

В. С. ЗОЛОТОРЕВСКИЙ, В. В. ИСТОМИН-КАСТРОВСКИЙ

**РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ НАГРЕВЕ
ЛИТЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ АЛЮМИНИЙ — МАГНИЙ**

(Представлено академиком А. А. Бочваром 15 XI 1974)

В настоящее время считается общепринятым, что при нагревании литых металлов и сплавов размер зерна либо не меняется, либо растет в результате собирательной рекристаллизации (¹⁻³). Однако обнаружение относительно высокой плотности дислокаций (⁴) и развитой субзеренной структуры в литых алюминиевых сплавах, особенно с повышенным содержанием магния (^{5, 6}), позволило предположить, что при определенных режимах отжига в этих сплавах возможна первичная рекристаллизация.

Ниже приводятся результаты исследования зеренной и субзеренной структуры литых сплавов на основе алюминия с 6 и 10% Mg: АМг6 (6,3% Mg; 0,6% Mn; 0,06% Ti; 0,003% Be) и АЛ27-1 (10% Mg; по ~0,1% Ti, Zr и Be) после отжига различной продолжительности при температурах ниже и выше их неравновесного солидуса (~450°С). Двойные сплавы и сплав АЛ27-1 были приготовлены из алюминия чистотой 99,99%, сплав АМг6 содержал по ~0,15% примесей железа и кремния. Все сплавы были отлиты в медную изложницу с внутренней полостью 20×40×120 мм³. Скорость охлаждения при кристаллизации была ~800 град/мин, средний размер дендритной ячейки 15–20 мкм. Макроструктура в большей части сечения отливок равновесная. Отжиг проводили при температуре 435° для всех сплавов, а также при 560° (Al+6% Mg и АМг6) и 510° (Al+10% Mg и АЛ27-1). Время нагрева изменяли от 5 мин. до 100 час.

Размер зерна оценивали линейным методом (⁷) на оксидированных шлифах с использованием поляризованного света. Линейный размер D субзерен также определяли методом секущих при электронно-микроскопическом анализе тонких фольг. Относительное изменение среднего размера равноосного зерна в зависимости от времени отжига при 435° иллюстрируется рис. 1. Видно, что в течение первого часа отжига во всех исследованных сплавах происходит заметное (на 25–40%) измельчение зерна. Дальнейший нагрев многокомпонентных промышленных сплавов практически не сказывается на значении D , а в двойных сплавах происходит его увеличение вплоть до значений, практически равных исходному размеру зерна в литом состоянии.

Анализ частотных кривых распределения размера зерна показал, что уменьшение D после отжига обусловлено существенным увеличением доли относительно мелких зерен. Как видно из рис. 2, в сплаве Al+10% Mg после одного часа отжига при 435° фиксируется бимодальное распределение (кривая 2), первый максимум которого смещен по сравнению с литым состоянием (кривая 1) в сторону меньшего размера зерна. После длительной гомогенизации оба максимума в этом сплаве смещаются в сторону больших размеров зерна (кривая 3), чего не наблюдается в многокомпонентных сплавах.

Металлографические наблюдения позволили установить, что новые, относительно мелкие зерна образуются как в средней части, так и вблизи первичных границ зерен (рис. 3а). То, что новые зерна окружены высокоугловыми границами, было доказано выявлением канавок травления (⁷),

которые оказались произвольно ориентированными во всех зернах, заметно различавшихся окраской в поляризованном свете (рис. 36).

Таким образом, измельчение зерна можно трактовать как результат первичной рекристаллизации, развивающейся в начальный период отжига

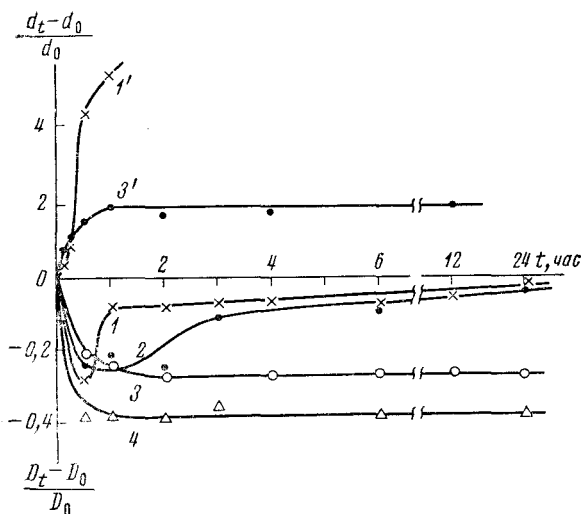


Рис. 1. Относительное изменение размера зерна D (1-4) и субзерна d (1', 3') в зависимости от времени нагрева t при 435° . D_0 , d_0 — размеры в литом состоянии, D_t , d_t — после нагрева в течение заданного времени. 1, 1' — сплав Al+10% Mg; 2 — Al+6% Mg; 3, 3' — АЛ27-1; 4 — сплав АМг6

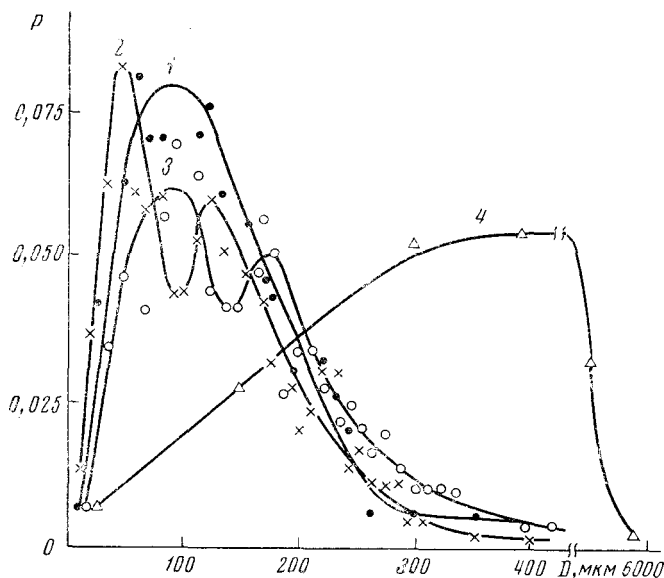


Рис. 2. Частотные кривые распределения размера зерна D сплава Al+10% Mg. 1 — литое состояние, 2, 4 — после нагрева при 435° в течение 24 час. (2), 510° , 24 час. (4)

отливок из исследованных сплавов. Дальнейшее укрупнение зерна при увеличении продолжительности отжига двойных сплавов, по-видимому, обусловлено собирательной рекристаллизацией путем миграции относительно подвижных границ. В промышленных сплавах, содержащих, кроме магния, добавки переходных металлов — антирекристаллизаторов, миграция границ

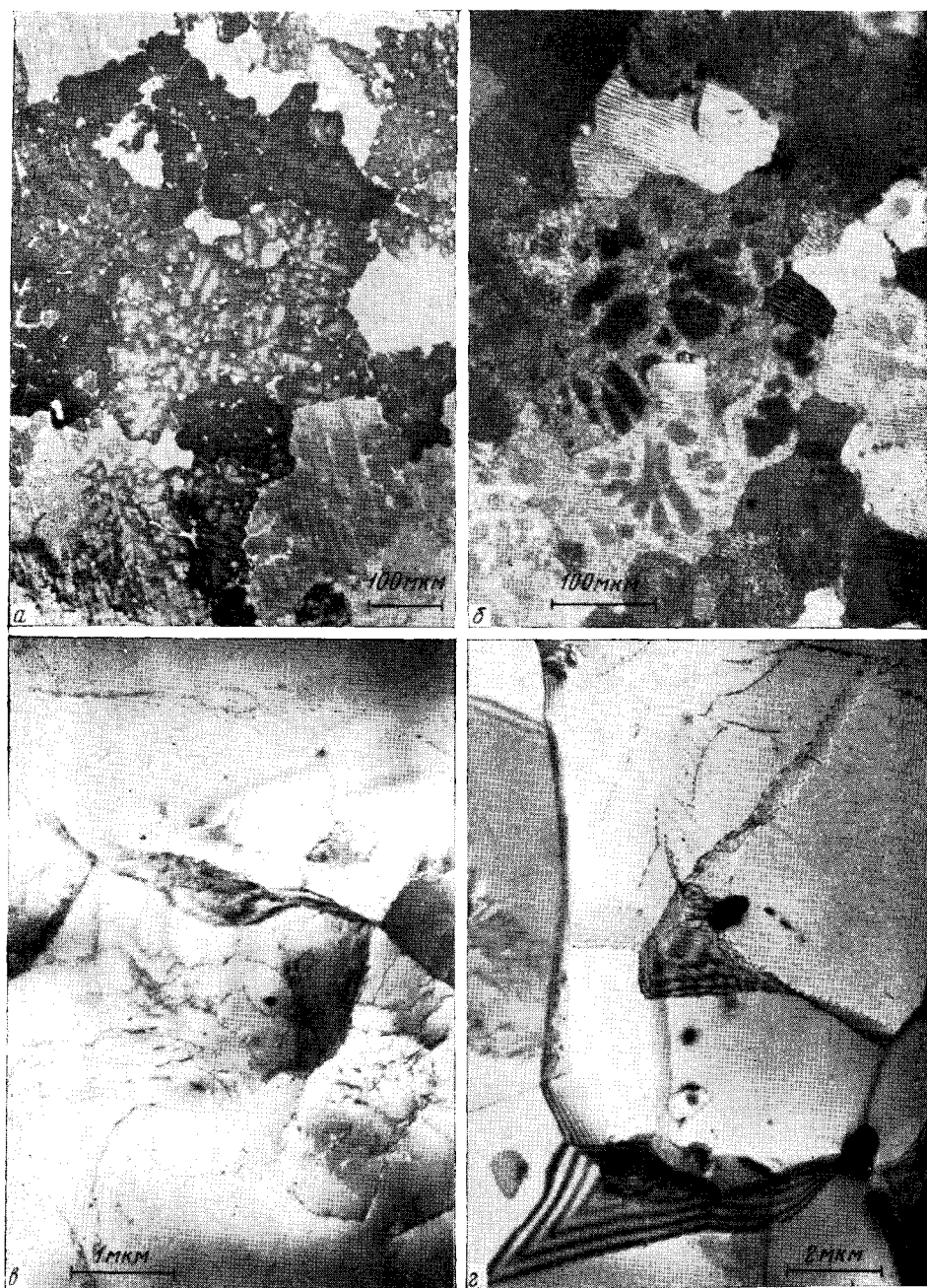


Рис. 3. Микро- (а, б) и субструктура (в, г) образцов сплава АМгб до (в) и после отжига в течение 24 час. при 435° (а, б, г)

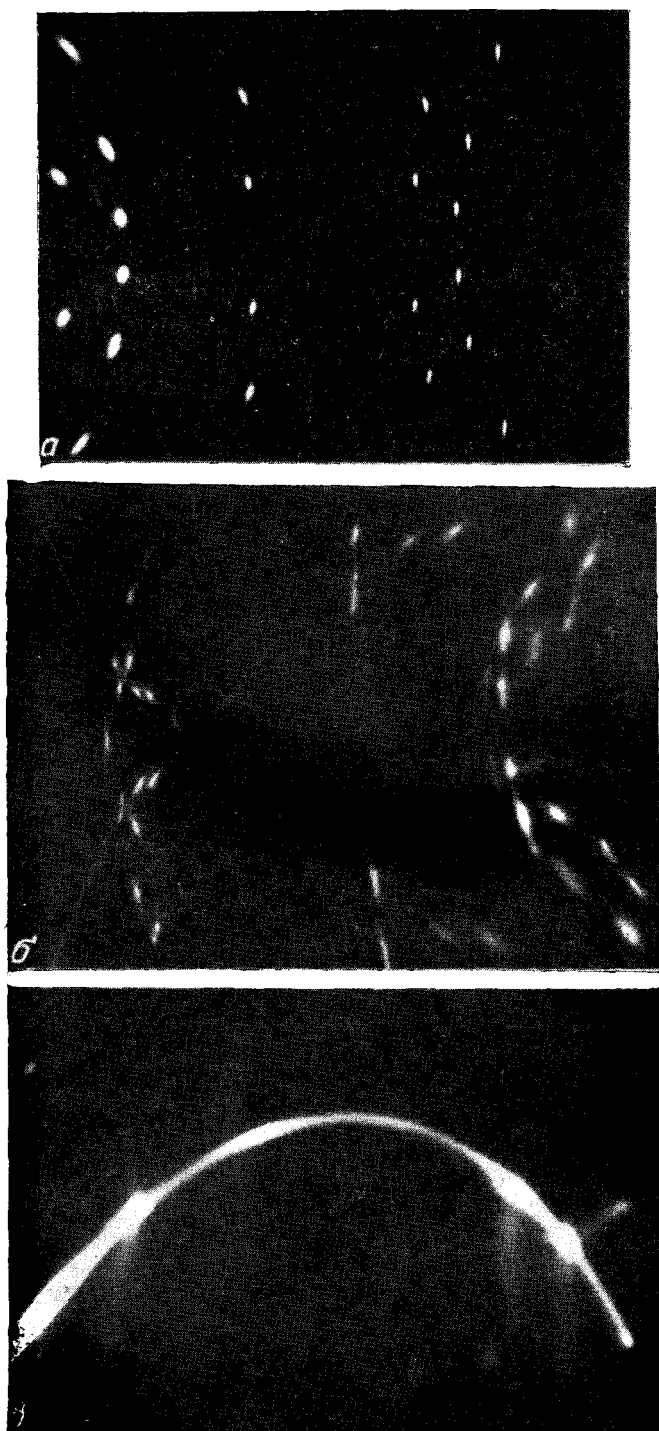


Рис. 1. Рентгенограммы вращения монокристаллов $\text{Si} + 5.2 \text{ вес. \% Si}$: *a* — закаленного от 820°C в воде; *б* — после шлифовки и стравливания поверхностного слоя; *в* — фрагмент рентгенограммы качания монокристалла (*б*)