

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Б. М. РОВИНСКИЙ и В. М. ГЕНКИН

**РАСSEЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ МЕТАЛЛАМИ В ОБЛАСТИ
ОЧЕНЬ МАЛЫХ УГЛОВ**

(Представлено академиком Г. С. Ландсбергом 7 II 1953)

Рассеяние рентгеновских лучей вблизи прямого пучка в области углов $\varphi < 1^\circ$ или 2° обусловлено наличием в рассеивающем веществе субмикроскопических областей с иной электронной плотностью. Флуктуации электронной плотности в твердом теле и частицы, распределенные на расстоянии, превышающем их собственные размеры, вызывают рассеяние «газового типа», картина которого характеризуется монотонно убывающей интенсивностью с возрастанием угла φ , а флуктуации и частицы плотно упакованные вызывают рассеяние «жидкостного типа», картина которого имеет вид размытого кольца с диаметром, определяемым средним расстоянием между их центрами.

Теория рассеяния рентгеновских лучей в области малых углов (¹, ²), базирующаяся на теории рассеяния газами и жидкостями (²), еще полностью не развита. Однако большое число исследований в этой области, выполненных применительно к определению размеров и формы частиц разнообразных веществ и субмикродофектов в них (³), привели к вполне удовлетворительным результатам. Это послужило основанием для исследования рассеяния чистыми металлами, описание которого приводится ниже.

1. Для получения картины рассеяния под очень малыми углами ($\varphi < 10'$) была собрана установка с щелевым устройством из двух щелей шириною 0,014 мм на расстоянии 60 мм друг от друга. Распределение интенсивности по ширине прямого пучка, пропущенного через щелевое устройство, оказалось, имеет характер кривой вида $e^{-a.x^2}$ и угловую ширину φ на половине максимальной интенсивности около $25''$. Такое распределение интенсивности, обусловленное, вероятно, профилем щелей и прохождением лучей через их края, предоставляет ряд возможностей для исследований в области крайне малых углов рассеяния.

В работе было использовано излучение рентгеновской трубки с молибденовым анодом при стабилизированном напряжении 37 кв, при котором получается выгодное соотношение между интенсивностью монохроматического и сопровождающего его белого излучения.

Применение коротковолнового излучения, которое рассеивается в меньшем диапазоне углов φ , нежели длинноволновое было обусловлено большой поглощаемостью длинноволнового излучения.

Для получения картины рассеяния при очень малых углах рентгеновская пленка помещалась на расстоянии 170 см от образца. Слой воздуха при таком расстоянии и сам металлический образец в достаточно сильной степени ослабляют длинноволновую часть белого излучения, которая приводит к наибольшей ошибке в определении нижнего предела величины частиц (20—50%) (⁴), устанавливаемого обычно по

приближенной формуле $I_\varphi = Nn^2e^{-\frac{4}{5}\pi^2\left(\frac{R}{\lambda}\right)^2\varphi^2}$, где I_φ — интенсивность излучения, рассеиваемого под углом φ , N — число рассеивающих частиц или дефектов размером R и n — число электронов в одной частице.

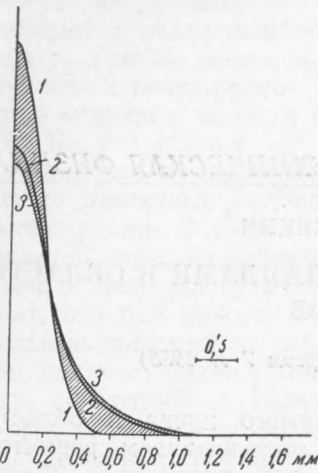


Рис. 2. Микрофотометрические кривые. 1 — прямой пучок без образца; 2 — рекристаллизованная медь; 3 — холоднодеформированная медь

2. Исследовались образцы из чистой электролитической меди, прокатанной в листочки толщиной 0,11 мм, неотожженные и отожженные при 800° в продолжение 4 час. в вакууме; образцы из очень чистого литого алюминия (99,99%) толщиной 1,5 мм; такие же образцы из холоднодеформированного алюминия и образцы из технического алюминия, изготовленного спеканием.

На рис. 1 (см. вклейку к стр. 647) приводятся рентгенограммы прямого пучка лучей без образца и медных образцов, экспонированных при установке их осью проката параллельно и перпендикулярно щели. Они отчетливо показывают размытие прямого пучка лучей, заключающееся в его расширении и монотонно убывающей интенсивности, простирающейся в виде слабого фона в относительно большом угловом диапазоне.

На рис. 2 и 3 представлены полученные микрофотометрическим путем кривые угловой зависимости интенсивности прямого пучка

1 и пучков лучей, прошедших через исследуемые образцы 2, 3 и 4. Площади, ограниченные кривыми и осями координат на рисунках, равны между собою. Равенство это достигалось умножением ординат на соответствующие коэффициенты. Таким путем практически исключается из рассмотрения влияние поглощения μ_0 , а площади, ограниченные кривыми 1 и 2 или 3 и 4 (заштрихованные на рис. 2), определяются добавочным поглощением μ' , обусловленным рассеянием под малыми углами, которое, как показал Уоррен (5), пропорционально радиусу дефектов или частиц и их внутренней плотности ρ : $\mu' = 0,108 \lambda^2 R \rho$.

3. Полученные рентгенограммы и кривые распределения интенсивности рассеяния в области очень малых углов показывают, что чистые металлы деформированные, литые, рекристаллизованные и полученные спеканием, дают картину «газового рассеяния». Эта картина интерпретируется нами в том смысле, что рассеяние вызывается разностью электронных плотностей в дефектах (микропорах или трещинках) — полостях с нулевой электронной плотностью и в самом металле. Такая интерпретация основывается, в частности, на том, что рассеяние пористым алюминием (и другими металлами), полученным спеканием, оказывается, является особенно резко выраженным, если судить по уменьшению площади, ограниченной на рис. 3 кривыми 1 и 4 в начальной части до их взаимного пересечения. То обстоятельство, что катаная медь рассеивает более интенсивно и при больших

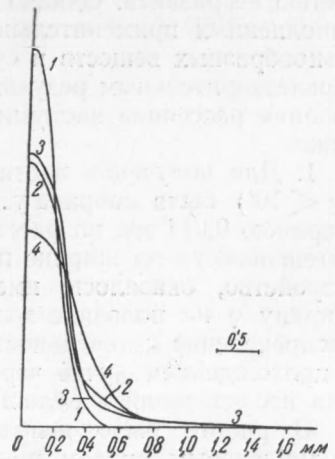


Рис. 3. Микрофотометрические кривые. 1 — прямой пучок без образца; 2 — литой алюминий; 3 — холоднодеформированный алюминий; 4 — алюминий, полученный спеканием

углах φ при установке образцов осью проката параллельно направлению щели, чем при перпендикулярной установке, указывает, что дефекты вытянуты и ориентированы в направлении оси проката. Последнее согласуется с представлениями о природе прочности металла (6).

Данные о рассеянии катаной и рекристаллизованной меди указывают, что дефекты, нижний предел величины которых в холоднодеформированном металле приближенно оценивается в 300 Å, при рекристаллизации возрастают до 400 Å, вероятно, вследствие общего уменьшения насыщенности меди более мелкими дефектами и устранения их разно-
осности.

В литом алюминии нижний предел величины дефектов достигает около 300 Å. При пластической деформации предел этот в алюминии снижается примерно до 250 Å при общем уменьшении насыщенности металла наиболее крупными дефектами, вероятно, вследствие их залечивания.

В алюминии, полученном спеканием, нижний предел величины дефектов совпадает с пределом у литого алюминия. Отличается этот алюминий от литого большой насыщенностью дефектами значительной величины — вероятно большими 1000 Å.

Институт машиноведения
Академии наук СССР

Поступило
7 VIII 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. А. Порай-Кошиц, Усп. физ. наук, 39, 573 (1949). ² Р. Джеймс, Оптические принципы дифракции рентгеновских лучей, 1950. ³ Е. А. Порай-Кошиц, Ю. Г. Соколов, ДАН, 72, 477 (1950). ⁴ С. Shull, L. Roess, J. Appl. Phys., 18, 295 (1947). ⁵ В. Warren, *ibid.*, 20, 96 (1949). ⁶ Д. Холломон, К. Зинер, Усп. физ. наук, 31, 38 (1947).