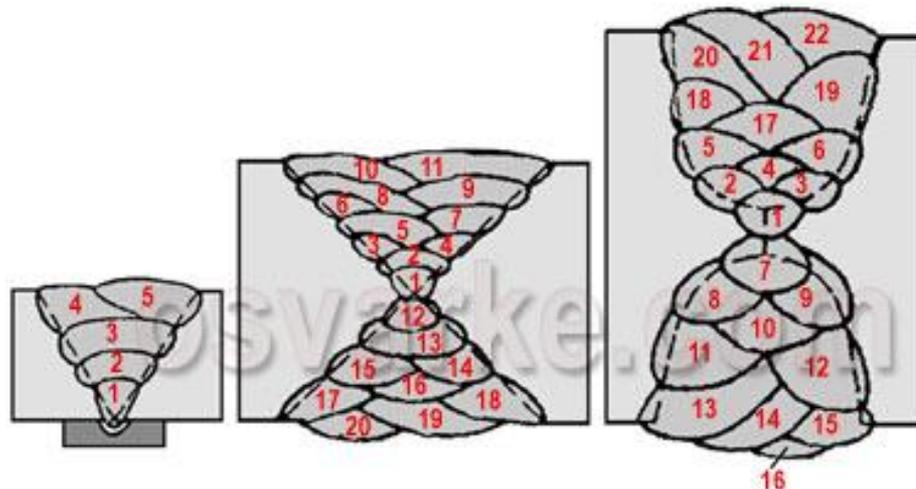
При механизированной или автоматической TIG сварке горелка располагается под прямым углом к поверхности детали, а присадочная проволока подается таким образом, чтобы конец проволоки опирался на край сварочной ванны; скорость подачи от 4—6 до 30—40 м/ч в зависимости от толщины материала.

MIG сварку используют для материала толщиной более 3 мм.

Применяют источники постоянного тока с жесткой ВАХ с током обратной полярности, что обеспечивает разрушение окисной пленки за счет **катодного распыления** и нормальное формирование швов.

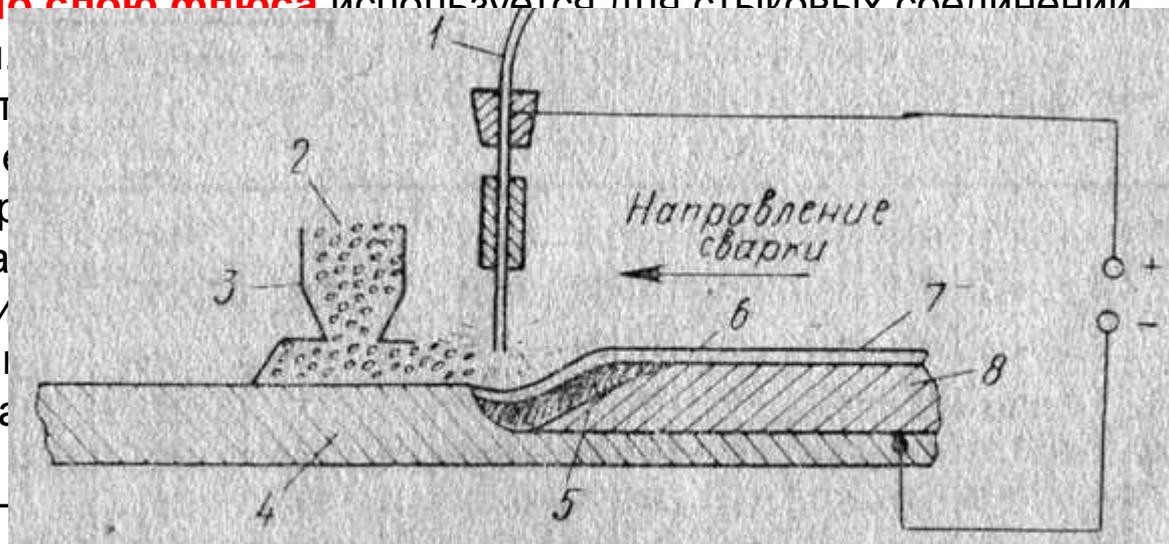
Сварку можно выполнять в полуавтоматическом или автоматическом режиме на подкладках с формирующей канавкой.

Импульсно-дуговая MIG сварка расширяет возможность сварки при различных пространственных положениях. При этом улучшается формирование швов, регулируется время пребывания металла сварочной ванны в расплавленном состоянии



Автоматическая сварка по слою флюса

используется для стыковых соединений металла толщиной от 4 мм. Тонкого слоя флюса достаточно для образования оксидной пленки. Применяют флюсы, которые шунтируют дугу при ее погружении в флюс. Например, AN-A1 - для технического алюминия и магниевых сплавов. Для них используют флюсы, содержащие Ni и Mg из флюса восстанавливаются газы, что способствует пористости и снижению пластичности.



Постоянный ток обратной полярности.

Насыпная высота флюса строго устанавливается для каждой толщины металла, например для $\delta = 25$ мм она равна 16 мм. Если высота флюса будет взята больше оптимальной, то возможен переход электродугового процесса в электрошлаковый, и тогда сварное соединение получить невозможно.

Весьма существенным недостатком способа сварки по слою флюса является значительное выделение пыли и вредных газов, во много раз превышающих норму.

Сварку ведут часто **расщепленным** электродом. В конструкциях, работающих в коррозионных средах, после сварки необходимо тщательно удалять остатки флюса.

Сварка алюминия и его сплавов

Для соединения алюминия используют процесс автоматической дуговой сварки под флюсом с пониженной электропроводностью.

Например, ДА-64:

30 — 44% криолита (Na_3AlF_6),

48—38% хлористого калия,

19—15% хлористого натрия,

3—3,5% кварцевого песка.

Флюс замешивают на водном растворе карбоксилметилцеллюлозы (целлюлозогликолевая кислота, $[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_3-x(\text{OCH}_2\text{COOH})_x]$) (14—10% массы шихты), протирают через сито и прокаливают при 280—320 °С в течение 6 ч.

Сварку ведут чаще **расщепленным** электродом. В конструкциях, работающих в коррозионных средах, после сварки необходимо тщательно удалять остатки флюса.

При плазменной сварке (сжатой дуге) концентрация энергии в пятне нагрева высокая, что делает этот вид сварки перспективным для соединения алюминиевых сплавов.

Преимуществом плазменной сварки является высокая скорость, значительное уменьшение ЗТВ, стабильность процесса, благодаря чему не требуется контроль и поддержание постоянства длины дуги, что облегчает выполнение ручной сварки.

При плазменной сварке, в связи с глубоким проплавлением, резко увеличивается доля основного металла в формировании шва. Однако при этом необходимо соблюдать точность сборки деталей под сварку и ведения горелки по стыку. Для алюминиевых сплавов необходимо применять плазменную сварку с питанием дуги переменным током.

С помощью микроплазмы можно сваривать толщины 0,2—1,5 мм при силе тока 10—100 А. При микроплазменной сварке применяют аргон и гелий. Гелий, дополнительно сжимая дугу, делает ее пространственно устойчивой. Сварочные горелки рассчитаны на применение лантанированных вольфрамовых электродов диаметром 0,8—1,5 мм.

Электрошлаковая сварка

Электрошлаковая сварка алюминия и его сплавов выполняется для толщин от 50 до 250 мм и более.

Ведется на переменном токе плавящимися мундштуками или пластинчатыми электродами, с использованием флюсов на основе галогенидов щелочноземельных и щелочных металлов (например, АН-301 и АН-302).

Шов формируется с помощью медных водоохлаждаемых или графитовых кристаллизаторов.

Скорость сварки 6–8 м/ч.

Получаемые соединения имеют прочность, равную 80–100% прочности основного металла.

ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия

Силумины (Al-Si-Zn: АК-19, АК-9, АК7Ц9) перед сваркой подогревают до 200-250°C, а после сварки выполняют отжиг при температуре 300-350°C с последующим медленным охлаждением. Сварные швы проковывают легкими ударами в холодном состоянии

Дуралюмины (Al-Zn-Mg-Cu-Mn: Д16, Д20, В95) при сварке сильно разупрочняются, однако при соответствующей термообработке можно довести прочность шва до 80% прочности основного металла. Применяют длительный гомогенизирующий отжиг при 460°C (до 24 часов) с последующей проковкой, старение.

После отжига (нагрева до температуры около 500 °C и охлаждения) становится мягким и гибким (как алюминий). После старения (естественного — при 20 °C — несколько суток, искусственного — при повышенной температуре — несколько часов) становится твёрдым и жёстким.

УрФУ

Кафедра Технологии сварочного производства



Сварка алюминия и его сплавов