

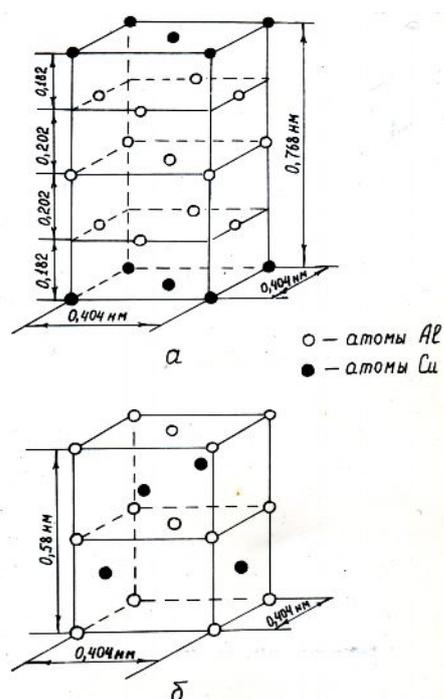
ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ФАЗ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ СТАРЕНИЯ В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ – МЕДЬ

Макалада алюминий – жез эритмелерин электрон-микроскопиялык ыкма аркылуу карытуу процессинде фазанын идентификацияланышы маселеси каралат.

В статье рассматриваются вопросы идентификации фаз, образующихся в процессе старения в сплавах системы алюминий – медь электронно-микроскопическим методом.

The questions of identification of phases, having formed in the process of getting old in aluminum – copper alloys by electro microscopic method.

В сплавах Al–Cu в процессе искусственного старения выделяются две



промежуточные фазы θ'' и θ' (Cu Al_2) /1/. В зависимости от того, какая из этих фаз преобладает в структуре сплава после определенного режима термообработки, существенным образом меняются прочностные свойства, так как выделения θ'' -фазы полностью когерентны матрице, а выделения θ' - только частично. Кроме того, дисперсность выделений этих фаз сильно различается: в двойных сплавах выделения θ' намного грубее /2/.

Рис. 2. Сечение обратной решетки (001) матрицы с рефлексами от выделений θ' -фазы: а – теоретическая электронограмма, построенная графическим путем с 3-мя ориентировками θ' -фазы; б – микродифракционная картина сплава Al + 5,1% Cu + 0,15% Cd, состаренного при 200 °С, 8 ч

Рис. 3. Сечение обратной решетки (001) матрицы с рефлексами от выделений θ'' -фазы: а – теоретическая электронограмма, построенная графическим путем с 3-мя ориентировками θ'' -фазы; б – микродифракционная картина сплава Al + 5% Cu, состаренного при 170 °С, 60 ч

В то же время без определения значений структурных множителей и межплоскостных расстояний идентификация θ'' - и θ' -фаз путем сравнения теоретически построенных и реально полученных электронограмм и их количественный анализ затруднена.

Выделения θ' -фазы, образовавшиеся в результате старения, имеют пластинчатую форму и располагаются в матрице по плоскостям куба типа (100). Выделения растут в направлениях $\langle 100 \rangle$ матрицы, вдоль которых модуль упругости в кубическом кристалле минимален. Таким образом, возможны три ориентировки частиц θ' -фазы: $(001)_\alpha \parallel (100)_\theta$, $(001)_\alpha \parallel (010)_\theta$ и $(001)_\alpha \parallel (001)_\theta$, причем каждая из этих ориентировок θ' -фазы дает свои рефлексы на электронограмме.

На рис. 2, а показана теоретическая электронограмма, построенная графическим путем. Это сечение обратной решетки (001) матрицы, на которую нанесены рефлексы от трех ориентировок выделений θ' -фазы с учетом их ориентационных соотношений с матрицей и условий погасания.

Реальная электронограмма, соответствующая этому сечению обратной решетки

(рис. 2б) при ориентировке фольги (001), осложнена по сравнению с теоретической еще рефлексами, появившимися в результате двойной дифракции электронов. Проведенный расчет реальной электронограммы (рис. 2, б) показал, что межплоскостные расстояния (d), определенные экспериментально по положению рефлексов $(01\bar{1})$, $(\bar{1}01)$ и (002) (рис. 2, а), равны соответственно 0,329; 0,330 и 0,288 нм, угол между векторами обратной решетки θ' -фазы $(01\bar{1})$ и (002) , определенный экспериментально, равен 54° , а расчетный угол между этими плоскостями равен 55° . Сравнение полученных значений d с табличными [2] указывает на совпадение теоретической электронограммы с экспериментальной в случае образования выделений промежуточной θ' -фазы. Выделения промежуточной θ'' -фазы расположены в матрице аналогично выделениям θ' -фазы и имеют те же ориентационные соотношения. На рис. 3 приведены теоретическая и реальная электронограммы в случае образования выделений θ'' -фазы.

Простота реально полученной электронограммы (рис. 3 б) объясняется тем, что для θ'' -фазы рефлексы типа (00ℓ) имеют значительную интенсивность, в то время как рефлексы остальных типов, расположенные в сечении обратной решетки (001) матрицы, имеют гораздо меньшую интенсивность или запрещены структурным фактором.

Использование темнопольной методики исследования позволило подтвердить, что частицы, изображенные на рис. 4, а, б, в, полученные соответственно в рефлексах выделений 1,2,3 (рис. 2, а) принадлежат различным ориентировкам θ' -фазы. На рис. 4, а частицы вытянуты в

направлении $\langle 100 \rangle$, на рис. 4, б - в направлении $\langle 010 \rangle$, а на рис. 4, в лежат в плоскости фольги (001).

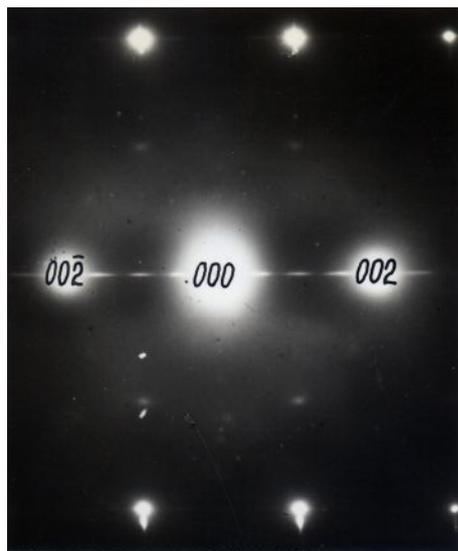
Следовательно, на реально полученных электронограммах при ориентировке фольги (001) расположение рефлексов от θ'' - θ' -фаз различно, что позволяет однозначно идентифицировать эти фазы.

Идентификация θ'' - и θ' -фаз возможна также и в других сечениях обратной решетки матрицы. Для сечений (110) и (310) обратной решетки матрицы построение теоретических электронограмм не проводили, однако в этих сечениях имеются направления $\langle 100 \rangle$ матрицы, вдоль которых расположены рефлексы от θ'' - и θ' -фаз. На рис. 5 показано сечение обратной решетки (310) матрицы, в которой в направлении $\langle 100 \rangle$ расположены рефлексы типа (00ℓ) θ'' - (рис. 5, а) и θ' -фаз. Расположение этих фазовых рефлексов аналогично их расположению в направлениях типа $\langle 100 \rangle$ при ориентировке фольги (001) (рис. 2 и 3), то есть между нулевым узлом (000) и матричным рефлексом (002) в случае выделения θ'' -фазы находятся 3 рефлекса (рис. 5, а, б), а в случае θ' -фазы – 2 рефлекса (рис. 5, в, г). Узел $(001)_\theta$ появляется в результате двойной дифракции электронов. Наличие двух или трех рефлексов типа (00ℓ) объясняется тем, что θ'' – и θ' – фазы, имеющие тетрагональную решетку, отличаются по параметру «с».

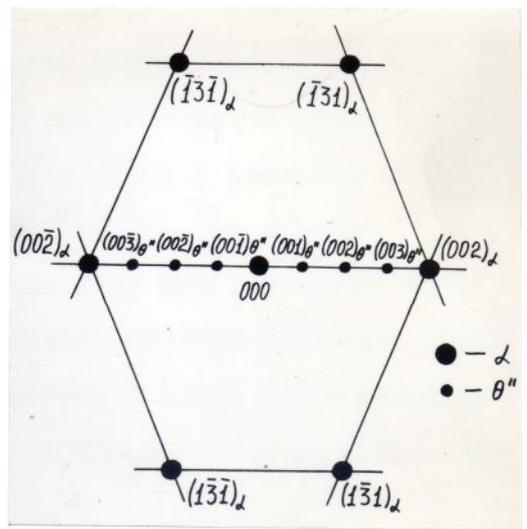
Аналогичная картина наблюдается и в сечении (110) обратной решетки матрицы.

На основании вышеизложенного можно заключить, что идентификация θ'' - и θ' -фаз, образующихся в процессе искусственного старения в сплавах системы Al–Cu, возможна электронно-микроскопическим методом при определенных ориентировках фольги путем сравнения теоретически построенных с реально полученными электронограммами и их количественного анализа.

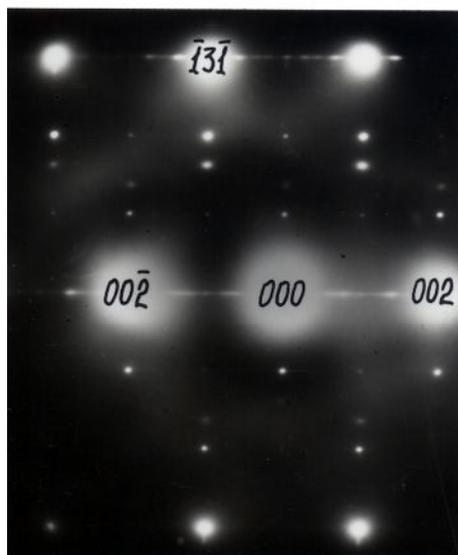




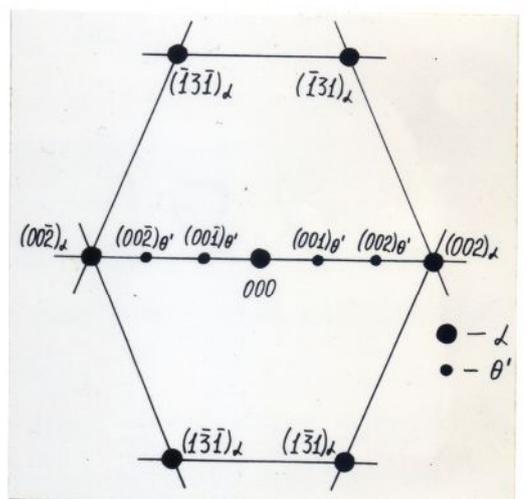
a



б



в



г

Рис. 5. Сечение обратной решетки (310) матрицы: а – микродифракционная картина сплава Al+5% Cu (170 °С, 60 ч) с рефлексами от выделений θ'' -фазы; б – ее схематическое изображение; в – микродифракционная картина сплава Al+5% Cu+0,15% Cd (170 °С, 60 ч) с рефлексами от выделений θ' -фазы; г – ее схематическое изображение

Список литературы

1. Келли А., Никлсон Р. Дисперсионное твердение/ Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1996. - 300 с.
2. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов./ Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1979. – 971 с.
3. Металловедение алюминия и его сплавов: Справочное руководство /Под ред. И.Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 1991. – 352 с.
4. Золоторевский В.С., Бакиров Ж.Т. Электронно-микроскопическое исследование влияния малых добавок на старение высокопрочных литейных сплавов системы Al–Cu //Физика металлов и металловедение. – 1992. - Т. 53. - № 3. – С 560–564.
5. Добромыслов А.В. Рентгенографическое исследование распада пересыщенных твердых растворов алюминиевых сплавов. Структура зон Гинье–Престона в сплаве алюминий – медь //Физика металлов и металловедение. – 1981. - Т. 32. - № 4. - С. 780–785.
6. Альтман М.Б., Строганов Г.Б., Постников Н.С. Исследование влияния кадмия на механические свойства литейных алюминиевых сплавов //Металловедение цветных металлов и сплавов. – М.: Наука, 1982. - С. 177 – 181.