

Практическое занятие

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

1 Цель работы

1.1 Ознакомление с составом, классификацией, маркировкой, термической обработкой, свойствами и областями применения алюминиевых сплавов.

1.2 Изучение влияния термической обработки на свойства дурашомина.

15.2 Общие сведения

2.1 Свойства алюминия

Алюминий представляет собой серебристо-белый пластичный материал. Важнейшее свойство алюминия - небольшая плотность 2700 кг/м^3 , он примерно в три раза легче железа. Температура плавления - $660 \text{ }^\circ\text{C}$, удельное электрическое сопротивление $z, 6 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, коэффициент линейного расширения в интервале температур $20-100 \text{ }^\circ\text{C}$ составляет $\alpha = 23,9 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Механические свойства алюминия невысоки: сопротивление на разрыв $50-90 \text{ МПа}$, относительное удлинение - $25-45 \%$, твердость $13-28 \text{ НВ}$, высокая пластичность (максимальная пластичность достигается отжигом при температурах $350-410 \text{ }^\circ\text{C}$) этого металла позволяет прокатывать его в очень тонкие листы (фольга имеет толщину до $0,003 \text{ мм}$). Алюминий хорошо сваривается, однако трудно обрабатывается резанием, имеет большую линейную усадку - $1,8 \%$. Кристаллическая решетка алюминия — гранцентрированный куб.

Алюминий обладает высокой химической активностью и одновременно исключительной коррозионной стойкостью. На воздухе он покрывается тонкой, но очень прочной беспористой оксидной пленкой Al_2O_3 , надежно защищающей металл от дальнейшего окисления. Чем алюминий чище, тем выше его коррозионная стойкость, пластичность, электро- и теплопроводность и тем ниже прочность и твердость. Так, литой алюминий высокой чистоты марки А995 (суммарное количество примесей $0,005 \%$) имеет предел прочности при растяжении 50 МПа , относительное удлинение 45% , твердость по Бринеллю 15 НВ . У алюминия марки АО (сумма примесей 1%) те же характеристики соответственно равны 90 МПа , 30% и 25 НВ .

Из-за низких прочностных свойств алюминий применяют лишь для не нагруженных деталей и элементов конструкций, когда от материала требуется легкость, коррозионная стойкость, пластичность, свариваемость.

2.2 Сплавы алюминия

В настоящее время алюминиевые сплавы являются важнейшим конструкционным материалом летательных аппаратов. В качестве основных легирующих элементов в алюминиевых сплавах применяют Si , Mg , Si , Mn , Zn , несколько реже используют Ni , Li , Ti , Be , Zr и др.

Промышленные алюминиевые сплавы базируются на ряде многокомпонентных систем: Al-Si , Al-Mg , Al-Cu , Al-Cu-Mg , Al-Cu-Mn , Al-Cu-Li , Al-Mg-Si , Al-Be-Mg , Al-Zn-Mg-Cu , Al-Mg-Si-Cu и др.

Для физико-химического взаимодействия алюминия с легирующими элементами характерна низкая (за исключением Zn), зависящая от температуры, растворимость их в алюминии. В условиях равновесия сплавы состоят из низколегированного твердого раствора и интерметаллидных фаз типа: CuAl_2 (тета-фаза), $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$ (Т-фаза), Al_2CuMg (S-фаза), Mg_2Si , Al_3Mg_2 и других.

2.3 Классификация и маркировка алюминиевых сплавов

Алюминиевые сплавы классифицируют по технологии изготовления (деформируемые, литейные, порошковые), способности к упрочнению термической обработкой (упрочняемые и неупрочняемые) и свойствам (жаропрочные, ковочные, высокопрочные, сплавы для заклепок и др.).

Действующий в настоящее время стандарт (ГОСТ 1583-93) на литейные алюминиевые сплавы предусматривает их деление на пять групп:

- сплавы на основе системы алюминий - кремний ^ магний;
- сплавы алюминий - кремний - медь;
- сплавы алюминий - медь;
- сплавы алюминий - магний;
- сплавы на основе системы алюминий - прочие компоненты.

Стандартом (ГОСТ 4784-97) предусмотрены марки алюминиевых деформируемых сплавов:

- системы алюминий-медь-магний и алюминий - медь - марганец:
Д1, 1110 (AlCu4Mg1); Д16, 1160 (AlCuMg1); В65; 1165; Д19; 1190, АК4; 1140; АК.6, 1360, АК8, 1380 (AlCu4SiMg); и др.;
- марки алюминиевых сплавов системы алюминий - марганец:
ММ, 1403, (AlMnMg0,5), АМц, 1400 (AlMnCu) и др.;
- марки алюминиевых сплавов системы алюминий - магний:
АМг0,5, 1505; АМг1, 1510 (AlMg1); АМг2, 1520 (AlMg2), АМг3, 1530 АМг4,0, 1540 (AlMg4), АМг5, 1550; АМг6, 1560;
- марки алюминиевых сплавов системы алюминий - магний- кремний:
АД31, 1310 (AlMgOJSi), АД33, 1330 (AlMg1SiCu), АД35, 1350 (AlSiMgMn); АВ, 1340 и др.;
- марки алюминиевых сплавов системы алюминий - цинк - магний:
1915 (AlZn4,5Mg1,5Mn); 1925 (AlZnMg1,5Mn); В95, 1950 (AlZn5,5MgCu);

- марки алюминиевых сплавов, предназначенных для изготовления проволоки при холодной высадке;

Д111 1117, Д1611, 1167, Д19П, 1197, АМг5П, 1557, В95П, 1957 и др.;

- марки алюминиевых сплавов, предназначенных для изготовления сварочной проволоки:

СвА99, СвА97, СвА95Т, СвА5, СвАМц, СвАМгЗСвАМг5, и др.

Ранее была принята сложная буквенная и буквенно-цифровая система маркировки алюминиевых сплавов.

Деформируемые сплавы обозначают буквами:

Д - дуралюмины, например Д1, Д16, Д19 (приложение А, таблица А.5);

АД - деформируемый алюминий, например АД0, АД1, АДЗ3 (приложение А, таблица А.4);

АК - ковочные алюминиевые сплавы, например АК4-1, АК6, АК8 (приложение А, таблицы А.9, А10);

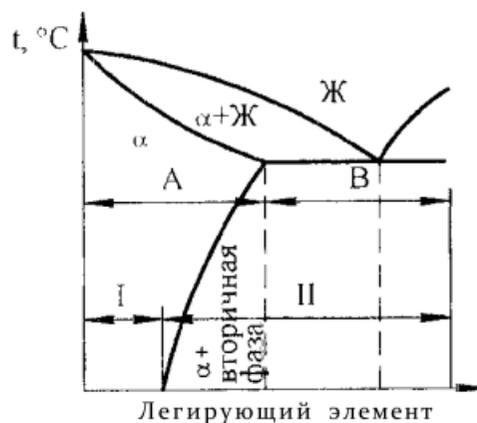
АМг - сплавы алюминия с магнием, например АМг5, АМгб (приложение А, таблица А.1);

АМц - сплавы алюминия с марганцем, (приложение А, таблица А.2);

АВ - авиали, например АВ (приложение А, таблица А.4);

В - высокопрочные сплавы, например В93, В95, В96 (приложение А, таблица А.3).

Основой для разделения сплавов по технологии изготовления и способности к термической обработке являются диаграммы состояния. На рисунке 15.1 представлена схема подобного разделения для двойных и тройных сплавов.



А - деформируемые сплавы; В - литейные сплавы;
I - сплавы неупрочняемые; II - упрочняемые термической обработкой

Рисунок 15.1 - Классификация сплавов

Чистота сплавов по контролируемым примесям (Fe, Si и др.) обозначается буквами: «пч» (повышенной чистоты), «ч» (чистый), «оч» (очень чистый), стоящими после марки сплава.

Состояние деформируемых сплавов, отражающее термическое и термо-механическое воздействие, имеет следующие обозначения: М - мягкий, отожженный; Т - закаленный и естественно состаренный; Т1 - закаленный и искусственно состаренный на максимальную прочность; Н - нагартованный (деформация 1-7 %); Н1 или НН - усиленно нагартованный; ТН - закаленный, естественно состаренный и нагартованный (приложение А, таблицы А.1-А.10).

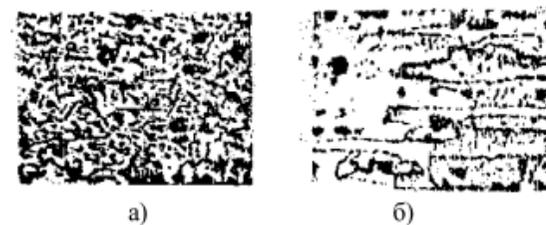
Состояние литейных сплавов, отражающее особенности технологии литейного производства и виды термической обработки, имеет обозначения: З - литье в песчаные формы; В - литье по выплавляемым моделям; О - литье в оболочковые формы; К - литье в кокили; Д - литье под давлением; М - модифицированное литье; Т1 - старение; Т2 - отжиг; Т4 - закалка; Т5 - закалка и частичное старение; Т6 - закалка и полное старение; Т7 - закалка и стабилизирующий отпуск; 18 - закалка и смягчающий отпуск (в приложении А таблицы А.11—А.13).

Марки ряда деформируемых и литейных алюминиевых сплавов, их состав, свойства и примеры возможного применения приведены в приложении.

2.4 Термическая обработка дуралюминов

Дуралюминами называют сплавы на основе системы Al-Cu-Mg с добавками марганца. Большинство промышленных дуралюминов содержат около 4 % Си, до 2,5 % Mg, менее 1 % Мп. Кроме того, в сплавах присутствуют небольшие количества постоянных примесей - Fe и Si (приложение А, таблица А.5).

Структура дуралюминов в отожженном состоянии представлена твердым раствором - альфа легирующих элементов в Al и включениями интерметаллидных фаз: SiAl_2 (тета-фаза), CuMgAl_2 (S-фаза), Cu_2AlFe (N-фаза), Mg_2Si и других (рисунок 15.2а).



а - после отжига; б - после закалки

Рисунок 15.2 - Микроструктура сплава Д16

Упрочнение дуралюминов достигают закалкой и последующим старением. Для обоснования выбора температуры закалки, а также для объяснения превращений, протекающих в сплавах при термообработке, можно в первом приближении использовать диаграмму состояния Al-Cu (рисунок 15.3), поскольку в дуралюминах медь является главным легирующим элементом.

Из диаграммы видно, что растворимость меди в алюминии зависит от температуры и меняется от 0,5 % при 20 °С до 5,7 % при температуре эвтектики (548 °С). Следовательно, существует предпосылка возможности перевода двухфазных (состоящих из альфа-фазы и вторичных кристаллов CuAl_2) сплавов с концентрацией Си до 5,7 % нагревом в однофазное состояние (альфа-твердый раствор) и последующей фиксации его быстрым охлаждением.

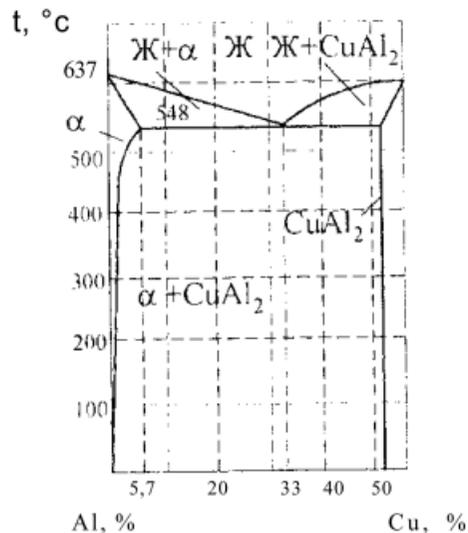


Рисунок 15.3 - Диаграмма состояния алюминий-медь

При перегреве дуралюминов до температур закалки (500 ± 5 °С) Mg_2Si -, тета- и S-фазы растворяются в алюминии. После охлаждения в холодной воде структура закаленного сплава состоит из твердого раствора альфа с включениями малорастворимой при нагревании N-фазы (см. рисунок 15.3).

Свежезакаленные дуралюмины имеют невысокую твердость и прочность, но повышенную пластичность, линии, несколько сниженную по сравнению с отожженным состоянием.

Пересыщенный по отношению к равновесному (отожженному) состоянию сплав является метастабильным и при длительном пребывании в области нормальных температур (естественном старении) или при сравнительно непродолжительном

должительном нагреве (искусственном старении) изменяет свое состояние, приближаясь к равновесному.

Превращения при старении приводят к значительным изменениям свойств сплава: возрастают прочность и твердость при заметном понижении пластичности (рисунок 35.4).

В процессе старения, на его начальной стадии, атомы легирующих элементов (в сплавах системы Al-Cu - атомы меди), расположенные в свежезакаленном сплаве случайно, собираются в определенных местах кристаллической решетки, образуя участки с резко повышенной концентрацией растворенного компонента, называемые зоны Гинье-Престона (зоны Г-П). В результате естественного старения образуются зоны толщиной от 0,5 до 1 мкм и протяженностью от 3 до 6 нм (их называют зоны Г-П-1), вызывая упрочнение сплава.

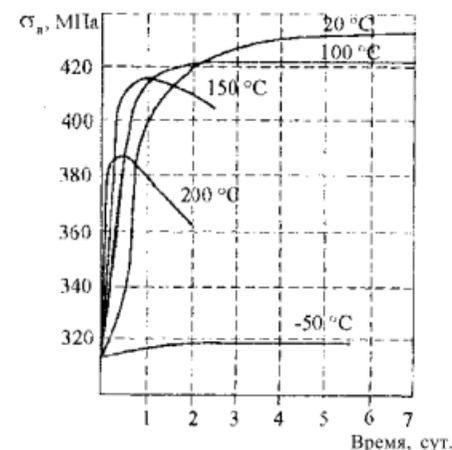


Рисунок 15.4 - Изменение прочности сплавов системы Al-Cu в зависимости от температуры и продолжительности старения

Если естественно состаренный сплав подвергнуть кратковременному нагреву до температуры 250-270 °С, то зоны Г-П растворятся и сплав возвратится в свежезакаленное состояние с характерными для него свойствами (низкой твердостью и высокой пластичностью). Это явление получило название возврат.

После возврата сплав может быть вновь упрочнен при естественном или искусственном старении.

При искусственном старении зоны Г-П укрупняются, достигая от 1 до 4 нм по толщине и от 20 до 30 нм по протяженности (зоны Г-П-2). Концентрация меди в них приближается к стехиометрическому соотношению в соединении CuAl_2 .

Дальнейшее развитие процессов искусственного старения приводит к преобразованию зон Г-П-2 в частицы промежуточной тета-фазы, имеющей такой же химический состав, как тета-фаза, но с отличной от нее кристаллической решеткой, когерентно связанной с α -твердым раствором. При дальнейшем повышении температуры: тета-фаза обособливается от твердого раствора и превращается в стабильную коагулирующую тета-фазу.

Таким образом, различают два вида старения: зонное, связанное с образованием только зон Г-П, и фазовое, при котором возникают метастабильные и стабильные фазы.

Скорость искусственного старения сильно зависит от температуры (см. рисунок 15.4): повышение температуры ускоряет процесс. Однако в сплавах системы Al-Cu с 3-5 % меди получаемая при этом максимальная прочность тем ниже, чем выше температура старения. Наибольшее упрочнение получают при естественном старении в результате образования зон Г-П-1.

Следует отметить, что не всегда максимум прочности достигается естественным старением, более того, во многих высокопрочных сплавах естественное старение не протекает вообще. В более сложных по химическому составу сплавах наибольшая прочность наблюдается при искусственном старении в результате образования метастабильных фаз (см. приложение А, таблица А.4, сплавы на основе системы Al-Mg-Si).

3 Порядок выполнения работы

3.1 Ознакомьтесь со всеми разделами методических указаний.

3.2 Проведите закалку шести образцов дуралюмина (температура закалки 500 ± 5 °С, продолжительность пребывания образцов в печи - 30 мин, охлаждение в воде). Определите твердость HRB образцов до и после закалки.

3.3 Проведите искусственное старение закаленных образцов при температуре 250 °С в течение 1, 3, 5, 10, 15 и 30 мин. Измерьте твердость HRB состаренных образцов.

3.4 Проведите термическую обработку "возврат" естественно состаренных образцов, температура нагрева 250°С, время 3 мин. Измерьте твердость HRB образцов до и после возврата.

3.5 Рассмотрите микроструктуры отожженных, закаленных* искусственно и естественно состаренных образцов.

4 Содержание отчета

4.1 Цель работы.

4.2 Краткие сведения о составе, свойствах, маркировке, термической обработке и применении алюминиевых сплавов.

4.3 Краткое описание процессов, протекающих при термической обработке алюминиевых сплавов.

4.4 Результаты экспериментальной работы (марка сплава, режимы термообработки, твердость образцов до и после каждого вида термообработки, график изменения твердости сплава в зависимости от времени старения).

4.5 Рисунки рассмотренных микроструктур образцов.

4.6 Выводы из экспериментальной работы.

5. Контрольные вопросы

5.1 Какими свойствами обладает алюминий?

5.2 Как маркируют алюминий?

5.3 Какие постоянные примеси содержит алюминий?

5.4 Как классифицируют алюминиевые сплавы?

5.5 Какие компоненты обычно используют для легирования алюминиевых сплавов?

5.6 Как маркируют литейные алюминиевые сплавы?

5.7 Какие сплавы называют силуминами?

5.8 Как маркируют деформируемые алюминиевые сплавы?

5.9 Какой упрочняющей термообработке подвергают дуралюмины?

5.10 Что такое старение?