

## Термическая обработка алюминиевых сплавов

### СОДЕРЖАНИЕ

- Введение
- Закалка алюминиевых сплавов
- Старение закаленных сплавов
- Структурное упрочнение
- Гомогенизационный отжиг
- Рекристаллизационный отжиг
- Отжиг для разупрочнения сплавов, прошедших закалку и старение
- Литература

### Введение

Для упрочнения алюминиевых сплавов применяют закалку и старение. Для устранения неравновесных структур и деформационных дефектов строения, снижающих пластичность сплава, применяют отжиг.

### Закалка алюминиевых сплавов

Закалка заключается в нагреве сплавов до температуры, при которой, избыточные интерметаллидные фазы полностью или большей частью растворяются в алюминии, выдержке при этой температуре и быстром охлаждении до комнатной температуры для получения пересыщенного твердого раствора. Например, температура закалки сплавов системы Al-Cu (рис.1) определится линией *abc*, проходящей выше линии предельной растворимости для сплавов, содержащих меньше 5,7 % Cu, и ниже эвтектической линии (548 °C) для сплавов, содержащих большее количество Cu. При нагреве под закалку сплавов, содержащих до ~ 5 % Cu, избыточная фаза CuAl<sub>2</sub> полностью растворяется, и при последующем быстром охлаждении фиксируется только пересыщенный α-твердый раствор, содержащий столько меди, сколько ее находится в сплаве (рис.2в). При старении более 5 % Си в структуре сплавов после закалки будет пересыщенный α-твердый раствор состава, отвечающего точке *b*, и нерастворенные при нагреве кристаллы соединения CuAl<sub>2</sub>. Время выдержки при температуре закалки, необходимое для растворения интерметаллидных фаз, зависит от структурного состояния сплава, типа печи и толщины изделия. Листы, плиты, прутки, полосы толщиной 0,5–150 мм выдерживают нагрев в селитровых ваннах 10–80 мин, а в наиболее широко применяемых для этой цели электронагревателях с принудительной циркуляцией воздуха – 30–210 мин. Выдержка фасонных отливок при температуре закалки более длительная (2–15 ч). За это время выдерживаются грубые выделения интерметаллидных фаз (рис.2а). Охлаждение деформированных сплавов при закалке производят в холодной воде, а фасонных отливок – в подогретой воде (50–100 °C) во избежание их коробления и образования трещин. После закалки сплавы имеют сравнительно невысокую прочность σ<sub>в</sub>, σ<sub>0,2</sub> и высокую пластичность (δ, ψ).

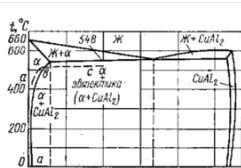


Рис.1. Диаграмма состояния Al-Cu

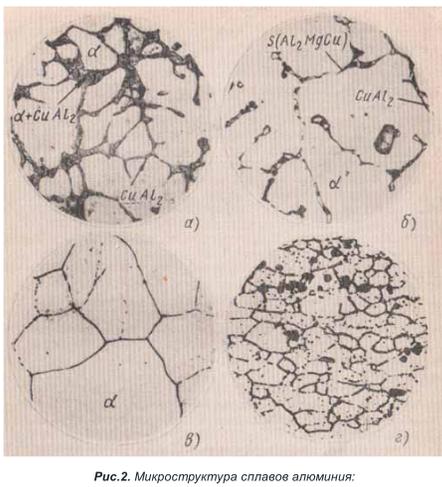


Рис.2. Микроструктура сплавов алюминия:

а – литой сплав Al + 12 % Cu (α-раствор и кристаллы эвтектики α + CuAl<sub>2</sub> и CuAl<sub>2</sub>); б – литой сплав Д16 (α-раствор и кристаллы CuAl<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>MgCu); в – сплав Д16 после закалки (α-фаза); г – сплав Д16 после закалки и старения

### Старение закаленных сплавов

После закалки следует старение, при котором сплав выдерживают при нормальной температуре несколько суток (естественное старение) или в течение 10–24 ч при повышенной температуре (искусственное старение). В процессе старения происходит распад пересыщенного твердого раствора, что сопровождается упрочнением сплава. Распад пересыщенного твердого раствора происходит в несколько стадий в зависимости от температуры и продолжительности старения. При естественном (при 20 °C) или низкотемпературном искусственном старении (ниже 100–150 °C) не наблюдается распада твердого раствора с выделением избыточной фазы; при этих температурах атомы меди перемещаются только внутри кристаллической решетки α-твердого раствора на весьма малые расстояния и собираются по плоскостям (100) в двумерные пластинчатые образования (рис.3а) или диски – зоны Гинье-Престона (ГП–1). Эти зоны ГП–1 протяженностью в несколько десятков ангстрем (30–60 Å) и толщиной 5–10 Å более или менее равномерно распределены в пределах каждого кристалла. Концентрация меди в зонах ГП–1 меньше, чем в CuAl<sub>2</sub> (54 %).

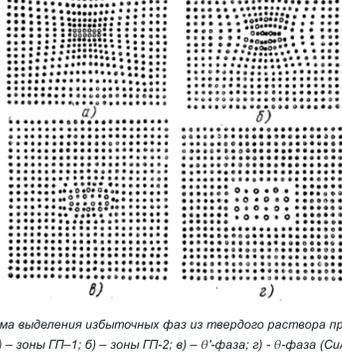


Рис.3. Схема выделения избыточных фаз из твердого раствора при старении:

а) – зоны ГП–1; б) – зоны ГП–2; в) – θ'-фаза; г) – θ-фаза (CuAl<sub>2</sub>)

Если сплав после естественного старения кратковременно (несколько секунд или минут) нагреть до 230–270 °C и затем быстро охладить, то упрочнение полностью снимается, и свойства сплава будут соответствовать свежезакаленному состоянию. Это явление получило название **возврат**. Разупрочнение при возврате связано с тем, что зоны ГП–1 при этих температурах оказываются нестабильными и поэтому растворяются в твердом растворе, а атомы меди вновь более или менее равномерно распределяются в пределах объема каждого кристалла твердого раствора, как и после закалки. При последующем вылеживаниях сплава при комнатной температуре вновь происходит образование зон ГП–1 и упрочнение сплава. Однако после возврата и последующего старения ухудшаются коррозионные свойства сплава, что затрудняет использование возврата для практических целей. Длительная выдержка при 100 °C или несколько часов при 150 °C приводит к образованию зон ГП–2 большей величины (толщина 10–40 Å и диаметр 200–300 Å) с упорядоченной структурой, отличной от α-твердого раствора (рис.3б). Концентрация меди в них соответствует содержанию ее в CuAl<sub>2</sub>. С повышением температуры старения процессы диффузии, а следовательно, и процессы структурных превращений, и самоупрочнение протекают быстрее. Выдержка в течение нескольких часов при 150–200 °C приводит к образованию в местах, где располагались зоны ГП–2, дисперсных (тонкопластинчатых) частиц промежуточной θ'-фазы, не отличающейся по химическому составу от стабильной фазы θ (CuAl<sub>2</sub>), но имеющей отличную кристаллическую решетку; θ'-фаза когерентно связана с твердым раствором (рис.3в). Повышение температуры до 200–250 °C приводит к коагуляции метастабильной фазы и к образованию стабильной θ-фазы (рис.3г).

Таким образом, при естественном старении образуются лишь зоны ГП–1. При искусственном старении последовательность структурных изменений можно представить в виде следующей схемы: ГП–1 → ГП–2 → θ' → θ (CuAl<sub>2</sub>).

Это общая схема распада пересыщенного твердого раствора в сплавах Al-Cu справедлива и для других сплавов. Различие сводится лишь к тому, что в разных сплавах неодинаков состав и строение зон, а также образующихся фаз.

Для стареющих алюминиевых сплавов разных составов существуют и свои температурно-временные области зонного (образование ГП–1 и ГП–2) и фазового (θ' и θ-фаз) старения.

После зонного старения сплавы чаще имеют повышенный предел текучести и относительно невысокое отношение σ<sub>0,2</sub>/σ<sub>в</sub> ≤ 0,6–0,7, повышенную пластичность, хорошую коррозионную стойкость и низкую чувствительность к хрупкому разрушению.

После фазового старения отношение σ<sub>0,2</sub>/σ<sub>в</sub> повышается до 0,9–0,95, а пластичность, вязкость, сопротивление хрупкому разрушению и коррозии под напряжением снижаются.

### Структурное упрочнение

Температура рекристаллизации некоторых сплавов алюминия с марганцем, хромом, никелем, цирконием, титаном и другими переходными металлами превышает обычно назначаемую температуру нагрева под деформацию или закалку, поэтому после закалки и старения таких сплавов в них сохраняется перекристаллизованная (полигонизованная) структура с высокой плотностью дислокаций, что повышает ее прочность по сравнению с рекристаллизованной структурой. Это явление получило название **структурного упрочнения**.

В результате структурного упрочнения значения σ<sub>в</sub>, σ<sub>0,2</sub> повышаются до 30–40 %. Наиболее сильно структурное упрочнение проявляется в прессованных полуфабрикатах (прутки, профили, трубы), поэтому это явление применительно к ним называют **пресс-эффектом**.

### Гомогенизационный отжиг

Этому виду отжига подвергают слитки перед обработкой давлением, для устранения дендритной ликвации, которая приводит к получению неоднородного твердого раствора и выделению по границам зерен и между ветвями дендритов крупных неравновесных эвтектических включений CuAl<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>CuMg (S-фаза), Mg<sub>2</sub>Si, Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>Zn<sub>2</sub> (Т-фаза и др.). В процессе гомогенизации состав кристаллитов твердого раствора выравнивается, а интерметаллиды растворяются. В процессе последующего охлаждения интерметаллиды выделяются в виде равномерно распределенных мелких вторичных включений. Вследствие этого пластичность литого сплава повышается, что позволяет увеличить степень обжатия при горячей обработке давлением, скорость прессования и уменьшить технологические отходы. Гомогенизация способствует получению мелкозернистой структуры в отожженных листах и уменьшает склонность к коррозии под напряжением. Температуры гомогенизации в пределах 450–520 °C, а выдержки от 4 до 40 ч. Охлаждение проводят на воздухе или вместе с печью.

### Рекристаллизационный отжиг

Такой отжиг заключается в нагреве деформированного сплава до температур выше температуры окончания первичной рекристаллизации; применяется для снятия наклепа и получения мелкого зерна. Температура рекристаллизованного отжига в зависимости от состава сплава колеблется от 350 до 500 °C, выдержка 0,5–2,0 ч. После рекристаллизационного отжига сплавов, не упрочняемых термической обработкой, скорость охлаждения выбирают произвольно. Для сплавов, упрочняемых термической обработкой скорость охлаждения до 200–250 °C должна быть ≤ 30 °C/ч. Отжиг в качестве промежуточной операции применяют при холодной деформации или между горячей и холодной деформациями.

### Отжиг для разупрочнения сплавов, прошедших закалку и старение

Этот вид отжига проводят при 350–450 °C с выдержкой 1–2 ч. При этих температурах происходит полный распад пересыщенного твердого раствора и коагуляция упрочняющих фаз. Скорость охлаждения не должна превышать 30 °C/ч. После отжига сплав имеет низкий предел прочности, удовлетворительную пластичность и высокую сопротивляемость коррозии под напряжением.

### ЛИТЕРАТУРА

- Материаловедение / Ю.М. Ляхтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение. 1980. – 493 с.



### Комментарии

26/11/2019 - 13:59

Xaroshaya

Azizov

### Добавить комментарий

Ваше имя

Комментарий \*

Сохранить Предпросмотр

Я - человек

### Наши последние:

- Материалы
- Новости
- Статьи
- Инструкции
- Галереи
- Теории

### Наши популярные:

- Материалы
- Статьи
- Инструкции
- Галереи
- Теории

### Наши разделы:

- Новости сайта
- Авторам
- Архив
- Статистика
- Карта сайта

- Единицы измерения
- Сводные данные
- Сварка
- Пайка
- Механическая обработка
- Термическая обработка
- Химико-терм. обработка
- Материаловедение
- Технология
- Черчение
- Начертательная геометрия
- Математика
- Физика
- все разделы

### Опрос

Какой раздел Вам наиболее интересен?

- Новости
- Статьи
- Форум
- Галерея
- Выставки
- Диафильмы
- Инструкции
- Теория

Голосовать

Результаты Старые опросы

### Галерея

### Сейчас на сайте

Пользователи: 0

Гости: 6

Роботы: 10

### Партнеры

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Новые комментарии

Спасибо за подробную 5 дней 2 часа назад

Дешево и сердито 1 неделя 1 день назад

Ничего вы не понимаете, будет 3 недели 5 дней назад

Очередной распил как лиотех 3 недели 6 дней назад

Aurus Senat S600 подорожал до 1 месяц 1 неделя назад

Спасибо 1 месяц 1 неделя назад

Было очень интересно 1 месяц 2 недели назад

Казахстан не может перейти на 2 месяца 1 неделя назад

Исправлено. 2 месяца 1 неделя назад

В последнее время появились 2 месяца 1 неделя назад