

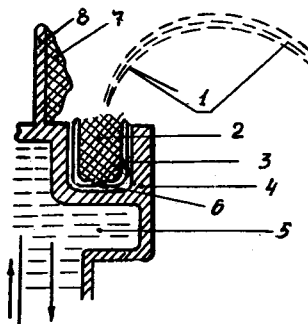
ОБ АНОМАЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ВАКУУМНОГО КОНДЕНСАТА
АЛЮМИНИЯ

В.И. Дворников, Е.И. Черепов

Получение материалов с высокой степенью несовершенства структуры, т.е. создание большого количества нарушений, равномерно распределенных по всему объему правильного кристаллического строения, представляет собой один из методов повышения реальной прочности. В работах [1,2,3] показано, что максимальное значение предела прочности вакуумных конденсатов превосходит соответствующие характеристики массивных отожженных металлов в 3-4 раза. Считается, что высокая прочность вакуумных конденсатов обусловлена также наличием большого числа эффективно заторможенных дислокаций.

Эти исследования были проведены для вакуумных конденсатов толщиной 13 - 150 микрон, поэтому, естественно, представляют интерес микронапряжения конденсата большей толщины.

В качестве первого объекта исследования нами был выбран толстый конденсат алюминия. Алюминий марки АВ000 испарялся в вакууме $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. из медного тигля, охлаждаемого водой, с теплоизоляционной алунодовой прокладкой (рис. 1). Пары алюминия конденсировались на медную пластину, расположенную перпендикулярно плоскости источника паров. В целях хорошего теплоотвода подложка была изготовлена заодно с тиглем: испарение производилось при помощи пучка электронов с энергией 7 кэВ



1. Пучок электронов. 2. Испаряемый алюминий. 3. Теплоизоляционная прокладка из Al_2O_3 . 4. Медный тигель. 5. Проточная вода. 6. Электрический контакт расплава алюминия с тиглем (землей). 7. Конденсат алюминия. 8. Подложка.

Рис. 1. Схема получения вакуумного конденсата алюминия.

При определении величин дезориентированной микродеформации и размеров областей когерентного рассеяния измерение интенсивности отраженного пучка производилось по точкам по счёту импульсов. Счёт импульсов на фоне вели через 10 минут по углу 2θ , а на линии — через 2–3 минуты, причём при скорости счёта, превышающей 100 имп/сек, вводилась поправка на мертвое время [6]. Для более точного проведения линии фона у дифракционных кривых строились большие "хвосты".

Постоянство геометрических условий съёмки контролировалось по положению нуля счётчика, проверяемого с помощью клина по Турнари [6], а также по наличию у эталонного образца хорошего разрешения дублета на больших углах. Ошибка при установке нуля счётчика не превышала 1 минуты на угол 2θ .

Качественный фазовый рентгеновский анализ полученного вакуумного конденсата показал, что присутствующие на рентгенограмме линии соответствуют только гранецентрированной решетке алюминия. При тщательном анализе рентгенограммы и сравнении её с рентгенограммой эталонного образца замечено небольшое увеличение интенсивности фона. Это, по-видимому, свидетельствует о присутствии в конденсате алюминия некоторого количества окислов, которые имеют аморфную структуру.

Для исследования дисперсности блоков и величины микронапряжений применялся метод аппроксимации, развитый в работах

при токе 60 мА. После получения конденсата толщиной порядка 1 мм испарение алюминия прекращалось и производилась загрузка алюминия в тигель, после чего испарение возобновлялось. Такая операция производилась несколько раз без нарушения вакуума, в результате чего получался слой конденсата алюминия толщиной 4–7 мм.

Рентгенографическое исследование многослойной композиции алюминия производилось на дифрактометре УРС-50 ИМ с ионизационной регистрацией в излучении медного анода. Используемые щели были 0,25; 0,5; 0,25. При фазовом анализе запись рентгеновских интерференций производилась на диаграммную ленту потенциометра ЭПП-09.

[7, 8, 9]. Величина микронапряжений и дисперсность блоков (при размерах областей когерентного рассеяния 10^{-5} см) увеличивает ширину рентгеновских дифракционных линий. На ширину рентгеновских интерференций оказывают также влияние геометрические условия съёмки (поглощение рентгеновских лучей в образце, размеры щелей, их расположение и т.д.), многие из которых не поддаются аналитическим расчётам. Поэтому для лучшего учёта геометрических факторов одновременно с исследуемым образцом производилось рентгенографирование эталона, роль физических факторов в котором была сведена к минимуму.

В качестве эталона использовались опилки алюминия АВ000, отожженные при температуре 300°C в вакууме порядка $2 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. в течение трёх часов с последующим медленным охлаждением. Для уменьшения ошибки, вызванной неравноосностью блоков, при съёмке эталона и исследуемого образца были выбраны линии с близкими ориентационными факторами (111) и (311). Функцией, наилучшим образом учитывающей распределение интенсивности исследуемого образца и эталона, оказалась $e^{-\alpha x^2}$.

Для функции распределения интенсивности, зависящей только от величины микродеформации кристаллической решетки, а также для функции распределения интенсивности в линии, расширение которой вызвано только измельчением блоков, было принято аналогичное выражение. Рассчитанная номограмма для рентгеновских отражений (111) и (113) представлена на рис. 2. Значения некоторых основных величин, полученных из эксперимента, представлены в таблице I.

Т а б л и ц а I

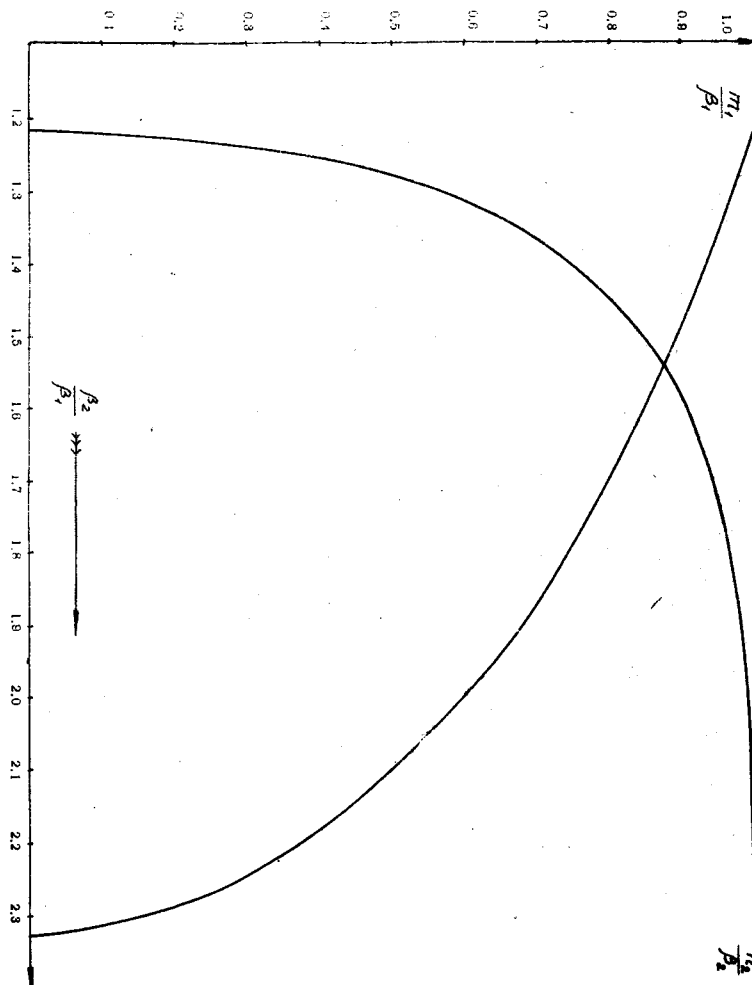
β_1 рад	β_2 рад	m_1	n_2	$D_{311\text{A}}$	$\frac{\Delta a}{a}$
0,0057	0,0111	0,3450	0,0109	45	$3 \cdot 10^{-3}$

β_1 — истинное физическое уширение линии эталонного образца;
 β_2 — истинное физическое уширение линии исследуемого образца;

m_1 — часть истинного физического уширения линии эталонного образца, вызванного дисперсностью блоков;

n_2 — часть истинного физического уширения исследуемого образца, вызванного микродеформацией решетки;

Рис. 2. ПОМОЩНАЯ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТОВ МИКРОНАПРЯЖЕНИЙ И ЛИС-ПЕРСОНАЛИ БЛОКОВ КОНДЕНСАТА АЛЮМИНИЯ. ИЗДАНИЕ СС, ЛИНИИ (111) И (112).



D_{311} - величина блоков когерентного рассеяния рентгеновских лучей в направлении, перпендикулярном плоскости (311);

$\frac{\Delta a}{a}$ - микродеформация кристаллической решетки.

Зная величину микродеформации, можно приблизительно оценить значение действующих микронапряжений по известному выражению

$$\sigma_g \approx E \frac{\Delta a}{a}.$$

К сожалению, мы не нашли значение модуля Юнга для алюминия при различных кристаллографических направлениях. Поэтому в предположении изотропности микронапряжений получим $\sigma_g \approx 24.1 \text{ кг/мм}^2$.

Выводы

1. Качественный фазовый анализ исследованного вакуумного конденсата даёт основание считать конденсат в первом приближении состоящим только из атомов алюминия.

2. Значение микродеформации ($3 \cdot 10^{-3}$) исследованного вакуумного конденсата алюминия превосходит соответствующую характеристику массивного наклепанного металла ($\sim 0.9 \cdot 10^{-3}$) почти в 4 раза.

В заключение считаем своим приятным долгом выразить благодарность В.Л. Дятлову, К.К. Зилингу и Л.Д. Покровскому за полезное обсуждение работы.

Литература

1. Э.М. Надгорный и др. УФН, т. 67, вып. 4, 626, 1959 г.
2. Л.С. Палатник, А.И. Ильинский. ФТТ, т. 3, вып. 9, 2813, 1961.
3. Л.С. Палатник, А.И. Ильинский. ДАН СССР, т. 146, I, 1962.
4. S.S. Brenner, Journ. Appl. Phys, 27, 1484, 1956.
5. Е. Шмидт, В. Боас. Пластичность кристаллов, ОНТИ, 1938.
6. Д.М. Хейкер, Л.С. Зевин. Рентгеновская дифрактометрия, ФМ, 1963.
7. E.W. Jones, Zs.f. Krist., 64, 115, 1936.
8. Л.И. Лысак. Вопросы ФМ, Изд-во АН УССР № 5, 45, 1954.
9. Л.И. Лысак. Вопросы ФМ, Изд-во АН УССР № 6, 40, 1955.

Институт математики
СО АН СССР.

Поступила в редакцию
15.VI.1966 г.