

Раздел 1. СВАРИВАЕМОСТЬ (ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ).

1.6 Алюминий и сплавы на его основе

Алюминий — пластичный, хладостойкий и легкий металл (γ - 2,7 г/см³) с высокой электро- (65 % от меди) и теплопроводностью. В ряде агрессивных сред он коррозионностоек, благодаря образующейся на поверхности изделия пленке диоксида алюминия Al_2O_3 .

В промышленности чистый алюминий имеет ограниченное применение вследствие низкой прочности ($\sigma_{\text{в}} \leq 100$ МПа) и используется при изготовлении малонагруженных изделий, к которым в основном предъявляются требования по коррозионной стойкости, хладостойкости и др. Химический состав и маркировка первичного алюминия (в чушках, слитках, катанке) регламентирует ГОСТ 11069-74. Система маркировки первичного алюминия отражает максимально допустимое содержание примесей в каждой марке. Первичный алюминий обозначают буквой А и цифрами, которые соответствуют требуемому содержанию алюминия в данной марке сверх 99 %. Например, обозначение А5 означает, что минимальное содержание алюминия составляет 99,5 %, а содержание примесей не более 0,5 %. Марки алюминия с дополнительным индексом Е (А5Е, А7Е) применяют при производстве кабелей, токопроводящих изделий и т. д., в которых содержание железа должно быть не менее 0,18 %, а сумма всех примесей не более 0,5 %.

В качестве конструкционных материалов в основном используют полуфабрикаты из алюминиевых сплавов. Все сплавы на основе алюминия можно разделить на две основные группы: деформируемые (предназначенные для получения поковок, штамповок, листов, профилей и труб) и литейные. Деформируемые сплавы имеют концентрацию легирующих элементов меньше предела растворимости, что при нагреве обеспечивает их высокую деформационную способность. Литейные сплавы имеют концентрацию легирующих элементов выше предела растворимости и содержат в структуре эвтектику, что придает им хорошие литейные свойства (жидкотекучесть), но ухудшает их деформационную способность. Деформируемые сплавы в свою очередь по способности упрочняться термообработкой делятся на термически неупрочняемые и термически упрочняемые.

В зависимости от количества допускаемых примесей деформируемый алюминий разделяется на алюминий высокой чистоты и технической. Марки деформируемого алюминия обозначают буквами АД (алюминий деформируемый) или буквами и цифрами АДОО, АДО, АД1, которые характеризуют его чистоту, но не отражают количественного содержания допускаемых примесей. Наиболее чистым является технический

алюминий АДООО (сумма примесей не более 0,2 %), а наименее чистым - марка АД (сумма примесей не более 1,2 %).

Деформируемые алюминиевые сплавы не имеют единой четкой системы маркировки.

Сплавы, не упрочняемые термической обработкой (алюминиево-марганцевый сплав АМц и группа сплавов системы Al-Mg), маркируются, как это принято для бронз, т. е. обозначение марок состоит из первоначальных букв русских названий элементов, составляющих сплав. За буквами следуют цифры, соответствующие среднему содержанию основного легирующего элемента. Например, марки АМг1, АМг3 и АМгб означают, что в этих марках алюминиево-магниевых сплавов среднее содержание магния составляет 1, 3 и 6 %. Существует также ряд марок сплавов алюминия с медью и магнием, которые обозначаются буквой Д. За буквами следуют цифры (например, Д1, Д16, Д18), которые не связаны с количеством в сплавах меди и являются просто порядковыми номерами сплава.

Существует также другое условное обозначение марок деформируемых сплавов, состоящее из букв и цифр, не связанных с химическим составом сплава или другими свойствами (ММ, В65 и др).

Согласно ГОСТ 4784-74 деформируемые алюминиевые сплавы обозначают с помощью цифровой системы, в которой каждой марке присвоен четырехзначный номер. Например, для алюминия марки АД — номер 1015, а для сплава Д1 номер 1110 и т.д.

В зависимости от состояния поставки сплавов на основе алюминия ГОСТ 21631-76 вводит дополнительную маркировку: Н — нагартованные; Н2 — полунагартованные; М — отожженные; Т — закаленные и естественно состаренные; Т1 — закаленные и искусственно состаренные. Сплавы без термической обработки не имеют дополнительных условных обозначений.

Термически упрочняемые деформированные сплавы можно разделить на несколько групп:

- сплавы системы Al-Cu-Mg (дуралюмин, дюралюмин, дюралюминий, дюраль) характеризуются средними показателями прочности на уровне $\sigma_b = 460$ МПа; $\sigma_{0,2} = 280-300$ МПа, $\delta = 15 \div 17$ %. Важнейшие из них (Д1, Д16, Д19, ВД1, ВД17, М40) слабо чувствительны к действию повторных статических и вибрационных нагрузок, мало склонны к коррозии под напряжением, но имеют пониженную общую коррозионную стойкость;
- сплавы системы Al-Cu-Mg-Si (авиали) АВ, АД31, АД33, АД33, АК6-1 и АК8 характеризуются хорошими литейными свойствами и высокой пластичностью в горячем состоянии;

- сплавы на основе системы Al-Cu-Mg-Fe-Ni — АК2, АК4, АК4-1;
- сплавы системы Al-Cu-Mn: Д20, Д21 и ВАД-23 (Al-Cu-Mn-Li-Cd) имеют среднюю прочность (до 400 МПа). Они отличаются довольно высокой жаропрочностью при 200-250 °С. У них понижена общая коррозионная стойкость (особенно в зоне расположения сварных соединений);
- сплавы на основе системы Al-Zn-Mg-Cu: В93, В95, В96, В94;
- сплавы на основе системы Al-Mg-Zn: В92, В92Ц, АЦМ.

Из всех перечисленных выше сплавов к свариваемым можно отнести все марки алюминия высокой и технической чистоты (АДО, АД1 и др.), термически неупрочняемые сплавы (АМц, АМг1 — АМгб), термически упрочняемые (АВ, АД31, АД33, АД33, М40, Д20, ВАД1, В92Ц и др.).

Химический состав и обозначение марок литейных алюминиевых сплавов регламентирует ГОСТ 1583-89. Химический состав некоторых деформируемых и литейных сплавов на основе алюминия, механические свойства, основные марки отечественных сплавов на основе алюминия и их соответствующие зарубежные аналоги приведены в приложении. По системе легирования литейные алюминиевые сплавы разделяют на: Al-Si-Mg; Al-Si-Cu; Al-Cu; Al-Mg и Al — прочие компоненты. Марки литейных сплавов обозначаются буквами АЛ и цифрами (например АЛ4, АЛ8 и др.). В ГОСТ 1583-89 для ряда сплавов сохранена маркировка, принятая в соответствии с другими стандартами и ТУ. Некоторые марки алюминиевых сплавов обозначают буквами названий основных легирующих элементов и цифрами, указывающими среднее содержание их в сплаве. Например, марка АК5М7 означает, что сплав содержит 5 % кремния и 7 % меди, остальное алюминий. Кроме стандартных марок, регламентированных ГОСТ 1583-89, в промышленности применяют нестандартные сплавы, изготавливаемые согласно ведомственным ТУ и ОСТ.

Свариваемость алюминия и алюминиевых сплавов. В сварных конструкциях алюминий и его сплавы используют в виде листов, труб, профилей, поковок, штамповок и проволоки. Основной проблемой при сварке алюминия и его сплавов, определяющей их свариваемость, является очень большая химическая активность алюминия. Он взаимодействует с кислородом и образует диоксид алюминия Al_2O_3 (температура плавления 2050 °С), в результате на поверхности сварочной ванны возникает плотная пленка, препятствующая сплавлению наплавленного металла с основным. При многослойной сварке пленка может располагаться между отдельными валиками, а также образовывать шлаковые включения в сварных швах. Высокое сродство алюминия с кислородом исключает

возможность удаления пленки в процессе сварки за счет раскисления металла в сварочной ванне, поэтому приходится применять другие способы ее разрушения и удаления.

Отрицательное влияние на свариваемость алюминия и его сплавов оказывает их высокая склонность к пористости. Установлено, что основной причиной образования пор в швах является водород, который растворяется в металле сварочной ванны и медленно выделяется при ее охлаждении. Растворимость водорода резко снижается при кристаллизации металла. Он не успевает выделиться из сварочной ванны и образует поры в металле шва. Создаваемое в них большое давление может привести к образованию кристаллизационных трещин в сварных швах (особенно в термически упрочняемых сплавах). Основным источником водорода в металле шва является влага, адсорбированная поверхностью основного и электродного металлов и содержащаяся в гидратированной оксидной пленке.

Для снижения содержания водорода используют ряд технологических мероприятий:

- травление свариваемых деталей в растворе кислоты или едкого натра;
- выдержка обезвоженных деталей перед сваркой более 3 суток;
- исключение сварки на интенсивно охлаждаемых медных подкладках, имеющих на поверхности адсорбированную влагу;
- подогрев детали, что увеличивает длительность пребывания сварочной ванны в расплавленном состоянии и способствует более полной дегазации металла;
- ограничение содержания водорода в основном и присадочном металле с помощью технологий плавки и рафинирования.
- В ходе проведенных в последнее время исследований установлено, что существенное влияние на образование пористости при сварке алюминия оказывают углеводородные соединения, которые диссоциируют в зоне горения дуги на углерод и водород.

На свариваемость алюминия, его сплавов и свойства сварных соединений большое влияние оказывает наличие в них примесей. В первую очередь это железо и кремний, содержащиеся практически во всех промышленных сплавах. Существенное значение имеет не только их количество, но и соотношение между ними, которое влияет на сопротивление образованию трещин, а также на их механические и коррозионные свойства. Если соотношение железа к кремнию в сплаве больше единицы, то они хорошо свариваются без образования трещин. Положительное влияние железа обусловлено тем, что оно связывает кремний и другие элементы в интерметаллиды. В результате исчезает полностью или частично свободный

кремний, и легкоплавкая эвтектика не образуется вовсе или образуется в очень небольших количествах, что не оказывает значимого влияния на прочностные и деформационные характеристики кристаллизующегося металла.

Сплавы системы Al-Mg (АМг1-АМг6) имеют относительно небольшую склонность к образованию горячих трещин при сварке.

Снижение склонности к образованию трещин и пор в металле шва при сварке сплавов системы Al-Mg-Li (1420) достигается за счет оптимизации химического состава сплава и ограничения содержания железа и кремния.

Высокопрочные сплавы системы Al-Si-Mg (АВ, АК6, АК8 и др.) упрочняются при искусственном старении за счет выделения фазы Mg_2Si . Эти сплавы склонны к образованию при сварке горячих трещин, однако, если они модифицированы титаном, то могут быть использованы для изготовления несложных сварных конструкций.

Сплавы системы Al-Cu-Mg (Д1, Д16) обладают высокой склонностью к образованию горячих трещин при сварке. При содержании меди в сплаве Д1 на нижнем уровне и легировании его титаном (до 0,1 %) его свариваемость улучшается.

Сложнолегированные сплавы системы Al-Cu-Mg-Zn (В95) имеют высокую склонность к образованию горячих трещин, необходимые свойства соединений обеспечиваются длительной гомогенизацией. Применение сплавов Д16, АК8 и В95 для сварных конструкций ограничено

Для изготовления сварных конструкций широко используется сплав АМг61, обладающий хорошей свариваемостью.

Некоторые термически упрочняемые сплавы системы Al-Zn-Mg при сварке склонны не только к образованию горячих, но и холодных трещин (задержанному разрушению), появляющихся через некоторое время после сварки. Для предотвращения образования холодных трещин применяется предварительный подогрев, при котором происходит частичное выделение и коагуляция интерметаллических фаз из твердого раствора и снижение сварочных и структурных напряжений.

Сварные конструкции из алюминия и его сплавов склонны к короблению, что обусловлено его высоким коэффициентом теплового расширения.