

17. Сплавы на основе алюминия

11.1. Алюминий и его свойства

Алюминий относится к группе легких металлов с малой плотностью, менее 3 г/см^3 . Вообще алюминий как металл известен очень давно с 1808 года. До 1906 года алюминий применяли в чистом виде, но затем А. Вильм почти случайно нашел способ упрочнения сплава Al-Cu, а предложенный им сплав является и сейчас самым распространенным алюминиевым сплавом (дуралюмин). Этот сплав нашел широкое применение в самолетостроении из-за его высокой прочности и малой плотности (т.е. малого веса).

Наиболее характерные свойства чистого алюминия – небольшая плотность ($\gamma = 2,7$) и низкая температура плавления (660°C). Характерные свойства алюминия – высокая пластичность и малая прочность. Алюминий кристаллизуется в г.ц.к. решетку. Алюминий не имеет аллотропических модификаций, обладает высокой теплопроводностью, электропроводностью и очень высокой скрытой теплотой плавления.

Несмотря на большое сродство к кислороду, алюминий подвергается коррозии на воздухе и в некоторых других средах весьма слабо, что объясняется образованием плотной пленки Al_2O_3 , защищающей металл от дальнейшей коррозии.

Применять алюминий как конструкционный материал из-за его низкой прочности совершенно нецелесообразно, однако некоторые его свойства – высокая пластичность, коррозионная стойкость и электропроводность – позволяет весьма эффективно его использовать. Таким образом, имеются три направления применения технического алюминия:

- 1) высокая пластичность позволяет производить из алюминия глубокую штамповку, прокатку до тонкой толщины (например, алюминиевая фольга для обертки конфет и т.п.);
- 2) высокая электропроводность позволяет применять алюминий для электротехнических целей (проводниковый металл). Провод из алюминия равной электропроводности значительно легче, чем из меди;
- 3) высокая коррозионная стойкость позволяет широко применять алюминий. Алюминий практически весьма устойчив в органических кислотах (отсюда и широкое применение алюминия в быту, для транспортировки и хранения продуктов питания).

11.2. Термическая обработка алюминиевых сплавов

Поскольку чистый алюминий все-таки обладает очень низкой прочностью, его необходимо легировать для повышения конструктивных свойств. Основным упрочняющим легирующим элементом в алюминиевых сплавах является медь. Упрочнение основано на изменении растворимости в результате ТО соединения CuAl_2 в алюминии. Чтобы проследить все превращения, проходящие в дуралюминах, необходимо изучить диаграмму состояния Al-Cu (рис. 11.1).

Как видно из диаграммы, медь растворяется при комнатной температуре в количестве около 0,2 %, а максимальная растворимость при эвтектической температуре 548°C равна 5,7 %. Любой сплав, содержащий до 5,7 % Cu,

можно перевести в однофазное состояние (т.е. вторичные кристаллы соединения CuAl_2 могут быть переведены в α -твердый раствор) соответствующим нагревом. Это состояние можно зафиксировать быстрым охлаждением (в воде). Отметим, что после закалки алюминиевые сплавы будут обладать минимальной прочностью и твердостью, в отличие от закалки углеродистых сталей.

Полученный таким образом твердый раствор при содержании в нем меди более 0,2 % является пересыщенным. В таком пересыщенном и неустойчивом твердом растворе происходят изменения, в конечном итоге приводящие к выделению соединения CuAl_2 и сохранению в растворе лишь соответствующего равновесной системе количества меди (0,2 %). Этот процесс называется *старением*. Если этот процесс происходит при комнатной температуре, то он называется *естественным старением*, а если при повышенной температуре – *искусственным старением*. Таким образом, видно, что ТО алюминиевых сплавов состоит из двух циклов – закалки и старения.

Что происходит при закалке, мы уже рассмотрели. Теперь познакомимся с превращениями, которые происходят при старении алюминиевых сплавов. При естественном старении, как можно предположить, не происходит выделение интерметаллидного соединения CuAl_2 из пересыщенного α -твердого раствора. В процессе естественного старения происходят подготовительные процессы к выделению, само же выделение может произойти лишь при высоких температурах, обеспечивающих достаточную скорость атомным перемещениям (диффузии).

Начальный период старения (назовем его первой стадией) заключается в том, что в пересыщенном твердом растворе атомы второго компонента (в данном случае меди), расположенные в случайных местах, собираются в определенные места кристаллической решетки. В результате этого процесса внутри кристалла образуются зоны повышенной концентрации меди, так называемые *зоны Гинье-Престона* (зоны *ГП*). В этих местах повышенной концентрации меди изменяется параметр решетки (поскольку атомные радиусы меди и алюминия значительно отличаются), что создает большие напряжения в кристалле, что в свою очередь приводит к повышению твердости.

Зоны *ГП* представляют собой тонкие пластинчатые, дискообразные образования толщиной в несколько атомных слоев и протяженностью в несколько десятков атомных слоев. Содержание меди в зонах повышенное, но еще не отвечает формуле CuAl_2 .

Дальнейшее развитие процесса старения заключается в увеличении зон и повышения содержания меди до стехиометрического соотношения. Принято первые маленькие зоны называть зонами *ГП1*, а вторые большие, зонами *ГП2*. Процесс, связанный с образованием зон *ГП*, называют также *зонным старением*. Нужно отметить, что процесс естественного старения на выделении зон *ГП* заканчивается. Дальнейшие превращения уже могут происходить при повышенных температурах или при увеличении выдержки при повышенной температуре. Например, нагрев уже до 100 °С приводит к преобразованию зон *ГП2* в фазу, обозначаемую через θ' . Это уже выделения, т.е. новая

фаза, которая имеет отличную решетку от твердого раствора и от стабильной θ -фазы (CuAl_2), но когерентно связанная с маточным твердым раствором. При дальнейшем повышении температуры θ' превращается в стабильную θ -фазу и происходит ее коагуляция. Искусственное старение по-другому называют *фазовым старением*, поскольку в данном случае происходит выделение новой фазы, отличной от твердого раствора. Необходимо отметить, что образование зон ГП почти всегда приводит к максимальному повышению прочности, а дальнейший распад зон ГП с образованием θ -фазы обуславливает снижение твердости.

11.3. Классификация алюминиевых сплавов

Технические алюминиевые сплавы подразделяются на три группы: деформируемые сплавы, литейные сплавы и алюминиевые сплавы, полученные методом порошковой металлургии.

Деформируемые алюминиевые сплавы разделяются в свою очередь на: упрочняемые ТО и не упрочняемые ТО.

Деформируемые сплавы, не упрочняемые ТО характеризуются сравнительно невысокой прочностью, высокой пластичностью и коррозионной стойкостью. К рассматриваемой группе сплавов относятся сплавы системы Al-Mn (так называемые сплавы *АМц*) и Al-Mg (сплавы *АМг*). Марганец несколько улучшает коррозионную стойкость алюминиевых сплавов. Поэтому эти сплавы превосходят чистый алюминий более высокой прочностью и коррозионной стойкостью. Магний является полезным легирующим элементом. Не считая повышения коррозионного сопротивления, магний уменьшает плотность алюминиевого сплава, повышает прочность, не снижая пластичности.

Маркировка и состав приведем в виде таблицы (рис. 11.2).

Дуралюмин – наиболее распространенный представитель группы алюминиевых сплавов, применяемых в деформированном виде и упрочняемый ТО.

Маркировка и состав приведем в виде таблицы (рис. 11.3).

Способы упрочнения дуралюмина мы уже рассмотрели. Конкретные режимы: закалка с 500 °С в воде с последующим естественным или искусственным старением. Серьезный недостаток дуралюмина – низкая коррозионная стойкость. Наиболее распространенный способ защиты его от коррозии – плакирование чистым алюминием.

Ряд деталей из алюминиевых сплавов изготавливают ковкой. Кроме высоких механических свойств, от сплава требуется и хорошая пластичность в горячем состоянии. В таких случаях применяют очень близкие по составу к дуралюмину сплавы (АК6, АК8 и др.) (рис. 11.4).

Кроме деформируемых сплавов на основе алюминия изготавливают литейные сплавы – *силумины* (сплавы с большим содержанием кремния).

Двойные алюминиикремнистые сплавы слабо упрочняются в результате закалки и старения, но механические свойства этих сплавов можно существенно повысить при помощи особой обработки в жидком состоянии. Обычный силумин содержит 12...13 % кремния и по структуре является за-

эвтектическим сплавом. Структура такого сплава состоит из игольчатой грубой эвтектики $Al + Si$ и включений первичного кремния. Но если перед самой отливкой внести в сплав незначительное количество натрия или его солей, то структура резко изменится. Сплав становится доэвтектическим, структура его состоит из светлых первичных выделений алюминия и мелкозернистой эвтектики. Этот процесс называется модифицированием. Введение модификатора затрудняет кристаллизацию кремния. В результате температура выделения кремния и кристаллизации эвтектики понижается (**рис. 11.5**).

Измельчение структуры и отсутствие первичных выделений хрупкого кремния улучшают механические свойства. Так, например, немодифицированный сплав с 13 % Si имеет $\sigma_b = 140$ МПа при $\delta = 3$ %. После модифицирования свойства этого сплава следующие: $\sigma_b = 180$ МПа, $\delta = 18$ %. Состав и маркировка литейных алюминиевых сплавов приведены в таблице (**рис. 11.6**).