

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. И. МАЗУР, С. А. ОСЕТРОВ, Ю. Н. ТАРАН

**ЭЛЕКТРОННОМИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ЭВТЕКТИЧЕСКИХ СФЕРОЛИТОВ В (Al — Cu)-СПЛАВАХ**

(Представлено академиком А. А. Бочваром 3 XII 1971)

Сферолитная эвтектическая кристаллизация, впервые подробно описанная в ⁽¹⁾, является одним из вариантов формирования колониальных эвтектических структур. Как показано в ⁽²⁾, колонии (зерна) эвтектики в двойных металлических сплавах представляют двухфазные бикристаллиты, растущие в зависимости от переохлаждения жидкости в виде полиэдров, дендритов или сферолитов.

Ранее ^(3, 4) авторами установлено, что при образовании полиэдрических или дендритных колоний эвтектики $Al + CuAl_2$ ($\alpha + \theta$) происходит непрерывный кооперативный рост перемежающихся ответвлений двух кристаллов эвтектических фаз. Облик и микроморфологические особенности колонии связаны с кристаллохимической природой и закономерностями роста ведущей θ -фазы.

Обычные методы стереометрического микроанализа ⁽²⁻⁴⁾ оказались непригодными при исследовании строения сферолитных колоний. В связи с этим в настоящей работе использовали следующую методику. Вольфрамовое кольцо диаметром 6—8 мм быстро извлекали из жидкого сплава $Al + Cu$ (67% Al). В тонкой пленке жидкости, удерживаемой силами поверхностного натяжения, кристаллизовались сферолиты $\alpha + \theta$, затем исследованные без дополнительной обработки, на просвет на микроскопе УЭМВ-100 к при ускоряющем напряжении 100 кВ. В отличие от метода фольг это давало возможность выявить генетические связи между микроморфологическими объектами эвтектики.

Снимок участка сферолита на рис. 1а иллюстрирует веерное разветвление фаз. Чередование поперечных светлых и темных полос отвечает периодическому изменению толщины пленки. Нередко это волнообразное изменение является результатом интерференции двух или более фронтов волн (рис. 1б). Из этого снимка видно, что разветвление фаз, поддерживающее дифференцировку эвтектики постоянной, связано с волнообразным рельефом пленки, обусловленным, по-видимому, периодическим изменением линейной скорости двухфазной кристаллизации.

Следуя ⁽⁵⁾, можно полагать, что периодическое замедление и ускорение кристаллизации вызывается волнообразными возмущениями температурно-концентрационного поля жидкости. Существование температурных осцилляций перед фронтом однофазной кристаллизации экспериментально зафиксировано в ⁽⁶⁾.

Анализ изменений контраста при наклоне объекта позволил установить зависимость между числом разветвлений ведущей θ -фазы и толщиной пленки. На рис. 3 результаты подсчетов разветвлений на ряде микроучастков, подобных приведенному на рис. 1а, распределены по фазам волны. В предположении, что толщина пленки обратно пропорциональна линейной скорости кристаллизации, на рис. 3 сопоставлены схемы поперечного сечения пленки (а), модуляции температуры $\varepsilon = \Delta T$ (б) и ее производной по времени $\dot{\varepsilon} = \partial \Delta T / \partial \tau$ (в). Из графика рис. 3г видно, что

нарастание числа разветвлений θ -фазы соответствует положительным значениям ε , т. е. начальному периоду ускорения кристаллизации, как и предполагалось теоретически в (5).

Рассмотрим механизм разветвления фаз при росте эвтектического сферолита. Данные трансмиссионного микроанализа свидетельствуют о том, что в ходе периодически повторяющихся актов разветвления обе фазы растут непрерывно. На рис. 2 это проявляется в существовании полосок контраста, связывающих одноименные ветви в любых участках разветвле-

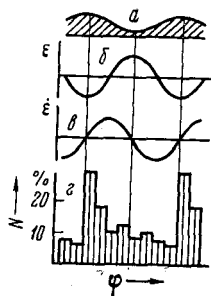


Рис. 3

Рис. 3. Схемы, иллюстрирующие связь между толщиной пленки, температурными параметрами и числом разветвлений

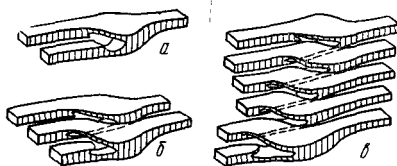


Рис. 4

Рис. 4. Механизм разветвления ведущей фазы

ния. В соответствии с этим на рис. 4 предложена схема разветвления, иллюстрирующая рост ведущей фазы (промежутки символизируют вторую фазу). Такое расщепление ветвей реализуется тогда (рис. 2, стрелка А), когда удельная поверхность θ -фазы на фронте кристаллизации превышает величину, стабильную для данной скорости кристаллизации.

С точки зрения формальной микрокартины постоянно дифференцировки эвтектики может поддерживаться как раздвоением θ -ответвления (рис. 2, стрелка А), так и раздвоением α -ответвления (стрелка В). Однако ведущую роль играет, по-видимому, θ -фаза, во втором случае перекрывающая фронт кристаллизации α -фазы, что и вызывает раздвоение последнего. Детально такой механизм разветвления рассмотрен авторами при изучении кристаллизации ледебурита (7). Особенностью результатов настоящего исследования является установление того факта, что в процессе разветвления участвуют несколько соседних ветвей ведущей фазы (рис. 2, 4). Благодаря этому изменение дифференцировки эвтектики, связанное с разветвлением, распределяется на целом участке фронта кристаллизации и мало отражается на структуре сферолита по мере его роста.

Институт черной металлургии
Министерства черной металлургии СССР
Днепропетровск

Поступило
3 XII 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Бочвар, Исследование механизма и кристаллизации сплавов эвтектического типа, 1935.
- ² Ю. Н. Таран и др., Сборн. Структура и свойства стали и чугуна, М., 1970.
- ³ Ю. Н. Таран, Э. К. Пирогова, И. М. Галушко, Доп. АН УРСР, № 1, сер. А, 79 (1967).
- ⁴ Ю. Н. Таран, И. С. Мирошниченко, И. М. Галушко, ДАН, 193, № 1 (1970).
- ⁵ Р. Зайденстиккер, Сборн. Проблемы роста кристаллов, М., 1968.
- ⁶ Д. Херл, Там же.
- ⁷ К. П. Бунин и др., Сборн. Структура и свойства стали и чугуна, М., 1970.

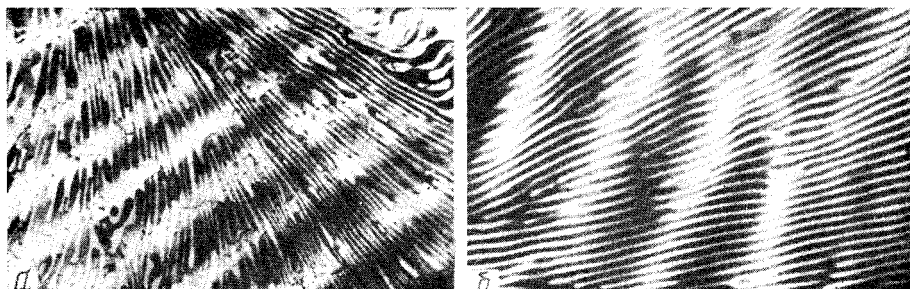


Рис. 1. Трансмиссионные электронные микрофотографии эвтектической пленки:
 $a - 9000\times$, $b - 10\,000\times$

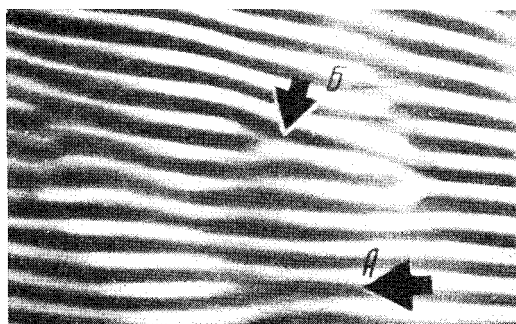


Рис. 2. Разветвление эвтектических фаз,
 $27\,000\times$

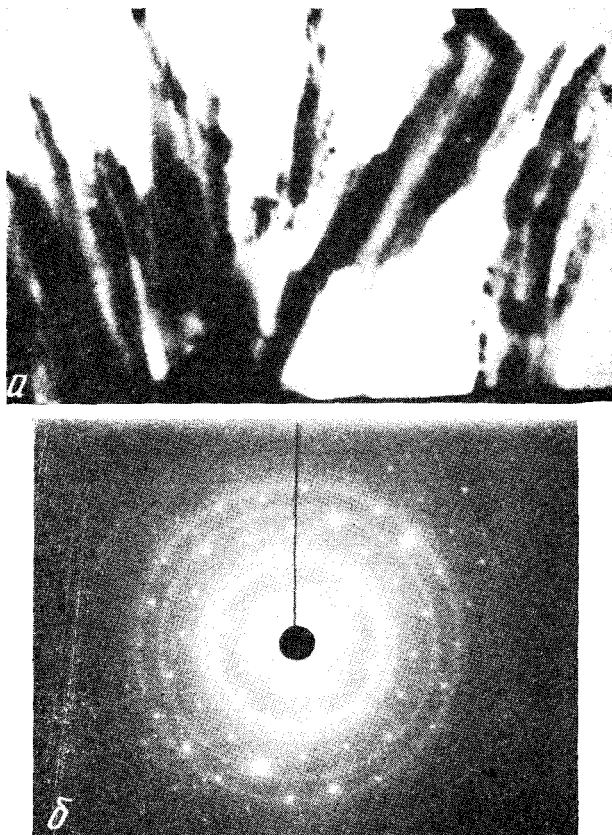


Рис. 3. Электронномикроскопическое изображение углеродных фибрилл (а) и точечная электронограмма кристаллических фрагментов (б)