

343

Г.С. ЖДАНОВ



Замеченные опечатки

. . .

Г. С. ЖДАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОРИЕНТИРОВОК В МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ с помощью полюсных фигур

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ОБРАБОТАННОГО МЕТАЛЛА С ПОМОЩЬЮ ЛУЧЕЙ РЕНТГЕНА

Под редакцией проф. С. Т. Конобеевского





ОНТИ НКТП СССР 1934

PC	ΤE	BE B	ΗH	ΟE	H.	ΑУ	ЧН	10.	TE	3 X	н	И	ЧE	CJ	K (ΟE	И	3	Д	ΑT	E	ЛЬ	С	ТΒ	0	
3	Ρ	н	0	Й	И	J	ЦЗ	3 E	т	· I	ł	0	Й	I	N	Е	Т	А	Л	Л	У	Р	Г	И	И	N
В	А		٠	Л	Е	Н	И	Н	Г	Р	A	Д		•		С	в	E	\mathbf{P}	Д	Л	0	В	C.	K	

МЦ-50-5-4

ОГЛАВЛЕНИЕ

мц-50-5-4 гов пувличная Учнатехная 21.5 бс	ı ⁻
оглавление	
ОТ ЛАВЛЕНИЕ	
	ð
І. Полюсные фигуры	
 § 1. Построение полюсных фигур по рентгенограммам § 2. Выбор типа рентгеновской камеры для исследования текстур 	7 9
II. Аксиальная камера	
 § 3. Характеристика аксиальной камеры 4. Определение величины уклонения первичного пучка к оси каме 	10
ры по репттенограмме § 5. Ширина дебаевских линий в аксиальной камере для параллель- ного и расходящегося пучков	123 14
§ 6. Распределение интенсивности по ширине дебаевской линия в аксиальной камере для параллельного пучка	16
§ 7. Определение на рентгенограмме аксиальной камеры кривой те: вследствие поглощения интерференционных лучей в препарате	18
 III. Построение полюсных фигур для прокато пракатования и дурански у § 8. Полюсные фигуры текстуры прокатования и дурански у IV. Получение полюсных фигур фотос инчесника аутем § 9. Метод рентгеносъемки на движущет с ассего § 10. Координатная сетка для перевода турогта и на стратисти у фическую проекцию	19 24 26
аксиальной камеры с передвигающейся кассесть	27 29 31 28 42
Б. Учет поглощения первичного пучка и интер- ференционных лучей.	
§ 16. Вывод формулы, выражающей интенсивность в различных точ- ках текстурограмм для случая вращающейся пластинки	-14
VI. Экспериментальные условия исследования кристаллических ориентировок	
§ 17. Выбор оптимальных размеров и формы препарата § 18. Выбор дебаевского конуса и длины волны § 19. Выбор интервала вращения препарата, экспозиции, скогостей перемещения	4 6 8
VII. Анализ полюсных фигур	••
§ 20. Нахождение ориентировок по полюсным фигурам	

ВВЕЛЕНИЕ

Вопрос о текстуре сплавов, в частности твердых растворов, мало исследован и в настоящее время почти совершенно не освещен ни с экспериментальной, ни с теоретической точки зрения. Несомненно, что изучение текстур сплавов рентгеновским путем дает возможность использовать для контроля важнейших технологических процессов механической и термической обработки металлов и их сплавов новый метод исследования (рентгеноанализ), что представляет большой интерес для металлопромышленности и является важной и существенной задачей для рентгеновских лабораторий.

Исследование рассматриваемых вопросов и их теоретическое обоствание раскрывают характерные изменения, происходящие B Mf лле при деформировании и последующем нагревании, причем и изменения рассматриваются, как изменения в атомной решотке металла, что позволяет производить исследования в данной области, основываясь на физических законах и строгих физических представлениях.

Вопрос о текстурах сплавов, так же как вопрос о текстурах рекристаллизации, остается мало выясненным и до настоящего врежени ¹. Для текстур деформирования чистых металлов более

Schmid und G. Wassermann, "ZS. f. Phys"., 1927, 42, 779; "ZS. f Ŧ Phys ., 1921, 99, 332.

Текстура прокатанных металлических листов и фольг была исследована в довольно большом числе работ. Впервые микрокристаллическая структура прокатанного металла была определена на основании рентгенографического исследования в работе.

H. Е. Успенский и С. Т. Конобеевский, "Научные известия физик°", сборник III, "Труды физического общества им. Лебедева", 1922, ст. 343. / Этот вопрос впоследствии разрабатывался следующими исследователями:

lark und K. Weissenberg, "ZS. f. Phys.",1923, 14, 328.

С. Т. Конобеевский, Журнал прикладной физики", 1927, IV, вып. 3, p. 3.

ever und W. Schmid, "Mitt. a. d. K. W. Inst. f. Eisenforschung" F. , 27, A 1. 10, 265.

З

V. wöler und G. Sachs, "ZS. f. Phys"., 1929, 56, 477, 485, 495,

¹ Основная литература по рентгенографическому исследованию текстур такова текстуры холоднотянутых проволок были исследованы следующими авто ин:

N Polanyi, "ZS. f. Phys"., 1921, 7, 141.

Ettisch, M. Polanyi und K. Weissenberg, ZS. f. Phys.," 1921. 7, 18

или менее полно исследована лишь область больших деформаций (больше 900%), тогда как процесс возникновения и изменения текстуры в зависимости от степени и рода деформации все еще не получил достаточного освещения. Также пока неясен вопрос о зависимости текстур от химического состава сплава (твердого раствора), хотя имеющиеся экспериментальные данные указывают на ряд любопытных закономерностей, относящихся к появлению или исчезновению определенных ориентировок.

С теоретической точки зрения вопрос о текстурах металлов. сводящийся к выяснению условий существования определенных устойчивых положений кристаллитов при деформировании металла и определению этих устойчивых положений при заданном процессе деформирования (текстуры деформирования), а также изменения этих положений при последующем нагревании деформированного металла (текстуры рекристаллизации), исходя из механизма деформирования монокристалла, остается почти не разработанным и мало выясненным. Это положение объясняется, по нашему мнению, двумя причинами: 1) сложностью самого вопроса и 2) недостаточностью систематических экспериментальных исследований, необходимых для разработки и проверки соответствующей теории.

В настоящее время при рентгенографическом исследовании кристаллических ориентировок в металлах приходится использовать весьма усовершенствованную за последние годы методику и технику исследования, чтобы результат исследования в достаточной мере полно и правильно отображал сложное распределение кристаллитов, наблюдающееся в действительности в обработанном, металле.

Стремление повысить точность результата, получаемого при исследовании текстур обработанных металлов, заставляет углубляться в рассмотрение побочных и на первый взгляд второстепенных факторов (конечно взаимно связанных), как форма и размеры препарата, степень поглощения рентгеновских лучей в толще препарата, выбор длины волны и др., которые в предыдущих работах не подвергались специальному рассмотрению.

Мы считаем, что среди этих факторов немаловажную роль играет вопрос о поглощении рентгеновских лучей в препарате и связанный с ним вопрос о форме и размерах препарата при исследовании неоднородных текстур (изменяющихся в различных точках материала) эти факторы в большей или меньшей степени будут влиять на результат исследования.

Отмеченные факторы приходится в различной степень уч

W. E. Schmid, там же, 1929. 56, 740.

G. Kurdjumow und G. Sachs, там же, 1930, 62, 592. T. Thewilis, Phil, Mag"., 1930, 10, 153.

Е. Ф. Бахметев, "Вестник металлопромышленности". 1930, X, 154.

Г. С. Жданов, там же, 1930, X, 149.

E. F. Bachmetew, "Metallwirtsch", 1931, 10, 451.

Краткий обзор и история вопроса имеются в статье автора, помещенна сборнике работ рентгенографической лаборатории Гинцветмета, Цветметизда 932, стр. 37.

вать в ряде случаев при более глубоком экспериментальном исследовании текстур; например при исследовании распределения текстуры по слоям внутри холоднотянутой проволоки (текстура наружной и центральной зоны проволоки), при исследовании изменения текстуры по толщине внутри листа прокатанного металла или при рентгенографическом изучении структуры поверхностного слоя наклепанного материала. Поэтому в данной работе мы уделяем достаточно больщое внимание выяснению эффекта поглощения рентгеновских лучей при съемке текстурированных металлов.

Указанные общие и частные вопросы были поставлены в начале исследования, но на первой стадии работы основное внимание было уделено задаче улучшения методики и разработке методических вопросов. Изложению основных результатов, полученных в этом исследовании, и посвящена главным образом настоящая работа.

В нашей работе можно отметить три этапа:

1) рентгенографическое исследование текстуры вальцованного дуралюмина ¹;

2) разработка экспериментального метода получения полюсных фигур в аксиальной камере с перемещающейся кассетой ²;

3) анализ кристаллических ориентировок по полюсным фигурам.

 $5 \cdot$

¹ Дипломная работа автора, выполненная в рентгеновской лаборатории ГАЗ № 1 по заданию и под руководством проф. С. Т. Конобеевского.

² "Вестник металлопромышленности", 1930; № 9—10, 145, тезисы докладов. І всесоюзного съезда физиков, Госхимтехиздат. 1930. М.—Л., стр. 65. Сборникработ рентгенографической лаборатории Гинцветмета, Цветметиздат, 1932. стр. 38.

І. ПОЛЮСНЫЕ ФИГУРЫ

Для исследования ориентировок микрокристаллитов нами был выбран в качестве основного наиболее совершенный из имевшихся методов-метод полюсных фигур, разработанный Wever, а также Sachs и Schiebold ¹.

В этом методе экспериментальные результаты рентгеновского. исследования (рентгенограммы по Дебаю) обрабатываются по определенному способу, и данные исследования изображаются графически в виде полюсной фигуры. Чисто графический способ построения полюсных фигур основан на применении стереографической сетки Вульфа.

В более ранних работах ² исследование текстур сводилось к определению по максимумам рентгенограммы индексов кристаллографических направлений по главным осям деформации, в частности для текстуры проката определялись индексы направления проката, поперечного направления и направления нормали к плоскости пластинки. Определение индексов производилось по средним положениям кристаллитов. Для более полного описания текстуры указывались еще углы рассеяния кристаллитов около "оси текстуры", за которую обычно принимается одно из направлений деформации, преимущественно направление течения металла.

Нельзя признать, что изложение результатов исследования текстуры в подобной форме вполне соответствует сложности текстуры. Например в случае текстуры проката ориентировки кристаллитов обычно представляют сложную картину, в которой богатство деталей ускользает, если получаемые результаты описываются указанным способом.

В ряде случаев нельзя указать, какие определенные рациональные кристаллографические направления совпадают с главными направлениями деформации, так как простые кристаллографические направления с ними не совпадают. Поэтому указание направлений деформации в кристаллографической форме теряет смысл.

Один из важнейших недостатков обработки рентгенограмм текстуры по данному способу заключается в том, что он не дает гарантии против субъективности исследователя при выборе последним кристаллографических направлений текстуры.

6

¹ F. Wever, "ZS. f. Phys"., 1924; 28, 69, G. Sachs und E. Schiebold, "ZS. f. V. D. I"., 1925; 1557.

² М. Роlanyi, "ZS. f. Phys", 1921; 7, 141; М. Ettisch, М. Polanyi und K. Weissenberg, "ZS. f. Phys"., 1921; 7, 181. Н. Е. Усценский и С. Т. Конобеевский, "Научные известия физи-

ка", сборник ШІ, "Труды физического общества им. Лебедева", стр. 343.

Большинство приведенных возражений отпадает, если пользоваться методом полюсных фигур. Основная задача, которая возникает при исследовании текстур, сводится к описанию положений кристаллических решоток для всех микрокристаллитов в некотором исследуемом объеме. При рентгенографическом исследовании текстуры этот объем получается в результате пересечения первичного рентгеновского пучка с веществом препарата, т. е. выражается произведением из поперечного сечения пучка на толщину препарата. Обычно этот объем составляет от 0,1 до 1 мм³. Если условно принять, что в деформированном металле мы имеем дело с раздроблением кристаллитов хотя бы до величины 1 и в сечении, то отсюда получаем, что число кристаллитов в 1 мм³ доходит до 109. Следовательно при описании текстуры нужно указывать положение большого числа различно ориентированных участков пространственной решотки всех кристаллитов в данном объеме.

В методе полюсных фигур каждый объем пространственной решотки, достаточный для образования дебаевского эффекта, находит свое отражение, и таким образом, полюсная фигура охватывает и описывает любую ориентировку кристаллитов в суммарной форме.

Сущность этого метода была нами описана ранее ¹. Там же указана связь, существующая между полюсной фигурой и дебайграммой, и изложен способ построения полюсных фигур с помощью сеток, рассчитанных Schmid ².

§ 1. Построение полюсных фигур по рентгенограммам

Сетки, данные Schmid для построения полюсных фигур, пригодны лишь для вполне определенных дебаевских конусов, именно для алюминия, снимаемого с $K_{\alpha} =$ излучением меди; кроме того при использовании этих сеток приходится ориентировать образец по отношению к лучу вполне определенным образом.

Можно указать на более универсальный способ построения полюсных фигур, состоящий в непосредственном использовании сетки Вульфа.

Представим себе, что на препарат O (фиг. 1) падает первичный пучок XX. Конус I — дебаевский конус с образующим углом 2 ϑ ; II — огибающий конус брэгговских плоскостей, находящихся в отражающем положении; образующий угол этого конуса ϑ . Конус III — конус нормалей к брэгговским плоскостям; образующий угол этого конуса $\psi = \frac{\pi}{2} - \vartheta$. Сфера SS' — сфера проекции, неподвижно скрепленная с препаратом.

Максимумы на дебаевском кольце I соответствуют сгущениям брэгговских плоскостей на конусе II, которые в свою очередь

¹ Глокер. Рентгеновские лучи и испытание материалов, ГТТИ. Дополнение 1932 г. стр. 314.

² W. E. Schmid "ZS. f. Phys", 1929, 56, 740.

соответствуют областям плотного заполнения нормалей на сфере SS' в точках пересечения ее с конусом III.

Покажем на примере текстуры проката использование сетки Вульфа для построения полюсных фигур. В соответствии с обозначениями Sachs условимся направление проката отмечать бук-



Фиг. 1. Связь между дебаевским конусом I н гномоническим конусом III.

вами W.R, поперечное направление Q.R и направление нормали к плоскости проката N.R (фиг. 2). За плоскость стереографической проекции возьмем плоскость проката, т. е. плоскость, проходящую через W.R и Q.R.

Рассмотрим случай рентгеносъемки при любой ориентации пластинки относительно первичного луча, например когда пер-

вичный луч перпендикулярен к направлению W.K и составляет угол а с направлением нормали N.R. Брэгговский угол ϑ для выбранного дебаевского кольца с индексами $\{h_1, h_2, h_3\}$ определяется по формуле Брэгга. С помощью сетки Вульфа строим на стереографической проекции (фиг. 3) кольцо I с радиусом $\psi = \frac{\pi}{2} - \vartheta$. На это кольцо переносим максимумы A, A_1 , B, B_1 , по-



Фиг. 2. Обозначение на сфере проекции основных направлений деформации при прокатке.



Фиг. 3. Построение полюсной фигуры по отдельным рентгенограммам.

лученные на рентгенограмме на дебаевском кольце $\{h_1h_2h_3\}$ и затем производим с помощью сетки Вульфа поворот кольца с максимумами на угол а около оси *W.R.* При этом кольцо *I* перейдет в положение *I'* и максимумы AA_1 и BB_1 дадут максимумы $A'A_1'$ и $B'B_1'$, которые будут соответствовать максимумам полюсной фигуры. Таким образом по частям можно построить полностью полюсную фигуру с любой степенью точности, производя рентгеносъемку образца при различных углах падения первичного луча.

§ 2. Выбор типа рентгеновской камеры для исследования текстур

При установлении способа фотографической съемки колец Дебая можно делать выбор между двумя видами рентгеносъемки:

1-й способ. Камера типа Лауэ — регистрация колец Дебая на плоской пластинке, перпендикулярной к первичному лучу.

2-й способ. Камера аксиального типа — регистрация колец на цилиндрической фотопленке, коаксиальной с первичным пучком. Выбор того или другого рода съемки при исследовании текстур

металлов производится в зависимости от рода исследуемого вещества, причем большую роль играет прозрачность материала для рентгеновского излучения и возможность изготовления препаратов нужной толщины (§ 17). От этих условий зависит выбор излучения того или иного анода, т. е. длина волны рентгеновских лучей. По длине волны с помощью формулы Брэгга рассчитываем брэгговский угол отражения рентгеновских лучей, а отсюда находим половинный при вершине дебаевского угол конуса (равный двойному брэгговскому углу 8).

Когда найденный угол 29 < 45°, для регистрации колец Дебая можно рекомендовать более пригодную этих условиях камеру Лауэ, В так как при этом угол встречи интерференционных лучей с плоскостью фотопластинки близок к (фиг. 4 пучок OA'B'), прямому



Фиг. 4. Выбор типа камеры при исследовании текстур определяется величиной угла 29 при вершине дебаевского конуса.

и следовательно, размытие дебаевской линии невелико. Наоборот, применение в этих условиях вместо камеры Лауэ аксиальной невыгодно, так как дебаевская линия получается весьма размытой, как легко видеть из сравнения отрезков А'В' и АВ.

Для углов 28 > 45°, очевидно, соотношения для ширины дебаевской линии будут обратными; ширина линии А', В', полученной цилиндрической пленке в аксиальной камере, будет меньше на ширины той же линии А1В1, зафиксированной в камере Лауэ.

Размытость дебаевской линии вследствие косого падения интерференционного пучка на фотопластинку (или пленку) помимо увеличения экспозиции делает максимумы текстуры диффузными при съемке в камере с передвигающейся кассетой серьезно И осложняет работу, так как препятствует получению четких рентгенограмм.

Следовательно, для жестких рентгеновских лучей K_{α} типа излучения молибдена, серебра и близких к ним элементов при работе с первыми дебаевскими конусами, для которых получаются малые углы ϑ около (8—15°), более пригодна камера с плоской иластинкой, перпендикулярной первичному пучку. При использовании для исследования текстур излучений K_{α} серий меди, железа и соседних элементов лучше производить рентгеносъемку в аксиальной камере.

II. АКСИАЛЬНАЯ КАМЕРА

§ 3. Характеристика аксиальной камеры

Наше исследование кристаллических ориентировок в алюминии и дуралюмине было проведено с аксиальной камерой, так как мы имели в своем распоряжении рентгеновскую трубку с медным анодом.

Аксиальная камера, примененная впервые H. Mark и K. Weissenberg, ¹ помимо отмеченных выше обладает еще рядом особенностей, делающих ее иногда более удобной, чем камера Лауэ.

В аксиальной камере сглаживается неравномерность в интенсивностях дебаевских конусов вследствие того, что более сильные "передние" конуса пересекаются с фотопленкой на больших расстояниях, чем более слабые дебаевские конуса, имеющие углы 29, близкие к 90°. В камере Лауэ с пластинкой, перпендикулярной к лучу, эта неравномерность в интенсивности еще более усиливается.

Дебаевские "кольца" в аксиальной камере по распрямлении фотопленки получаются в виде прямых линий. В случае съемки материала с резко выраженной статистической анизотропией дебаевские прямые состоят из ряда максимумов различной интенсивности. При необходимости количественного определения интенсивности различных кристаллических ориентировок эти дебаевские прямые весьма просто поддаются микрофотометрированию.

Для проведения исследования текстуры дуралюмина была сконструирована по нашим чертежам аксиальная камера в рентгенотехнической лаборатории ГЭЭИ.

Внешний вид этой камеры и детали ее конструкции показаны на фиг. 5. С— внешний цилиндр камеры, А — диафрагма, в которой просверлен канал сечением в 1 мм², служащий для впуска пучка первичных рентгеновских лучей в камеру. Первичный пучок распространяется по оси цилиндра камеры. На пути пучка первичных лучей помещается исследуемый препарат, в нашем случае прокатанная пластинка. Для этого препарат укрепляется на конце держателя В, где сделан соответствующий прорез; держатель В вместе с объектом вставляется в камеру на пути пучка первичных лучей. Держатель В может вращаться вместе с нониусом относительно оси, перпендикулярной к оси камеры. По дуге E, на которой нанесены градусные деления, легко отсчитать угол между лучом и нормалью к плоскости пластинки с точностью

¹ H. M rk und K. Weissenberg, "ZS. f. Phys.", 1923, 16, 314.

до долей градуса. На практике достаточно измерить этот угол с точностью до $1/2^{\circ}$, что легко можно сделать, не прибегая к помощи нониуса. Деталь F служит для укрепления фотографической пленки, которая должна быть выгнута по поверхности круглого конуса, по оси которого распространяется первичный луч. Пленка обертывается по закраинам bb' (диаметр цилиндра пленки D = 57,3 мм, $\pi D = 180$ мм, так что дуга в 1 мм соответствует 2°) и прижимается сверху упругим металлическим пояском (на снимке не показан). В закраинах bb' сделаны клиновидные прорезы через 10 мм.

Соответствующие зубчики получаются при съемке на пленке; ими можно пользоваться при промере рентгенограммы. Цилиндр F



Фиг. 5. Аксиальная камера.

вместе с пленкой вдвигается внутрь камеры. В пленке предварительно делается круглый прорез для введения в заряженную камеру держателя *В* вместе с препаратом. При этом цилиндр "запирается" держателем же *В* и не может быть вынут, пока этот держатель находится в камере. Трубочка *G*, ввинчивающаяся в *F*, отводит проходящий пучок лучей; на своем конце она несет флюоресцирующий экран, благодаря которому можно визировать пучок первичных лучей и наблюдать за правильностью установки. Для надлежащей установки на фокус рентгеновской трубки камера снабжена тремя установочными винтами.

Приведем некоторые расчеты, относящиеся к случаю аксиальной камеры и касающиеся точности изготовления прибора, ширины и распределения интенсивности на дебаевских линиях.

§ 4. Определение величины уклоненкя первичного пучка от оси камеры по рентгенограмме

Положим, что в аксиальной камере вследствие несовершенства изготовления направление первичного луча не совпадает с осью цилиндра цленки. Как скажется это на рентгенограмме?

Возьмем систему декартовых координат XYZ и направим ось Zпо оси камеры (фиг. 6). Радиус камеры пусть будет R. Уравнение цилиндра, по поверхности которого изогнута пленка:

$$x^2 + y^2 = R^2. (1)$$

Пусть в камеру падает первичный луч OS, лежащий в плоскости XZ и составляющий малый угол а с осью Z. Поместим в начале координат O исследуемый препарат. При прохождении монохроматического рентгеновского луча сквозь препарат будет



Фиг. 6. Первичный пучок S не совпадает с осью аксиальной камеры.



Фиг. 7. Искривление дебаевской "прямой" в синусоиду вследствие неточности аксиальной камеры.

наблюдаться картина диффракции, в результате которой рассеянные лучи образуют дебаевские конуса, оси которых направлены по первичному лучу. Угол при вершине конуса — 40, причем 9 определяется уравнением Брогга:

$$n\lambda = 2d\sin\vartheta, \qquad (1')$$

где λ — длина волны;

12

d — межплоскостное расстояние;

n-равно целому числу 1, 2,...;

9-угол брэгговского отражения.

Рассмотрим один из дебаевских конусов с углом при вершине 4⁹. Уравнение этого конуса может быть написано в виде:

$$(x^2 + y^2 + z^2)\cos^2 2\vartheta = (z \cdot \cos \alpha + x \cdot \sin \alpha)^2.$$
⁽²⁾

Введем цилиндрические координаты по формулам преобразования:

$$x = r \cdot \sin \varphi;$$

$$y = r \cdot \cos \varphi;$$

$$z = z,$$

тде r, z и ф-цилиндрические координаты.

Напишем уравнения (1) и (2) в новых координатах, упрощая попутно уравнение (2), считая а малой величиной, квадратом которой пренебрегаем. В таком случае получим:

$$r = R;$$

$$(r^{2} + z^{2})\cos^{2}2\vartheta = (z + r\alpha \cdot \sin\varphi)^{2}.$$
(3)

Рассматривая совместно оба эти уравнения, получаем уравнение кривой пересечения этих поверхностей. Эту кривую при съемке и проявлении мы получаем на пленке. Развернем цилиндр на плоскость и найдем уравнение кривой на плоскости; для этого достаточно считать φ и *z* декартовыми координатами кривой на плоскости. Исключая из уравнений (3) *r*, получаем:

$$z^2 \cdot \sin^2 2\vartheta + 2R \alpha z \cdot \sin \varphi - R^2 \cdot \cos^2 2\vartheta = 0.$$

Решая это уравнение относительно г, находим:

$$z = \pm R \cdot \operatorname{ctg} 2\vartheta - \frac{R \, \alpha}{\sin^2 2\vartheta} \sin \varphi, \qquad (4)$$

т. е. уравнение синусоиды (фиг. 7). Отбрасывая аддитивную константу, получаем уравнение в виде:

$$z = \left(-\frac{R\alpha}{\sin^2 2\vartheta}\right)\sin\varphi.$$

Амплитуда синусоиды $\frac{R\alpha}{\sin^2 2\vartheta}$; если $\alpha = 0$, то синусоида превращается в прямую линию, и рентгенограмма в этом случае состоит из ряда параллельных дебаевских прямых (на плоской пластинке перпендикулярной к первичному лучу, эти прямые получаются в виде кругов). Если имеет место искривление дебаевской прямой, это искривление можно наблюдать в случае, когда амплитуда синусоиды достигает величины в 1 *мм*, простым измерением Таким путем можно определить нижний предел угла α , которыё мы в состоянии измерить. Это значение α_{\min} определяется формулой:

$$a_{\min} = \frac{\sin^2 2\theta}{R} \,. \tag{5}$$

Эта формула показывает, что эффект искривления будет выра жен сильнее в отношении тех дебаевских конусов, для которых sin 20 мал, т. е. для первых и для последних линий. В случас алюминия для первого дебаевского конуса $20 = 38,5^{\circ}$, и для нашей камеры R = 28,6 мм. Подставляя эти значения, находим; $a_{\min} = 0,013$; или 47'. Таким образом уклонение первичного луча в 1° мож быть обнаружено по рентгенограмме.

§ 5. Ширина дебаевских линий в аксиальной камере для параллельного и расходящегося пучков

Ширина дебаевских линий определяется углом расхождения первичного пучка лучей, расстоянием центра испускания лучей от препарата, радиусом камеры, углом брэгговского отражения и положением пластинки. Положим сначала, что на препарат падает пучок параллельных рентгеновских лучей, перпендикулярный к плоскости пластинки; диаметр пучка — 2*a*, толщина препарата — *d*, брэгговский угол — ϑ . Для этого случая ширина линии не зависит от радиуса камеры *R*. Она слагается из двух частей (фиг. 8):

$$\Delta p = CA + AB.$$

Часть СА постоянна и равна толщине d (мы пока не учитываем поглощения лучей в толще материала и определяем максимальную



Фиг. 8. Шприна дебаевской линии для параллельного пучка.



Фиг. 9. Ширина дебаевской линин для расходящегося пучка.

возможную ширину линии). Другой элемент ширины линии AB изменяется как функция угла 8:

$$AB = 2a \cdot \operatorname{ctg} 2\vartheta.$$

Полная ширина линии

$$\Delta p = d + 2a \cdot \operatorname{ctg} 2\vartheta. \tag{6}$$

Применяя эту формулу, можно отбросить первый член d, так как он мал в сравнении со вторым членом. В большинстве случаев толщина исследованных нами пластинок была меньше 0,1 мм, в то время как 2a = 1,1 мм. Влияние толщины пластинки не может быть в этом случае обнаружено, так как оно равно или даже меньше ошибки измерения, которая не превышает 0,1 мм. Чтобы получить правильный порядок ширины линии, необходимо учесть эффект расхождения лучей в первичном пучке.

Определение ширины линии в случае расходящегося пучка можно произвести с помощью следующего построения (фиг. 9). Лусть в точке F находится точечный источник первичных лучей. На объект аа' падает пучок расходящихся лучей. Угол расхождения д. Пучок первичных лучей, падая на препарат, "освещает" на нем поверхность в форме диска, диаметр которого aa' = 2a. При диффракции возникают вторичные рентгеновские лучи, которые распространяются по направлениям, образующим угол 2ϑ с первичным лучом. Из этого условия получаем, что и пучок вторичных лучей также должен быть расходящимся с тем же углом расхождения δ , что и первичный пучок. В таком случае "зеркальное" изображение центра испускания будет лежать в точке K. Легко видеть, что точка K лежит на окружности, проходящей через точки F, K и хорду aa'. Ширина линии

$$\Delta p = AB \cong BC \frac{1}{\sin 2\vartheta};$$
$$BC = KD \cdot \delta;$$
$$KD = KO + OD = \frac{2a}{\delta} \cos 2\vartheta + \frac{R}{\sin 2\vartheta}$$

На основании этих формул получаем:

$$\Delta p = \Delta_1 p + \Delta_2 p = 2a \cdot \operatorname{ctg} 2\vartheta + \frac{R\delta}{\sin^2 2\vartheta}. \tag{7}$$

Первый член $\Delta_1 p$ идентичен со вторым главным членом в формуле (6); он дает проекцию "светящегося" диска *aa*' на пленку *PP* и справедлив для пучка параллельных лучей. Эффект расхождения учитывается вторым членом.

Угол расхождения пучка первичных лучей определяется, вообще говоря, конструкцией диафрагмы, размерами и формой фокуса и расстоянием фокуса от диафрагмы. В случае шарокого фокуса, какой обычно встречается у ионных трубок (в частности в трубке конструкции Васильева, с которой нам пришлось работать, фокус был очень размыт), угол расхождения д определяется геометрическими размерами канала диафрагмы:

$$\delta = \frac{2n}{l},$$

где *п* — диаметр канала;

1—длина диафрагмы.

В нашем случае n = 1 мм, l = 49 мм и для δ получаем 0,041, или 2°20'. Вычислим ширину линий для алюминия, пользуясь следующими константами: 2a = 1,12 мм и R = 28,7 мм и сравним с тем, что дает опыт. Соответствующие данные приведены в табл. 1.

Сравнивая Δp вычисленные и измеренные, можно заменить, что $\Delta p_{ebbu} \geq \Delta p_{usm}$. Этот результат и можно было предвидеть, так как мы вычислили максимальную ширину линин без учета поглощения лучей в толще препарата. Поправка на поглощение будет возрастать при увеличении угла 29, что мы в действительности и наблюдаем, так как разность $\Delta p_{ebbu} - \Delta p_{usu}$ возрастает вместе с углом 29.

Таблица 1

					p
$n_1 n_2 n_3$	29	$\Delta_1 p$	$\Delta_2 p$	вычислен- ная	измеренная
$111 \\ 002 \\ 022 \\ 113 \\ 222$	38,5 44,7 65,2 78,3 82,7	1,42 1,14 0,52 0,23 0,14	3,08 2,32 1,40 1,20 1,19	4,50 3,46 1,92 1,43 1,33	4,5 3,3 1,5 1,0 0,8

Ширина дебаевских линий для алюминия

§ 6. Распределение интенсивности по ширине дебаевской линии в аксиальной камере для параллельного пучка

Учтем теперь поглощение лучей в препарате и найдем распределение интенсивности по ширине линии. В основу расчета кладем два допущения:

1) ослабление пучка первичных лучей при прохождении в препарате происходит по экспоненциальному закону;

2) энергия отраженных лучей, испущенная некоторым объемом, пропорциональна энергии первичных лучей, поглощенных в этом объеме.

Самый расчет производим для пучка параллельных лучей, который падает перпендикулярно к поверхности пластинки. Пусть, следовательно, на пластинку толщины d падает пучок параллельных лучей сечением 2a (фиг. 10). Полная ширина линии на пленке, поставленной параллельно первичному лучу, будет AB. Направим ось x по AB и возьмем начало координат в точке A. Найдем интенсивность I_k в точке K. Определить ее можно следующим образом. Пусть начальная интенсивность первичных лучей. I_0 . Интенсивность в точке S будет:

$$I_s = I_0 \cdot e^{-\mu l},$$

где l = TS;

и --- коэфициент ослабления.

Энергия, поглощенная на элементе dy, будет:

$$I_{dy} = \overline{\mu} I_s \cdot dx,$$

где µ — коэфициент истинного поглощения.

При равномерном распределении отражающих плоскостей в толще материала определенная доля энергии поглощенных лучей превратится в энергию вторичных отраженных лучей и будет распространяться по направлению *РК*. Пусть эта доля равна *q*, причем q < 1. Для данного вещества и определенной длины волны q = q (ϑ). Точный вид этой функции нам не известен, поэтому мы можем определить ход интенсивности по ширине данной линии, в зависимости от ее положения, а не абсолютное значение интенсивностей. В точку K дойдет энергия I_{dy}^k , испущенная элементом dy.

$$I_{dy}^{k} = q I_{dy} \cdot e^{-\mu y},$$

где_SR = y.

Заметим, что $l = d - y \cos 2\vartheta$. Полная интенсивность в точке K будет:





Фиг. 10. Пути первичного и интерреренционного лучей в толще пластинки.

Фиг. 11. Распределение интенсивности по ширине дебаевской линии для параллельного пучка.

НЕУЧНО ТЕХН БИБЛИСТ

Раскрывая подинтегральное выражение, пользуясь приведенными выше выражениями, находим:

$$I_{k} = q \overline{\psi} I_{0} \cdot e^{-\psi d} \cdot \cos 2\vartheta \int_{R}^{P} e^{-2\psi y \cdot \sin^{2} 2\vartheta} dy.$$
(8)

Обозначим

2 СС. Жданов

 $p = q\overline{\mu} I_0 \cdot e^{-\mu d} \cdot \cos 2\vartheta,$

проинтегрируем и получим:

$$I_k = \frac{P}{2\mu \cdot \sin^2 \vartheta} \left(e^{-\frac{2\mu y \cdot \sin^2 \vartheta}{RP}} \right)_{RP}^0$$

Решая это выражение, найдем:

$$I_k^{II, III} = \alpha (1 - e^{-2\nu \cdot \sin^2 \vartheta \cdot RP}), \qquad (9)$$

где

$$\alpha = \frac{P}{2\,\mu \cdot \sin^2\vartheta}.$$

При интеграции считая, что *d* мало в сравнении с 2*a*, следует различать три области (фиг. 11) соответственно изображенным на фиг. 10. Найденный интеграл справедлив для участков *II* и *III*. Проинтегрируем теперь в области *I*; обратимся к фиг. 11. Начало координаты y попадает теперь в точку R', область интегрирования PR; имеем:

$$I_{k}^{I} = p \int_{R'R}^{R'P} I_{dy}^{k};$$
$$I_{k}^{I} = \alpha \mid e^{-2\mu y \sin^{2} \vartheta} \mid_{PR}^{RR'}$$

Найдем пределы интеграции в функции величины x. Если интегрируем в областях:

I
$$PR' = \frac{d}{\cos 2\vartheta}; RR' = \frac{d-x}{\cos 2\vartheta}$$

II $RP = \frac{d}{\cos 2\vartheta}$
III $RP = \frac{d}{\cos 2\vartheta}$
III $RP = \frac{d-x+2\mathbf{a}\cdot\operatorname{ctg} 2\vartheta}{\cos 2\vartheta}$
(10)

Подставляя эти пределы в найденные формулы, получаем:

 $I_k = I_k(x)$

Считая, что показатель функции достаточно мал, найдем приближенную формулу, пригодную для всех трех случаев сразу:

$$I_k = p \cdot RP. \tag{11}$$

По этой формуле интенсивность распределяется по ширине линии симметричным образом, как показано на фиг. 11.

В эти формулы должна быть введена поправка на расхождение лучей.

§ 7. Определение на рентгенограмме аксиальной камеры кривой тени, образующейся вследствие поглощения интерференционных лучей в препарате

Отметим еще одну интересную деталь. При съемке при наклонном положении пластинки по отношению к лучу мы наблюдаем на рентгенограмме тень от пластинки, которая вырисовывается в форме некоторой кривой.

Легко определить уравнение этой кривой. Для этого следует пересечь цилиндр плоскостью (фиг. 12) и определить уравнение кривой пересечения (эллипса) при распрямлении цилиндра в плоскость. Решим опять эту задачу в цилиндрических координатах. Уравнение плоскости, проходящей через ось x и наклоненной под углом а к оси y, будет:

$$z = y \cdot tg a.$$

Преобразуя по формуле $y = r \cdot \sin \alpha$, получаем уравнение в цилиндрических координатах. Полагая r = R для цилиндра, находим уравнение кривой пересечения:

$$z = R \cdot \mathrm{tg} \,\varphi \cdot \sin \varphi.$$

18

Рассматривая его как уравнение в декартовых коор инатех, видим, что уравнение кривой тени пластинки — синусоида, что в действительности на рентгенограммах и наблюдается. Амплитуда синусоиды $h = R \cdot tg \alpha$. Измерением амплитуды можно определить угол α по рентгенограмме и таким образом проверить точность установки пластинки по отношению к лучу.

Этот угол а можно определить также и по углу касательной к синусоиде в начале координат. В самом деле, тангенс этого угла равен $tg \alpha \cdot \cos \varphi$ и при $\varphi = 0$ равен $tg \alpha$.

III. ПОСТРОЕНИЕ ПОЛЮСНЫХ ФИГУР ДЛЯ Прокатного алюминия и дуралюмина

§ 8. Полюсные фигуры текстуры проката алюминия и дуралюмина

По изложенному выше способу полюсных фигур была исследована текстура проката дуралюмина, прокатанного после заводского отжига. В дуралюмине главная масса сплава приходится



Фиг. 12. Нахождение на рентгенограмме аксиальной камеры тени вследствие поглощения интерференционных лучей в толще пластинки.

на алюминий, так как суммарный процент всех компонентов, кроме алюминия (Cu, Mg, Mn) и примесей в дуралюмине, не превышает обычно 6%, Большая часть микрокристаллитов в дуралюмине является микрокристаллитами твердого раствора алюминия, имеющего тот же тип решотки, что и чистый алюминий. Величина параметра решотки твердого раствора в дуралюмине мало отличается от параметра алюминия. Это объясняется тем, что атомы меди, имеющие меньший объем, чем атомы алюминия, стремятся стянуть решотку алюминия, но этому противостоит обратное действие атомов магния, стремящихся растянуть решотку алюминия, так как объем атомов магния больше, чем объема атомов алюминия. Расчет, произведенный Gaylor и Preston, показывает, что взаимодействие атомов меди и магния, находящихся в твердом растворе, должно приводить к тем небольшим изменениям параметра решотки алюминия, которые удается наблюдать на рентгенограммах при точных измерениях.

Итак, кристаллическая решотка кристаллитов дуралюмина весьма мало отличается от решотки чистого алюминия, поэтому можно ожидать, что и текстуры деформации этих материалов будут весьма близкими.

По этой причине исследование текстуры дуралюмина проводилось при параллельном исследовании текстуры алюминия. Для исследования был взят заграничный алюминий (99,5%) и дуралюмин следующего состава:

4,11% Cu; 0,92% Fe + 0,62% Mg; 0,13% Si; 0,01% Mn,

остальное — алюминий. Прокатка была проведена на большом стане завода № 1. Алюминий прокатывался от 1 до 0,04 мм в 105 проходов, что соответствует 96% деформации, а дуралюмин прокатывался с 1,5 до 0, 05 мм в 120 проходов, что соответствует 96,7% деформации. Прокатка листов велась все время в одном направлении.

Рентгеносъемка проводилась на стеклянной разборной трубке конструкции Васильева ионного типа с медным анодом, работавшей все время на насосе. Для выпуска мягких характеристических лучей меди (К-серии) в трубке сделаны два окошка, на которые на шлифах насаживаются тонкие алюминиевые или слюдяные фильтры. Трубка работала при следующем режиме: 4-6 mA и 25-30 kV эффективных.

При съемке в аксиальной камере (радиус 57,3 мм) применялись двусторонние рентгеновские пленки "Агфа". При указанном режиме длительность экспозиции в аксиальной камере составляла от 2 до 5 часов.

Рентгеносъемка проводилась при различных ориентировках исследуемой пластинки относительно первичного пучка. Это достигалось поворотом пластинки либо около оси, параллельной направлению проката (W.R), либо около оси, параллельной поперечному направлению (Q.R). Следовательно, первичный пучок всегда лежал либо в плоскости Q.R - N.R, либо в плоскости W.R - N.R. В обоих случаях положение 'пластинки можно характеризобать углом а между нормалью N.R и первичным пучком.

В следующей таблице указаны углы, для которых получены рентгенограммы.

Таблица 2

Угод а	Ось вращения — направление проката										Ось вращения — поперечное направление									
Препарат	90°	80	70°	60°	50°	4 0°	3 0°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	7 0°	80°	90°	
Алюманий Дуралюмин	+	+	++	++		+		+++++	+	+				+++++			+++++		++	

Углы а, при которых получены рентгенограммы для алюминия и дуралюмина

На фиг. 13 приведена серия из шести рентгенограмм, типичная как для алюминия, так и для дуралюмина, так как рентгенограммы текстуры обоих материалов обнаруживают большое сходство, говорящее о сходстве текстур обоих материалов. В этой серии первые три рентгенограммы относятся к алюминию, остальные — к дуралюмину. Ось, около которой поворачивались исследуемые пластинки, — направление проката. Последовательность углов « такова:

№ рентгенограммы	81	91	78	96	88	90
Угол	0°	10°-	22°	61°	80°	86°



Фиг. 13. Рентгенограммы аксиальной камеры тэкстуры проката для различных углов а, а, б, с — алюминия; ı, д, с — дуралюмина. Ось поворота — направление проката.

Для рентгенограммы № 90 вследствие неточной установки пластинки по отношению к первичному лучу угол а на 4° отклоняется от 90°. Вообще уклонение действительных углов а, промеренных по рентгенограмме от углов, указанных в табл. 2, не превышает 2°.

Приведенные рентгенограммы показывают изменение положения максимумов текстуры на дебаевских кольцах при последовательном повороте пластинки. Все эти изменения полностью изображаются полюсными фигурами, которые были построены по рентгенограммам.

Полюсные фигуры нами построены для четырех граней, именно {111}, {200}, {220} и {113} в двух градациях интенсивности. На фиг. 14 изображены полюсные фигуры алюминия, а на фиг. 15--дуралюмина (для граней {111}, {200}, и {220}).

Сравнение фиг. 14 и 15 показывает, что полюсные фигуры прокатанного дуралюмина и алюминия весьма сходны; имеющиеся отклонения в очертаниях полюсных фигур не превышают 5°. Следовательно, кристаллические ориентировки в прокатанном дуралюмине и алюминии тождественны.

Полюсные фигуры прокатанного алюминия были получены также V. Göler и Sachs ¹ и Thewlis².

Полюсные фигуры, полученные нами и этими исследователями, весьма сходны. Это указывает на то, что ориентировки, имеющиеся в текстуре проката алюминия, характерны для данного материала и рода деформирования и в не большой степени зависят от условяй, при которых проведен процесс деформирования. Конечно это относится лишь к холодному деформированию и охватывает такие условия, как степень обжатия за один проход, скорости 'деформирования, исходная толщина, число проходов и изменение направления проката на обратное.

Беглый обзор полюсных фигур алюминия (и дуралюмина) позволяет сделать некоторые заключения о кристаллических ориентировках и их кристаллографических характеристиках. Во-первых, по направлению проката располагается ось [111], чем, конечно, не исключается возможность совпадения с осью проката других кристаллографических направлений, так как мы располагаем лишь четырьмя полюсными фигурами для наиболее важных граней. Оси [100] и [110] не лежат по направлению проката. С поперечным направлением совпадают направления [111] и [110]. По нормали к плоскости проката располагается направление ромбического додеказдра [110]. Направления осей куба не совпадают ни с одним главным направлением деформации.

Перечисленных данных еще недостаточно для выяснения всех кристаллических ориентировок, имеющихся на полюсных фигурах, но на основании их уже можно делать заключения о некоторых ориентировках, имеющихся в исследуемой текстуре. Не углубляясь сейчас в этот вопрос (к анализу полюсных фигур мы обратимся

¹ V. Göler und G. Sachs, "ZS. f. Phys.", 1927. 41, 973. ² T. Thewlis, "Phil. Mag." 1930, 10, 953.



55

конце

данной

работы §

20),

отметам лишь осно ь при проведении

основной

результат,

первой

нашей

выяснение

которого

ставилось

работы: текстура деформации мало текстура отличается от текстуры проката алюминия. проката дуралюмина ДЛЯ больших степеней

23

.

IV. ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛЮСНЫХ ФИГУР ФОТОГРАФИЧЕСКИМ ПУТЕМ

§ 9. Метод рентгеносъемки на движущейся кассете

Исследованием текстуры прокатанного дуралюмина была закончена первая часть работы. Последующая работа, проводившаяся с 1930 г. в рентгенографической лаборатории Государственного института цветных металлов, была посвящена главным образом разработке способа экспериментального получения полюсных фигур непосредственно на рентгенограмме. В результате этой работы была выработана конструкция аксиальной камеры с перемещающейся кассетой, в которой возможно получение текстурограмм, эквивалентных полюсным фигурам.

Существо предлагаемого метода лучше всего можно уяснить, исходя из представления о дебаевском кольце, как определенном "срезе" сферы проекции ¹.

Распределение максимумов на дебаевском кольце I (фиг. 1) такое же, как распределение плотности на гномоническом кольце III, получающемся в результате пересечения сферы проекции с гномоническим конусом III (конус нормалей к брэгговским плоскостям). При вращении сферы проекции около оси SS' (что соответствует вращению препарата около той же оси) гномоническое кольцо III пересекается с различными областями полюсной фигуры, следовательно, при вращении препарата максимумы текстуры на дебаевском кольце будут непрерывно менять свое положение и интенсивность, полностью исчезать или вновь появляться.

Изменение положения максимумов на дебаевском кольце можно полностью зафиксировать, производя рентгеносъемку дебаевского кольца на передвигающейся фотопластинке или пленке. Полученная в результате такой съемки рентгенограмма будет определенным образом соответствовать полюсной фигуре. Если заданы скорости вращения препарата и перемещения кассеты, то возможно указать способ перехода от рентгенограммы к полюсной фигуре в обычной проекции.

Соответственно двум указанным выше вариантам рентгеновских камер, наиболее пригодных для исследования текстур (камеры типа Лауэ и аксиальной камеры), можно предложить два типа камер с перемещающейся кассетой для получения текстурограмм, рассчитанных либо на дебаевские конуса с углом 2 $\vartheta < 45^\circ$, либо на дебаевские конуса с углом 2 $\vartheta > 45^\circ$.

В первом случае камера с перемещающейся кассетой конструируется на основе лауэвской камеры с плоской пластинкой, перпендикулярной к лучу, во втором случае в основу конструкции кладется аксиальная камера.

В своей работе мы имели в виду камеру аксиального типа и из нее исходили, так как преследовали цель фиксации дебаевских конусов с углами 2 в равными или большими 45°.

¹ См. например работу W. E. Schmid, "ZS. f. Phys." 1929, 56, 740, а также нашу статью в русском издании Глокера "Испытание материалов рентгеновскими лучами", стр. 314.

Предложенная нами в этом случае схема подобной камеры изображена на фиг. 16. Основная задача конструкции, помимо перемещения кассеты и координированного вращения препарата, состоит в выделении одного определенного дебаевского конуса и экранировании всех остальных конусов; эта цель достигается применением специальных передвижных бленд. *С О R F.*

На фиг. 16 XX — ось камеры и направление первичного пучка. В — держатель препарата О, который может поворачиваться около вертикальной оси, T, T — перемещающиеся цилиндрические бленды, с помощью которых круговая щель PP может быть поставлена на любом расстоянии от препарата О, и ширина этой щели может меняться в любых пределах.



Фиг. 16. Схема аксиальной камеры с перемещающейся кассетой.

Сквозь щель *PP* пропускается один дебаевский конус *AOB* с образующим углом 2⁹, который пересекается с цилиндрической фотопленкой *F*, укрепленной в кассете *K*, которая может перемещаться параллельно оси камеры *XX*. Рейка *R*, скрепленная



Фиг. 17. Акснальная камера с перемещающейся кассетой.

с кассетой, при этом передвижении приводит во вращение держатель *B*.

На основе изложенного принципа нами были осуществлены последовательно три различные модели аксиальной камеры с перемещающейся кассетой. В основу первой модели была взята аксиальная камера, изображенная на фиг. 5. В этой модели перемещение кассеты и вращение препарата производилосьот руки. При этих усло-

виях нельзя было использовать главное преимущество этого метода, заключающееся в непрерывном получении рентгенограммы. Хотя рентгенограмма и состояла из ряда отдельных тесно соприкасающихся дебаевских прямых (результат дискретного передвижения кассеты), она все же хорошо воспроизводила полюсную фигуру и давала возможность правильно оценивать интенсивности различных участков полюсной фигуры, так как такая рентгенограмма экспонировалась при одном и том же режиме рентгеновской трубки и, помимо колебавий в интенсивности рентгеновского излучения, в данном случае исключались также возможные неравномерности в процессе проявления, почти неизбежные при неодновременном проявлении серии из нескольких рентгенограмм.

В последующих моделях камера приводилась в действие электромотором. Последняя совершенная конструкция нашей камеры, изготовленная в мастерских Исследовательского института физики МГУ, изображена на фиг. 17. Характерная особенность этой камеры состоит в том, что она имеет основной цилиндр, на котором смонтированы перемещающиеся бленды, кассета и диафрагма. При этом можно добиться весьма точного совпадения осей этих деталей камеры с осью основного цилиндра. Если это условие не соблюдается, камера не может быть применена для точного количественного исследования ориентировок.

§ 10. Координатная сетка для перевода текстурограмм на стереографическую проекцию

Опишем некоторые свойства текстурограмм, получаемых в аксиальной камере с перемещающейся кассетой. Основным способом изображения результатов рентгеновского исследования остается стереографическая проекция. Поэтому необходимо указать способ перехода от текстурограммы к стереографической проекции или наоборот. Для этой цели служит сетка (фиг. 18) соответствующая градусной сетке на сфере или сетке Вульфа на стереографической проекции. На этой сетке параллели изображаются горизонтальными ирямыми (отсчет градусов ведется по вертикальной шкале), и меридианы изображаются одинаковыми по форме кривыми, отсчитываемыми по горизонтали.

Меридианы этой сетки строятся по уравнению:

$$\cos \frac{x}{R} = \operatorname{tg} \vartheta \cdot \operatorname{tg} \frac{\omega y}{v}, \qquad (12)$$

где *х* и *у* — декартовы координаты;

R — радиус кассеты;

9 — брэгговский угол для данного дебаевского конуса;

— угловая скорость вращения препарата;

v — линейная скорость поступательного движения кассеты.

Уравнение (12) показывает, что сетки, подобные сетке фиг. 18, зависят от угла ϑ , т. е. их нужно строить для того дебаевского конуса, с помощью которого ведется исследование текстуры.

Параллели сетки на фиг. 18 строятся по уравнению:

$$\sin\vartheta = \frac{\sin\varphi}{\cos\vartheta} \quad . \tag{13}$$

где *у* — координата на рентгенограмме и *q* — широта на сетке Вульфа.

На сетке фиг. 18 мы видим две половины — верхнюю и нижнюю, идентичные друг с другом. Они соответствуют двум половинам дебаевского кольца. Так как при вращении сферы одна половина дебаевского кольца проходит с некоторым запозданием через области, уже пересеченные другой половиной, то верхняя половина рентгенограммы повторяет картину, получающуюся на нижней половине рентгенограммы.

Мы не воспроизводим здесь сеток, связывающих текстурограммы со стереографической проекцией, так как эти сетки изменяются в зависимости от угла ⁸, т. е. зависят от размеров кристалличе-



Фиг. 18. Сетка для перехода от текстурограммы к стереографической проекции. Прямые сетки соответствуют параллелям сетки Вульфа. а кривые — меридианам. Данная сетка вычерчена для $\vartheta = 20^{\circ}$ 30 (для дебаевского конуса {111} при съемке с $K_{a} =$ излучением меди).

ской решотки исследуемого материала и длины волны, а также отношения $\frac{\omega}{v}$, являющегося постоянной камеры. По приведенным выше формулам эти сетки легко могут быть построены для любого случая.

§ 11. Определение ориентировок монокристаллов по рентгенограммам аксиальной камеры с передвигающейся сеткой

Аксиальная камера с передвигающейся кассетой может быть применена для определения ориентировки монокристаллов, хотя, повидимому основная область ее применения — поликристаллические металлы. Исследование монокристаллических препаратов ничем не отличается по технике эксперимента от исследования поликристаллических веществ. Так же как для поликристаллов, для монокристалла выбирается определенная грань, для которой подсчитывается угол Брэгга ϑ . Затем бленды устанавливаются так, чтобы они пропускали конус с образующим углом 2 ϑ (дебаевский конус); в дальнейшем эксперимент проводится так же, как для поликристаллического препарата. Все отличие будет заключаться в виде самих рентгенограмм. Для монокристаллов



Фиг. 19 а и б. Ось вращения [100]. Фиг. 20 а и б. Ось вращения [110]. Фиг. 19—23. Стереографические проекчии и текстурограммы кубических граней для различно ориентированных монокристаллов.

специфическая особенность рентгенограмм заключается в том, что они состоят из четких дискретных пятен.

Для определения ориентировки монокристалла можно пользоваться рассчитанной нами ранее координатной сеткой, по которой сразу можно отсчитать сферические углы нормалей к кристаллическим граням. Таким путем непосредственно от рентгенограммы переходим к стереографической проекции, т. е. сразу получаем



Фиг. 21 а и б. Ось вращения [111].

Фиг. 22 а и б. Ось вращения [112].

ориентировку кристалла ¹. При этом ориентировка монокристалла получается полностью, т. е. находятся не только индексы оси вращения, но и выходы кристаллографических осей на поверхность кристалла (если было фиксировано начальное положение кристалла).

В случае кубических кристаллов определение ориентировок делается весьма простым, если рентгеносъемку вести для дебаевского конуса кубических граней (200). При этом распределение

¹ В этом отнощении наш метод представляет больше удобства, чем метод Dawson "Phil. Mag." 1928, 5, 756.

пятен интерференции на рентгенограмме легко позволяет ориентироваться на самой рентгенограмме. Задача облегчается, если заранее рассчитать некоторые наиболее типичные случаи и построить для них теоретически рентгенограммы.

На фиг. 19 изображены стереографические проекции различно ориентированных монокристаллов. Положение монокристалла характеризуем кристаллографической осью, совпадающей с осью вращения. Выбранные нами пять ориентировок характеризуются следующими осями:

На тех же фигурах представлены соответствующие рентгенограммы, рассчитанные теоретически.

Подобные графики понадобятся для анализа текстур поликристаллических материалов. Распределение максимумов на рентгено-

грамме сложной текстуры можно получить, исходя из ориентировок монокристалла путем наложения максимумов от различных ориентировок монокристалла и симметричного их отображения в плоскостях симметрии, если последние имеются для данного рода текстуры. Но этот вопрос выходит за рамки настоя-



Фиг. 23 а и б. Ось вращения [135].

щего исследования, и к нему мы вернемся в другом месте.

Принципиальная применимость аксиальной камеры с перемещающейся кассетой для определения ориентировок монокристаллов ясна. Метод обработки получаемых результатов проще, чем при каком-либо другом способе, но необходимость изготовления сложного прибора, каким является предлагаемая нами камера в сравнении с камерой типа Лауэ, и несколько увеличенная экспозация ставят данный способ определения ориентировок монокристаллов в менее выгодные условия по сравнению с другими способами, например способом G. Sachs и Е. Schiebold¹.

§ 12. Построение текстурограмм для некоторых наиболее типичных текстур ¹

В ряде работ по текстурам были исследованы кристаллические ориентировки различных металлов, главным образом при деформировании их прокаткой. Основной материал по данному вопросу был получен G. Sachs и его сотрудниками. Эти исследователи получили большое число полюсных фигур для различных текстур.

Пользуясь координатной сеткой, применимой для нашего метода, построим, исходя из этих полюсных фигур, текстурограммы для некоторых текстур.

¹ G. Sachs und E. Schiebold, "ZS. f. Krist". 1926, 63, 34.

Начнем с текстуры рекристаллизации прокатанной латуни, исследованной в работе V. Göler и G. Sachs 1. Заимствуем из этой работы полюсную фигуру кубических граней {200} (стр. 494). За ось вращения возьмем направление проката W.R. Тогда текстурограмма для этого материала будет иметь вид, как на фиг. 24.

Несколько сложнее текстура проката алюминия. Для алюминия полюсные фигуры были получены Wever и Schmid, Göler и Sachs



Фиг. 24. Текстурограмма {200} рекристаллизации прокатанной латуни.

и автором. Берем полюсную фигуру кубических граней (200)



Фиг. 25 а. Текстурограмма {200} прокатанного алюминия. а ось вращения - направление проката; б ось вращения — поперечное направление.

и строим две текстурограммы (фиг. 25)-одну для вращения около направления проката W. R и другую для вращения около поперечного направления Q. R. Эти рентгенограммы имеют более сложный вид, чем текстурограмма раскристаллизованной латуни (фиг. 24). причина-текстура прокатки алюминия более сложная, чем текстура латуни.

В текстуре рекристаллизации латуни в основном имеется одна ориентировка кристаллитов, поэтому на текстурограмме мы видим пятна интенсивности ввиде небольших ограниченных областей. прокатанном алюминии текстура состоит по крайней мере из двух налагающихся ориентировок кристаллитов, а это приводит к образованию сложных узоров на текстурограмме.

Не менее любопытна текстура прокатки железа, определенная Г. Курдюмовым и G. Sachs ². Опять берем полюсную фигуру кубических граней (200). При выборе оси вращения параллельно направлению проката W. R-текстурограмма для кубических граней прокатанного железа имеет вид, как на фиг. 26. Сложное распределение максимумов в этом случае ясно указывает на сложность самой текстуры. По данным Курдюмова и Sachs эта текстура со-

V. Göler und G. Sachs, "ZS. f. Phys". 1929, 56, 485.
 G. Kurdjumow und G. Sachs, "ZS. f. Phys.", 1930. 62, 592.

стоит из двух сильных кристаллических ориентировок и третьей более слабой.

Построенные нами рентгенограммы показывают, что их вид в вависимости от характера текстуры может быть весьма сложным. Подобный перевод полюсных фигур на язык текстурограмм должен облегчить анализ текстурограммы и установить некоторые особенности и закономерности в их внешнем виде.



Фиг. 256. Текстурограмма (200) прокатанного алюминия *а* ось вращения — направление проката; б ось вращения поперечное направление.



Фиг. 26. Текстурограмма {200} проката железа. Ось вращения поперечное направление.

§ 13. Текстурограммы прокатанного и отожженного алюминия

Текстурограммы в настоящей работе мы получали во второй модели аксиальной камеры с перемещающейся кассетой, описанной ранее ¹.

В этой камере мы получили три серии текстурограмм. Каждая серия состояла из шести текстурограмм. Кроме того было проведено 75 контрольных съемок без перемещения кассеты. Длигельность экспозиции при контрольной съемке составляла обычно 1 час.

Контрольные съемки проводились с целью проверки правильности установки бленд, выделяющих определенный дебаевский конус, так как уже частичное проникновение сквозь щель другого дебаевского конуса приводило при съемке текстурограммы к наложению двух полюсных фигур, разделение которых почти невозможно, если только вид полюсных фигур неизвестен заранее.

В качестве объекта исследования нами был выбран прокатанный, а также отожженный алюминий двух сортов: одии прокатанный до 92⁰/₀, имел толщину 0,08 мм, другой, прокатанный до 96⁰/₀ был толщиной 0,04 мм.

Мы выбрали алюминий объектом исследования вследствие того,

¹ Сборник работ рентгенографической лаборатории Гинцветмета, 1932.

ذيغ دي

Характеристика текстурограмм, сиятых в аксиальной немере с перемещающейся кассетой

Таблица З

•

					<u></u>							
нтгено- Иы	Материал	ина жи	ращения	цо Дебая		озиция в тах	Per	КИМ	HCB B-	рада пе- цений	анцение	Примечания
Nè pe rpami		Толи	Осьв	Колы	Анод	Эксп(мину	kV	'nA	Интел	Интеј ремел	Перел	
17 20	Алюминий прока- танный, 96%	0,04 0,04	$egin{array}{c} Q \cdot R \ Q \cdot R \end{array}$	111	Fe Fe	240 240	30 30	20 20	Средняя Хорощая	$0 - 90^{\circ}$ $90 - 105^{\circ}$	уки	
26 30 34 39 51	" " " " " " " " " " "	$\begin{array}{c} 0,04\\ 0,04\\ 0,04\\ 0,04\\ 0,04 \end{array}$	$ \begin{matrix} W \cdot R \\ W \cdot R \\ Q \cdot R \\ Q \cdot R \\ W \cdot R \end{matrix} $	111 200 200 200 111	Fe Fe Fe Fe	880 850 830 560	30 30 30 30 30	20 20 20 20 20		$\begin{array}{c} 0 - 90^{\circ} \\ 0 - 90^{\circ} \\ 0 - 0^{\circ} \\ 0 - 0^{\circ} \\ 90 - 180^{\circ} \end{array}$	0 T D	•
54 75	500° 10 сек.	0,04 0,04	$W \cdot R$ $Q \cdot R$	111 200	Fe Fe	840	30 30	20 15	Сродняя Хорошая Средняя	$30 - 120^{\circ}$ $0 - 90^{\circ}$	r o p	Все последующие снимки на аппа-
91 94 98	9) 17 19	0,01 0,04 0,04	$egin{array}{c} Q \cdot R \ Q \cdot R \ Q \cdot R \ Q \cdot R \end{array}$	200 200 200	Fe Fe Fe	$1 \\ 923 \\ 923 \\ 1 \\ 018$	30 30 30	15 15 14,5	Хорошая Слабая	10 — 180° -45 до+45° 45 — 135°	0 K 0	рате Симменс Неудачный сни- мок из-за останов-
113 118 125	Алюмяний прока- танный, 92%	0,08 0,08	$\begin{array}{c} Q \cdot R \\ Q \cdot R \\ Q \cdot R \\ Q \cdot R \end{array}$	200 200	Mo Mo	913 907	45 45	14 14	Очень слабая Слабая	$0 - 90^{\circ}$ -20 $\mu_0 + 70^{\circ}$	ктр	ки мотора
139	дуралюмин прока- танный, 9⊥% "	0,54	$Q \cdot R$	200	Mo	940 970	45 45	14	Средняя Большая вуаль	—20 до+70° 0 — 90°	e H	Задержка кассеты
146 151	¥ 17	0,54 0,54	$egin{array}{c} Q \cdot R \ Q \cdot R \end{array}$	311 311	Mo Mo	908 958	45 45	14 14	Средняя Средняя	$0 - 90^{\circ}$ $0 - 90^{\circ}$	e	Задержка кассеты

что этот материал обладает большой прозрачностью, даже для мягких медных и железных лучей, и легко может быть приготовлен в виде пластинок нужной толщины. Текстура алюминия также хорошо исследована, и в нем в основном известны кристаллические ориентировки.

Алюминий исследовался нами как в прокатанном, так и после отжига в рекристаллизованном состоянии. Отжиг проводился в селитровой ванне при 500°; время выдержки в ванне—10 сек.; образцы закаливались охлаждением в воздухе.

Для выяснения вопроса, какая длина волны рентгеновского излучения более пригодна для съемок в аксиальной камере, мы выбрали излучения двух анодов—железного и молибденового. Длина волны в первом случае $\lambda_{kn} = 1,934$ Å, во-втором $\lambda_{kn} = 0,710$ Å.

При работе мы пользовались запаянными электронными трубками с четырьмя линдемановскими окошками. Съемка проводилась на двусторонних рентгеновских пленках как русских, так и заграничных.

В табл. 3 приведены данные, характеризующие условия, при которых были получены текстурограммы. Некоторые изэтих рентгенограмм воспроизведены на фиг. 27--32.

Переходим к более детальному описанию рентгенограмм по сериям.

Серия 1. В этой серии объектом служил холоднопрокатанный алюминий толщиной 0,04 мм; степень холодного проката—96°/о. Этот алюминий снимался с излучением $K_{\alpha} =$ серии железа. Текстурограммы получались для дебаевских колец {111} и {200}. Осью вращения были выбраны направления проката и поперечное направление; интервал угла вращения—90°. При 20 *МА* нагрузки и 30 kV_{эфф} хорошая интенсивность получалась при экспозиции в 15 час. (фиг. 27 и 28).

На репродукциях с этих рентгенограмм на более светлом сером фоне видны интенсивные черные области, симметрично расположенные около экваториальных средних линий на каждой половине рентгенограммы (поперечные линии на рентгенограммах, параллельные добаевским прямым, получаются вследствие того, что при съемке кассета перемещалась от руки с интервалами через 1 *мм*, препарат при этом поворачивался на соответствующий угол).

Присутствие на рентгенограммах черных интенсивных полос Эказывает на то, что в исследуемом материале имеется резко выраженная статистическая анизотропия. Симметричное распределение этих областей указывает на симметрию в распределении ориентировок и соответствует симметрии процесса проката.

На этих рентгенограммах с достаточной ясностью можно установить не только границы областей плотного заполнения, но и распределение интенсивностей в них. Таким образом из этих рентгенограмм мы получаем данные, с помощью которых можно установить не только кристаллографические индексы кристаллических ориентировок, но и относительные интенсивности последних.



Фиг. 27. Текстурограмма прокатанного алюминия (96%) деформации), снятая с железным излучением, для кольца {111}. Ось вращения — направление проката.



Фиг. 28. Текстурограмма прокатанного алюминия (96%) деформации), снятая с железным излучением для кольта {200}. Ось вращения — поперечное направление.



Фиг. 29. Текстурограмма рекристаллизации дуралюмина, снятая с железчым излучением для кольца {111}. Ось вращения—направление проката.
Сложный вид областей плотного заполнения на этих рентгенограммах указывает на сложность текстуры прокатанного алюминия, которая состоит по некоторым данным из нескольких различных ориентировок. Нахождением этих ориентировок мы будем заниматься в последнем параграфе этой работы. Сейчас можно констатировать, что в некоторых областях, примыкающих к экваториальной прямой, распределение интенсивности мало отличается от распределения интенсивности областей плотного заполнения на соответствующих полюсных фигурах.

Пока же можно сравнить фиг. 28 с фиг. 15, на которой изображена в стереографической проекции полюсная фигура прокатанного алюминия для грани {200}. Текстурограмма соответствует одной четверти начерченной диаграммы. Следовательно, полюсная фигура, полученная по обычному методу, и текстурограмма совпадают с точностью до нескольких градусов.

Серия 2. Эта серия также состояла из шести рентгенограмм, с № 7 по № 12 (см. табл. 3), и была получена с прокатанного алюминия толщиной в 0,04 *мм*, отожженного в течение 10 сек. при 500°.

На фиг. 29 и 30 приведены репродукции с текстурограмм этого материала, полученные также с излучением медного анода. Первая рентгенограмма относится к дебаевскому кольцу {111}; осью вращения выбрано направление проката; угол поворота, как и раньше—90°. На фиг. 30 изображена рентгенограмма для кольца {200} и для оси вращения, параллельной поперечному направлению.

На этих рентгенограммах также видна симметрия, соответствующая симметрии прокатанного материала, но эти рентгенограммы имеют две особенности, отличающие их от рентгенограмм прокатанного алюминия. Во-первых, рентгенограммы состоят из отдельных точек, показывающих, что в данном случае мы имеем дело с крупнозернистым рекристаллизованным материалом. Во-вторых, в распределении этих точек наблюдается анизотропия, но значительно слабее выраженная, чем в текстуре проката.

Итак, в текстуре рекристаллизации алюминия рассеяние кристаллических ориентировок значительно больше, чем в текстуре проката.

Распределение максимумов в текстуре рекристаллизации алюминия, как показывают приведенные рентгенограммы, отличается от распределения максимумов в текстуре проката. Следовательно, данные рентгенограммы не подтверждают установившегося взгляда о сходстве этих обеих текстур в алюминии.

Серия 3. По поводу этой серии можно сказать немногое. Она была заснята со специальной целью выяс ать на том же объекте пригодность молибденового излучения для съемки текстурограмм.

На фиг. 31 изображена рентгенограмма холоднокатанного алюминия для кольца {200}. Вследствие малого угла отражения рентгеновских лучей в этом случае происходит большое размытие линий, и рентгенограммы получаются весьма слабыми.

На фиг. 32 показана рентгенограмма с катаного дуралюмина



Фиг. 30. Текстурограмма рекристаллизации дуралюмина, снятая с железным излучением для кольца {200}. Ось вращения — поперечное сечение.



Фиг. 31. Текстурограмма прокатанного дуралюмина, снятая с імолибденовым излучением для кольца {200}. Ось вращения—поперечное направление.



Фиг. 32. Текстурограмма прокатанного дуралюмина, снятая з молибденовым излучением для кольца (113). Ось вращения — поперечное направление. для кольца {113}. Так как здесь угол отражения значительнс больше, то и рентгенограммы получаются более четкими. С молиб деновым излучением возможно получение текстурограмм с большими индексами, чем при медном излучении.

V. УЧЕТ ПОГЛОЩЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ В ПРЕПАРАТЕ

Во всех методах рентгеновского структурного анализа при оценке интенсивности интерференционных лучей необходимо учитывать пути, проходимые рентгеновскими лучами в веществе препарата. Для различных лучей эти пути могут быть различными, и тогда вследствие поглощения лучей в препарате интенсивность интерференционных лучей будет различной. Эта поправка в некоторых случаях весьма значительна; ее необходимо принимать во внимание особенно в тех случаях, когда приходится прибегать к вращению препарата во время экспозиции, и когда самый препарат по форме не является телом вращения.

В рассматриваемом нами методе форма образца может быть преимущественно двоякой: 1) ограниченная плоскопараллельная пластинка (случай прокатки, штамповки) и 2) круглый цилиндр.

В то время как для случая круглого цилиндра (при вращении около оси цилиндра) поправка на поглощение будет стационарна, для вращающейся пластинки в зависимости от угла поворота пути рентгеновских лучей в материале резко меняются, и поглощение может быть чрезвычайно большим, вплоть до полного исчезновения интерференций, как это для определенных направлений и обнаруживается на опыте (см. белые дуги на рентгенограммах, например фиг. 29). Необходимость выявления этих направлений не требует дальнейших пояснений.

Во всякой рентгеновской структурной съемке обычно приходится работать: 1) с препаратами, имеющими конечные размеры (в сравнении с эффектом поглощения рентгеновских лучей в данной толщине и шириной первичного пучка), и 2) с расходящимися пучками рентгеновских лучей. Поэтому интерференционные пучки обладают конечной шириной и в свою очередь являются расходящимися пучками, так что их интенсивность следует рассматривать как интегральную величину.

Выяснение эффекта поглощения рентгеновских лучей, помимо внесения соответствующей корректуры в результат исследования, поможет в дальнейшем решить также вопрос относительно оптимальной формы и размеров препарата. Недоучет последнего обстоятельства при переходе от материалов с одним коэфициентом ослабления к материалам с другим коэфициентом или при переходе к излучению с другой длиной волны может резко снизить эффективность экспериментальной работы. Этот вопрос мы рассмотрим особо в § 18.

Эффект поглощения интерференционных лучей слагается из поглощения первичного пучка и самих интерференционных лучей. Рассмотрим вначале только относительное поглощение одних вторичных интерференционных лучей.

А. ЭФФЕКТ ПОГЛОЩЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ЛУЧЕЙ

§ 14. Длины путей интерференционных лучей для случая вращающейся пластинки

В нашем выводе будем рассматривать пока поликристаллический препарат в форме плоскопараллельной пластинки, толщина которой 2b, а ширина и длина не ограничены (последние два условия несущественны, так как в дальнейшем, если понадобится, всегда можно ввести в формулу ограниченность размеров препарата).

При прохождении рентгеновских лучей сквозь вещество они ослабляются по экспоненциальному закону ¹:

$$\frac{I_l}{I_0} = e^{-\mu l};$$

и для данной длины волны-постоянная величина;

1-путь прохождения лучей в материале.

Найдем, как изменяются пути вторичных лучей в зависимости от угла поворота пластинки.

Выберем ортогональную систему координат следующим образом: по оси x направим первичный пучок, ось z пусть будет ось вращения пластинки. Положение пластинки определим углом α углом между нормалью к пластинке и осью x (фиг. 33).

Для начального положения $\alpha = 0$. Поместим при этом пластинку так, чтобы вся она помещалась в положительной части по оси x, т. е. при $\alpha = 0$ плоскости, ограничивающие пластинку:

$$x_1 = 0$$
 M $x_2 = 2b$.

Направим на пластинку узкий пучок первичных лучей по оси x. Каждую точку первичного пучка внутри препарата можно рассматривать за вершину дебаевского конуса (конус интерференционных лучей). Построим для нашего поликристаллического препарата дебаевский конус с вершиной в точке O. Для этого конуса пути интерференционных лучей в препарате будут максимальными. Образующий угол дебаевского конуса 28; 8-угол отражения, определяемый формулой Брэгга.

Выберем на дебаевском кольце, получающемся в результате пересечения дебаевского конуса с плоскостью x'z', точку M. Положение этой точки характеризуем азимутальным углом ψ, отсчитываемым от оси y.

$$I_l = I_0 e^{-\mu l};$$

где I₀ — падающая интенсивность;

I'- интенсивность после прохождения слоя толщины l;

μ - коэфициент ослабления (см. Глокер, стр. 40).

¹ Ослабление монохроматического пучка рентгеновских лучей при прохождении сквозь материял определяется формулой:

Через ось x и точку M проводим плоскость OQPMO', которая пересекает дебаевский конус также и в точке M' с азимутом $\psi_{M'} = \pi + \psi_{M}$. Эта плоскость пересечется также с плоскостями, ограничивающими пластинку по прямым OE и CD (фиг. 34). Отрезок OF—путь, проходимый интерференционным лучом, имеющим азимут ψ . Обозначаем OF = L. Находим L в функции углов α и ψ , углов поворота пластинки и азимута. Кроме того в значение Lв качестве параметра войдет угол 2 ϑ . Найдем координаты точки $F(x, y, \varepsilon)$, как координаты точки пересечения прямой OM, уравнение которой:

$$\frac{x}{\operatorname{ctg}\ 2\vartheta} = \frac{y}{\cos\psi} = \frac{z}{\sin\psi} = p, \qquad (14)$$



Фиг. 33. Пути интерференционных лучей во вращающейся пластинке.



Фиг. 34. Пути интерференционных лучей ом и ом¹ в толще пластинки для определенного азимута ψ.

(здесь через *р* обозначена общая величина этих отношений), с плоскостью II, уравнение которой:

$$x \cdot \cos \alpha + y \cdot \sin \alpha = 2b. \tag{15}$$

Решая совместно уравнения (14) и (15), находим значение параметра *р* для точки *F*. Обозначим это значение через *p*₁. Тогда:

$$p_1 = \frac{2b}{\cos \alpha \cdot \operatorname{ctg} 2\vartheta + \cos \psi \cdot \sin \alpha}$$
(16)

$$L^2 = x_1^2 + y_1^2 + z_1^2,$$

которая при подстановке значений $x_1y_1z_1$ из уравнения (14) дает.

$$L = \frac{p_1}{\sin 2\vartheta}.$$

Подставляя вместо p_1 его значение получаем:

 $L = \frac{2b}{\cos \alpha \cos 2\vartheta + \sin \alpha \cdot \sin 2\vartheta \cdot \cos \psi} = \frac{l}{\cos 2\vartheta + \sin 2\vartheta \cdot tg \alpha \cos \psi}; (17)$ $l = \frac{2b}{\cos \alpha}.$ (18)

Через *l* мы обозначили длину пути первичного пучка в толще препарата.

Уравнение (17) является уравнением поверхности и дает зависимость *L* от углов х и ψ. Эта поверхность для некоторых значений углов а и ψ изменяется весьма быстро и может обращаться в бесконечность. Для этих значений а и ψ интенсивность соответствующего интерференционного луча минимальна, а в случае рентгеносъемки с мягким излучением (железо, медь) исчезающе мала.

Отметим на рентгенограмме точки, соответствующие этому минимальному значению интенсивности. Для этого нужно рассмотреть значения L в области изменения углов α от 0 до π и углов ψ от 0 до 2π . Действительно, после поворота пластинки на 180° изменения α будут повторяться. Но для большей наглядности результата охватываем всю область изменений углов α , соответствующую повороту пластинки на 360° (так же, как мы это делали при построении координатных сеток § 10). Поэтому возьмем область изменения углов α и ψ ввиде квадрата со стороной 2π .

Этот квадрат при определенном значении соотношения $\frac{\omega}{v}^{1}$ можно непосредственно накладывать на текстурограмму и с ней

сравнивать.

Итак для выявления на текстурограмме областей с минимальным значением интенсивности вследствие большого поглощения для некоторых направлений интерференционных лучей необходимо определить условие, когда L возрастает до бесконечности, что соответствует:

$$\cos \alpha \cdot \cos 2\vartheta = -\sin \alpha \cdot \sin 2\vartheta \cdot \cos \psi$$

или

$$\cos \psi = -\operatorname{ctg} 2\vartheta \cdot \operatorname{ctg} \alpha. \tag{19}$$

Уравнение (19) дает связь между α и ψ , т. е. изображает в нашем квадрате некоторую кривую, которую можно назвать "кривой тени" (хотя на рентгенограммах эта кривая получается ввиде белой линии). Для угла $\vartheta = 22^{\circ}30'$ (этот угол близко подходит к значению брэгговского угла для отражения {200} алюминия в случае $K_{\alpha} =$ излучения меди) уравнение (19) дает

$$\cos \psi = -\operatorname{ctg} \alpha. \tag{19'}$$

Соответствующие данному случаю кривые тени построены на фиг. 35. Как показывает график, эти кривые напоминают сину-

¹ См. нашу статью в "Сборнике работ рентгенографической лаборатории Гинцветмета", 1932, Цветметиздат, стр. 44.

соиды. Амплитуда этой кривой равна 29, следовательно, при повороте от $\alpha = 0$ до $\alpha = \frac{\pi}{2} - 29$ мы находимся в области, где поглощение лучей не доходит до максимума. Так как для текстур прокатки или вообще для поликристаллических препаратов, для которых статистически анизотропное распределение кристаллитов таково, что имеются две перпендикулярные плоскости симметрии, необходимо для получения одной четверти сферического пояса полюсной фигуры поворачивать пластинку от $\alpha = 0$ минимум до

 $a = \frac{\pi}{2} - \vartheta$ (см. § 19), и мы обязательно попадем в область с сильным поглощением и притом тем большим, чем больше угол ϑ .







Фиг. 36. Модель, изображающая пути интерференционных лучей во вращающейся пластинке.

В известных случаях на это поглощение можно ввести соответствующую поправку, но обычно сделать это с достаточной степенью точности довольно трудно, а иногда и невозможно, так как поглощение ведет к полному исчезновению интенсивности.

В этих случаях соответствующий участок полюсной фигуры, если его исследование представляет особенный интерес, может быть получен и заснят, если он попадет в полосу квадрата от $\alpha = 0$ до $\alpha = \frac{\pi}{2} - \vartheta$, т. е. в область, где поглощение минимально. Для этой цели следует иначе ориентировать относительно препарата ось вращения, например взять за ось вращения перпендикулярное направление, лежащее в плоскости проката.

Кривая тени меняется при изменении углов 9. При переходе

к более мягким лучам, для которых углы в возрастают, это изменение направлено в неблагоприятную сторону, так как, с одной стороны, увеличивается коэфициент поглощения, а с другой—расширяется площадь, захватываемая тенью, и область "белых" участков на рентгенограмме возрастает. На рентгенограммах эти участки изображаются ввиде более или менее широких кривых полосок, форма и направление которых в точности соответствуют уравнению (19), как это можно видеть на фиг. 29.

Кривая тени, построенная на фиг. 35, выявляет лишь области с максимальным поглощением, а обратная величина L по уравнению (17) более или менее точно изображает ход интенсивности в областях, близких к этой тени, так как только в этих областях наблюдается резкое возрастание L.

Форма поверхности \hat{L} изображена на фиг. 36, где дана фотография модели, построенной по уравнению (17). Эта модель имеет два резко выступающих "горных хребта", проекция которых на горизонтальную плоскость и дает как раз кривую тени. Эта модель наглядно изображает уравнение (17) и показывает причину происхождения тени на рентгенограмме, но она не может быть непосредственно использована для внесения поправки на поглощение в остальных областях квадрата, так как интенсивность в любой точке рентгенограммы определяется более сложной зависимостью (см.§16).

§ 15. Длины путей интерференционных лучей в препарате цилиндрической формы

Модель поверхности L показывает во всяком случае, что в зависимости от угла поворота а и азимута ф поглощение резко меняется. Следовательно, для вращающейся пластинки при точном сравнительном определении интенсивности даже на одной и той же рентгенограмме придется учитывать поглощение, причем в данном случае поправка на поглощение будет по всей вероятности довольно сложной. Это обстоятельство заставляет обратить внимание на форму препарата, с тем чтобы подыскать форму препарата, более благоприятную в смысле абсорбционных явлений, чем ограниченная плоско-параллельная пластинка. В первую очередь здесь можно рассмотреть препарат, имеющий форму тела вращения, в простейшем случае — круглый цилиндр.

Выбор препарата, имеющего форму тела вращения, значительно облегчает введение поправки на поглощение, так как в этом случае поправка не зависит от угла поворота и является функцией одного только азимута ф, но самое определение этой поправки, так же как и расчет эффекта поглощения вторичных лучей в круглом цилиндре делаются более сложными, чем в случае плоскопараллельной пластинки. В самом деле, в случае пластинки для первичного пучка конечной ширины и с малым углом расхождения (обычно порядка 1—2°) можно расчленить первичный пучок на составляющие его геометрические лучи и решать эту задачу для любого составляющего луча, так как пути различных лучей в первичном пучке мало разнятся. Для препарата, взятого ввиде круглого цилиндра, такой метод неприменим, так как различные лучи первичного пучка находятся в неодинаковых условиях. Следовательно, в этом случае необходимо рассматривать интегральный эффект поглощения всех лучей первичного пучка. Поэтому большое значение на конечный результат имеют пределы, в которых нужно провести это суммирование. Эти пределы определяются размерами и расходимостью первичного пучка, а также размерами цилиндра и коэфициентом поглощения.

Не решая пока полностью задачи о поглощении рентгеновских лучей в цилиндрическом препарате, найдем для него пути интер-

ференционных лучей, рассматривая геометрический луч, проходящий через ось цилиндра перпендикулярно к этой оси. Таким образом мы рассматриваем пересечение конуса круглым цилиндром, аналогично тому, как в § 14 рассмотрели случай пересечения конуса плоскостью.

Возьмем, как и раньше, прямоугольную систему координат хуг и по оси х направим первичный луч, фиг. 37. Препарат ввиде



Фиг. 37. Пути интерференционных лучей в пилиндрическом препарате.

круглого цилиндра радиуса г поместим так, чтобы его ось совпала босью z. Построим дебаевский конус OABM с образующим углом 28. Цилиндр, заданный уравнением:

$$x^2 + y^2 = r^2. (20)$$

Пересечем прямой, заданной уравнением (14) (см. § 14), и найдем три координаты, — x₂, y₂, z₂, тогда:

$$\left(\frac{L}{z}\right)^2 = x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 = r^2 + z_2^2$$
$$x = \frac{z}{\operatorname{tg} \vartheta \sin \psi}$$

Так как

۶**۲**

$$y = \frac{z \cos \psi}{\sin \psi},$$

$$z_2 = \frac{r \cdot \sin \psi \cdot \operatorname{tg} 2\vartheta}{\sqrt{1 - \cos^2 \psi \cdot \operatorname{tg}^2 2\vartheta}}$$

Подставляя это значение в выражение для L, получаем:

$$L = \frac{2r}{\sqrt{\cos^2 2\vartheta + \sin^2 2\vartheta \cdot \cos^2 \psi}} = \frac{2r}{\sqrt{1 - \sin^2 2\vartheta \cdot \sin^2 \psi}}.$$
 (21)

Графическое изображение этой функции для $\vartheta = 20^{\circ}$ показано на фиг. 38. Кривая располагается над прямой на высоте 2r от оси абсцисс и дважды доходит до максимума при $\psi = \frac{\pi}{2}$ и $\frac{3\pi}{2}$, т. е. для точек *A* и *B* на фиг. 37. Избыток пути в этих точках в сравнении с диаметром цилиндра — амплитуда кривой:

$$a = \frac{2\left(1 - \cos 2^{\frac{1}{9}}\right)}{\cos 2^{\frac{1}{9}}} = \frac{4\sin^2 \theta}{\cos 2^{\frac{1}{9}}},$$

быстро вырастает с увеличением угла 0, и следовательно, "контрастность" абсорбционного эффекта на рентгенограмме при этом возрастает.

Б. УЧЕТ ПОГЛОЩЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО ПУЧКА И ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ЛУЧЕЙ

§ 16. Вывод формулы, выражающей интенсивность в различных точках текстурограммы, для случая вращающейся пластинки.

Существенная особенность, характерная для препарата, имеющего форму пластинки, вращающейся во время съемки, состоит в том, что при вращении путь первичного пучка *l* меняется по



Фиг. 38. График, изображающий пути интерференционных лучей в цилиндрическом препарате в зависимости от азимута

(по формуле
$$L = \frac{2r}{\sqrt{1-\sin^2 2\vartheta \sin \psi}}$$
).

закону секанса [см. формулу (18)], т. е. в определенных интервалах резко возрастает, поэтому, оценивая пути интерференционных лучей для какоголибо азимута ψ, мы должны учитывать ширину пластинки l. По заданному направлению в толще препарата идет пучок интерференционных лучей, и разные лучи этого пучка проходят разные пути. Кроме того следует учесть, что они образовались на разных глубинах в толще препарата, и следовательно, там интенсивность первичного пучка будет различной. Учтем эти два обстоятельства для вращающей-

ся пластинки, производя, таким образом, полный расчет интенсивности для бесконечно-узкого первичного пучка. Так как мы уже отмечали в предыдущем параграфе, что для случая пластинки разные геометрические лучи в расходящемся пучке находятся примерно в одинаковых условиях, то получаемая формула в общем более или менее точно передает характерные особенности в распределении интенсивности на всей рентгенограмме.

Возьмем, как и выше, ортогональные оси xyz (фиг. 39). Перпендикулярно к оси x проводим плоскость Q, на которой получаем сечения дебаевских конусов ввиде колец. Так как путь первичного луча равен отрезку l, то дебаевское кольцо будет иметь конечную пирину, равную $ltg 2\vartheta$. Рассмотрим значение интенсивности дебаевского кольца для какого-либо значения азимута ψ . Для этой цели проводим на фиг. 39 плоскость, проходящую через ось x и наклоненную под углом ψ . Эта плоскость пересекается по двум прямым с ограничивающими пластинку плоскостями, а также по двум прямым с внешним и внутренним дебаевскими конусами.

Изобразим эту плоскость отдельно (фиг. 40). ОF и BG — прямые, ограничивающие пластинку. Найдем уравнение прямой BG; в [координатах x, z оно имеет вид:

$$x \cdot \cos \alpha + \overline{z} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \psi = 2b.$$
 (22)





Фиг. 39. Распределение интенсивности по ширине дебаевской линии при косом положении пластинки.

Фиг. 40. Расчет поглощения первичного и интерференционного лучей.

Прямые OD и CE — образующие внешнего и внутреннего дебаевских конусов. Интенсивность дебаевского кольца по ширине DEнепрерывно меняется. Найдем значение этой интенсивности для луча, приходящего в точку k, отстоящую от точки D на расстоянии x_1 . Очевидно, что $OA = x_1$. Определяем величину отрезка AB = s. Уравнение прямой AK

$$\overline{z} = (x - x_1) \operatorname{tg} 2\vartheta. \tag{23}$$

Решая уравнения прямых *BG* и *AK*, находим координаты точки *B* их пересечения:

$$x = \frac{2b + x_1A}{\cos \alpha + A}$$

И

 $\overline{z} = \frac{2b - x_1 \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha + A} \operatorname{tg} 2^{\vartheta},$

где

 $A = \sin \alpha \cdot \cos \psi \cdot \operatorname{tg} 2^{\vartheta}.$

Длина отрезка:

$$AB = s = \frac{\overline{z}}{\sin 2\vartheta} = \frac{2b - x_1 \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha \cdot \cos 2\vartheta + \sin \alpha \cdot \cos \psi \cdot \sin 2\vartheta} = L - \frac{L}{l} x_1. \quad (24)r$$

Найдем теперь интенсивность луча AK. Пусть начальная интенсивность первичного пучка I_0 и интенсивность его на глубине x_1 (т. е. в точке A) $I_0 \cdot e^{-\mu x_1}$, где μ —коэфициент ослабления. Выделим около точки A малый элементарный объем dv, который можно рассматривать как вершину дебаевских конусов, возникающих вследствие интерференции рентгеновских лучей в микрокристаллитах, содержащихся в этом объеме (следовательно, мы выбираем все такой же объем dv, в котором содержится еще большее число микрокристаллитов). Положим, что в нашей пластинке имеется полная дезориентировка кристаллитов. Обозначаем через q долю интенсивности первичного пучка, которая превращается в интенсивность интерференционных лучей, распространяющихся по данному направлению, т. е. по одной из образующих дебаевского конуса. В таком случае интенсивность интерференционного луча, приходящего в точку K, выразится следующим образом:

$$I_{x_1} = I_0 \cdot e^{-\mu x_1} \cdot q \cdot e^{-\mu s}.$$

Подставляя уравнение (24), получим:

$$I_{x_1} = I_0 q \cdot e^{-\mu \left(L - \frac{L-\iota}{\iota}\right)}.$$

Найдем теперь интегральную интенсивность интерференционных лучей, идущих по данному направлению, т. е. интенсивность лучей, попадающих на рентгенограмме в область с координатами α и ψ . Назовем эту интегральную интенсивность через $I = I(\alpha, \psi)$.

$$I = \int_{0}^{x_{10}} I_{x_{1}} \cdot dx_{1} = q I_{0} \cdot e^{-\mu L} \int_{0}^{l} e^{\mu x_{1} \frac{L-l}{l}} \cdot dx_{1}.$$

В этом интеграле верхний предел $x_{1c} = OC = \frac{2b}{\cos \alpha} = l$. Производя интегрирование, получаем:

$$I = \frac{I_0 q \cdot e^{-\mu L} \cdot l}{\mu (L-l)} \left| e^{\mu \frac{L-l}{l} x_1} \right|_0^l = \frac{I_0 q l \cdot e^{-\mu L}}{\mu (L-l)} [e^{\mu (L-l)} - 1].$$

Итак

$$\dot{I} = \frac{I_0 q l}{\mu (L - l)} \left(e^{-\mu l} - e^{-\mu L} \right) = a \frac{l}{\bar{L} - \bar{l}} \left(e^{-\bar{l}} - e^{-\bar{L}} \right).$$
(25)

Два последних выражения изображают интенсивность в окончательной форме. Здесь *l*, *L*, а также \overline{l} , $L(\overline{l} = \mu l, \overline{L} = \mu L)$ являются функциями а и ψ [см. формулы (17) и (18)], а — константа, меняющаяся для различных дебаевских колец; $a = \frac{I_0 q}{u}$.

В найденной формуле под квадратной скобкой стоит разность двух экспоненциальных членов и конечный результат можно выразить в следующей форме: интенсивность интерференционных лучей для любого значения переменных а и ф пропорциональна разности ослабления первичного пучка, прошедшего сквозь пластинку, минус ослабление интерференционного луча, идущего по данному направлению. Эта разность, рассматриваемая как функция толщины пластинки 2b, имеет определенный максимум, изысканием которого мы займемся в дальнейшем, в § 17; таким образом подходим к решению вопроса об оптимальных размерах препарата.

Проанализируем формулу (25). Находим нулевые значения функции *I*; для этой цели решаем уравнение:

$$\frac{l}{\overline{L-\overline{l}}}\left(e^{-\overline{l}}-e^{-\overline{L}}\right)=0.$$

Это уравнение удовлетворяется в случаях:

1)
$$\overline{l} = 0, 2) \ \overline{L} - \overline{l} = \infty \ \text{II} \ 3) \ e^{-\overline{l}} - e^{-\overline{L}} = 0.$$
 (26)

Первый случай, $\overline{l} = 0$, не реализуется ни при каких значениях. переменных α и ψ .

Во втором случае, $\overline{L} - \overline{l} = \infty$, мы получаем:

$$\frac{2\sin^2\vartheta - \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin 2\vartheta \cdot \cos \psi}{\cos 2\vartheta + \operatorname{tg} \alpha \sin 2\vartheta \cdot \cos \psi} = \infty.$$

Здесь следует учитывать две возможности:

$$tg \,\alpha \cdot \cos \psi \cdot \sin 2\vartheta = \infty; \tag{27a}$$

$$\cos \psi = -\operatorname{ctg} 2\vartheta \cdot \operatorname{ctg} \alpha. \tag{276}$$

Формула (27а) дает $\cos \alpha = 0$. На рентгенограмме (фиг. 41) в этом случае мы получаем при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ и $\alpha = \frac{3\pi}{2}$ прямые линии. Условие (27а) соответствует тому случаю, когда первичный пучок падает параллельно плоскости пластинки. При этом $l = \infty$, и поглощение первичного пучка весьма велико. Нетрудно видеть, что при $\psi = \frac{\pi}{2}$ эта прямая не будет прерываться. Кроме того ясно, при $\alpha = \frac{\pi}{2}$ и $\psi = \frac{\pi}{2} L = \infty$, следовательно, при этих значениях переменных *I* будет иметь нулевое значение. Рентгенограммы (фиг. 29) показывают, что случай (формула 27а) в действительности реализуется, а прямые белые полосы в некоторых случаях резко видны.

Случай формулы (276) мы уже получали раньше — см. формулу (19), которая представляет не что иное как уравнение хребта поверхности L, где L принимает значения, раьные бесконечности. Таким образом формула (276) выражает полное поглощение интерференционных лучей для определенных направлений. Соответствующие кривые построены на фиг. 41 и отмечены цифрой II. Кривые минимальной интенсивности, соответствующие формуле (276), также обнаруживаются на рентгенограммах (см. § 13).



Фиг. 41. Нулевые значения интенсивности на текстурограмме, получаемые при анализе формулы (25).

Наконец третий случай (см. Выражение 26) приводит к уравнению $e^{-\overline{l}} = e^{-L}$, откуда получаем l = L, но при этом знаменатель в формуле (25) также обращается в нуль. Итак, третий случай приводит к неопределенности вида $\frac{0}{0}$. Раскрывая эту неопре-

деленность, получаем: $\mu \cdot e^{-\mu L}$, где значение L определяется из условия L = l. Следовательно, третий случай не дает нулевых значений функции I. Все нулевые значения функции I определяются условиями формул (27a) и (276).

Для определения распределения интенсивности на рент-

генограмме, в частности подходов к областям, где I = 0, необходимо прибегнуть уже к расчету по формуле (25) для определенных значений углов ϑ , α и φ .

VI. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕ-СКИХ ОРИЕНТИРОВОК

§ 17. Выбор оптимальных размеров и формы препарата

Форма препарата играет большую роль, так как в основном форма определяет поправку на поглощение. Вопрос о выборе наиболее рациональной формы препаратов для рентгеновского исследования текстур мы рассмотрим в конце этого параграфа. Сейчас остановимся на двух наиболее типичных формах, с которыми почти исключительно приходится иметь дело на практике: 1) плоско-параллельной пластинке и 2) круглом цилиндре и выясним, каковы должны быть размеры (например толщина пластинки) этих препаратов в зависимости от длины волны и коэфициента поглощения, чтобы ослабление интенсивности интерференционных лучей вследствие поглощения было минимальным.

Начнем со случая плоско-параллельной пластинки, поставленной перпендикулярно к первичному пучку. Выделим в первичном пучке какой-нибудь луч XX, фиг. 42. Крайние интерференционные лучи OD и CE, составляющие угол 2 ϑ с первичным, определят пирину дебаевской линии. Полная пирина DE = OC = 2b. В точке k интенсивность интерференционного луча определяется функцией I_x , (см. § 16), в которой полагаем $\alpha = 0$. Следовательно, в любой точке интервала можем най-

ти интенсивность интерференционного луча из уравнения

$$I_{x} = I_{0} \quad q \cdot e^{\left(L - x\frac{L - l}{l}\right)}$$

здесь l = 2b и $L = \frac{2b}{\cos 2\vartheta}$. При увеличении x возрастает и I_x ; таким образом для бесконечно-тонкого луча интенсивность дебаевской линии увеличивается к переднему краю, так что распределение интенсивности по ширине выражается примерным графиком фиг. 42.

Интегральная интенсивность, т. е. величина заштрихованной площади, ограниченной этой кривой, выражается формулой (25); при l = 2b и L = 2b



Фиг. 42. Распределение интенсивности по ширине дебаевской линии при перпендикулярном падении для бесконечно-узкого первичного пучка.

$$I = a \frac{\cos 2\vartheta}{1 - \cos 2\vartheta} \left(e^{-p} - e^{\frac{p}{\cos 2\vartheta}} \right) = a \Theta \left(e^{-p} - e^{\frac{p}{\cos 2\vartheta}} \right), \quad (28)$$

где

cos 29'

$$p = \mu \ 2b, \ \Theta = \frac{\cos \ 2\vartheta}{1 - \cos \ 2\vartheta}.$$

Найдем максимум функции I в зависимости от *p*. Диференцирование по *p* дает

$$\cos 2\theta \ e^{-p_{\mathcal{M}}} - e^{-\frac{1}{\cos 2\theta}} = 0,$$

или

4

$$\cos 2\theta = e^{-\frac{p_{\mathcal{M}}}{\Theta}}$$

Логарифмируем последнее выражение:

$$\frac{P_{\mu}}{\Theta} = -\ln \cdot \cos 2\vartheta;$$

$$P_{\mu} = -\Theta \ln \cos 2\vartheta = -\frac{\cos 2\vartheta \cdot \ln \cos 2\vartheta}{1 - \cos 2\vartheta}.$$
(29)

Формула (29) определяет значение $p_{_{M}}$, при котором функция I г. С. жданов 49 имеет максимум, для случая пластинки¹. Зная значение *P_м* и коэфициент ослабления рентгеновских лучей, находим оптимальную толщину пластинки

$$2b_{\star} = \frac{P_{\star}}{\mu}.$$
 (30)

Уравнение (29) показывает, что в зависимости от того, с какими дебаевскими кольцами мы работаем, меняется оптимальная тол-



¹ Интенсивность луча дебаевского конуса с образующим углом 28 можно приближенно рассчитать более простым путем. Так, в одной из своих работ Брэгг определяет эту интенсивность на основании следующего несложного рассуждения. Интенсивность интерференционных лучей в известных пределах можно считать просто пропорциональной числу рассенвающих атомов, т. е. массе вещества, пронизываемой первичным пучком, а для случая плоской пластинки — ее толщине d. Так как интерференционные лучи в зависимости от угла в проходят d

в толще материала различные пути, пропорциональные $\frac{1}{\cos 2\vartheta}$, то их интенсив-

ность будет кроме того пропорциональна $e^{-\cos 2q}$. Таким образом интенсивность интерференционного луча можно выразить так:

$$I = ad \cdot e^{-\frac{\mu d}{\cos 2\vartheta}} = a'p \cdot e^{-\frac{p}{\cos 2\vartheta}},$$

где $a = a\mu$; а н a' — постоянные. Диференцируя это выражение, вместо выражения (28) находим оптимум $p_{,\mu} = \cos 2\vartheta$, соответствующий формуле (29).

График функции $p_{,\mu} = \cos 2\vartheta$ проходит довольно близко к графику фиг. 45, изображающему функцию (29), но, как правило, первая формула дает для одних и тех же углов ϑ меньшие значения $p_{,\mu}$, чем это следует по формуле (29). Таким образом оптимум толщины, рассчитываемый более простым путем, оказывается смещенным в сторону меньших толщин, причем разница доходит до 400/₈ от данной толщины.

щина. Следовательно, каждый дебаевский конус имеет свой определенный оптимум, применимый лишь к ограниченному интервалу углов.

Йостроим график функции P_{n} . Эта функция является произведением двух функций: Θ и ln cos 2 ϑ . На фиг. 43 изображен график функций Θ , а на фиг. 44 — отдельно график функции ln cos 2 $\vartheta = \frac{lg \cos 2\vartheta}{0.434}$. Фиг. 45 представляет функцию p_{n} .

Чтобы оценить значение формулы (29), необходимо выяснить, каков характер максимума функции (28), — это позволит найти допустимые пределы отступлений от значений, даваемых формулой (28), без значительного ущерба в интенсивности. Соответствую-







Фиг. 46. Кривые интенсивности в зависимости от толщины препарата.

щие кривые приведены на фиг. 46. Эти кривые рассчитывались по формуле:

где

$$I = \Theta \cdot P$$
,

$$P = e^{-p} - e^{-\frac{p}{\cos 2\theta}}$$

Расчеты произведены для следующих значений углов 9: 0°; 10°; 20°; 30°; 40° и 45°. Константа а для различных углов 9 взята одинаковой. Эти кривые в соответствии с изложенным показывают, что при переходе к большим углам максимум на кривой интен-

Как видно из хода кривых интенсивности (фиг. 46) для малых толщин интенсивность падает весьма быстро, следовательно, сравнительно небольшое отклонение от оптимума в сторону меньших толщин может регко сказаться на интенсивности. Поэтому при определении порядка величины толщины исследуемых, пластинок можно пользоваться приближенной формулой $p_{M} = \cos 2\vartheta$, а для более точного подсчета этой толщины следует применять формулу (29), полученную на основе более детального анализа поглощения первичного и интерференционного лучей в толще пластинки.

сивности смещается влево, т. е. в сторону малых толщин. Весьма существенно и то обстоятельство, что правые нисходящие ветви этих кривых падают более полого, чем возрастают левые ветви этих кривых; следовательно, лучше взять толщины с некоторым преувеличением в сравнений со значениями, вычисляемыми по формуле (29). Это справедливо в особенности для малых углов ϑ , т. е. для первых дебаевских конусов, на которых как раз наиболее удобно производить исследование текстур в силу большей четкости максимумов текстуры.

Анализируя правые ветви кривых фиг. 46, можно отметить, что при переходе к большим углам ϑ кривые падают более круто, т. е. при увеличении толщины пластинки интенсивности более высоких порядков (но до $\vartheta = 45^{\circ}$) ослабевают быстрее, чем для первых дебаевских конусов.

Общий ход кривых интенсивности показывает, что максимум их достаточно тупой. Это обстоятельство позволяет выбирать сравнительно широкие пределы для толщины исследуемых пластинок, причем если и имеются отступления от размеров, указываемых формулой (29), то лучше брать большие толщины.

Для проверки правильности формулы (28) и в частности формулы (29) нами были проделаны некоторые эксперименты, подтвердившие в общем найденные закономерности. Некоторый, правда достаточно скудный, материал о толщинах применявшихся препаратов можно найти в литературе, но большинство указаний, рассеянных в разных работах, не позволяет сделать определенного вывода о том, каковы же в действительности оптимальные толщины для различных материалов и различных излучений. Эти выводы трудно сделать еще и потому, что интересующие нас указания высказываются в ряде работ попутно и без достаточно широкого подкрепления экспериментальными данными.

Рассмотрим случай исследования кристаллических ориентировок в алюминии. на котором нами была проделана большая часть экспериментальной работы. Рассчитаем оптимальную толщину алюминиевой пластинки для медного излучения серии K_a .

Таблица 4

Расчет оптимальных толщин алюминиевой пластинки при съемке с K_{α} — излучением меди

$h_1 h_2 h_3$	9	Угол 8, взятый для расчета		2 вм жм	p_1	P2	2 b ₁ жж	2 б2 жж	2 в _{ср} мм
111 002 002	19,5° 22,5° 32,5°	} 20° 30°	0,88 0,63	0,06 8 0 ,04 9	0,54 0,38	1,29 1,06	0,042 0,029	0,099 0,082	0,065 0,056

В этой таблице p, — значение p, дающее максимум функции I;

 $2b_{\mu} = \frac{p_{\mu}}{u}$. Для значения коэфициента ослабления $K_{\alpha} =$ излучения меди, в алюминии взята величина $\mu = 130; p_1$ и p_2 -два значения р, получаемые из кривой интенсивности при удалении от максимального значения интенсивности на 10%; 2b, и 2b2- соответствующие значения толщин. Наконец, в последнем столбце помещены средние значения из двух последних величин. Эти 26 представляют больший интерес, чем значение значения 2 в, получаемое по формуле (29) или кривой (фиг. 45). В основном при выборе нужной толщины препарата следует пользоваться величинами 2b_{ср}.

Итак, из таблицы мы берем два значения 2b_{cp} — 0,065 и 0,056 мм. Эти два числа показывают, что оптимум для двух первых дебаевских конусов, для которых угол в примерно одинаков и для тре-тьего конуса отличается на 0,009 мм, т. е. примерно на 14%, следовательно, желая исследовать текстуру по трем первым дебаевским конусам, мы должны из двух последних чисел взять среднее, т. е. 0,06 мм. Эта величина и является "оптимумом", применимым для данного случая.

В достаточном согласии с последней величиной находятся данные, указываемые F. Wever¹. Он сообщает, что при исследовании текстуры алюминия с медным излучением он пользовался пластинками, имевшими толщину от 0,05 до 0,07 мм. В другой работе F. Wever и W. E. Schmid² указывают толщину в 0,1 мм. Эта величина для угла $\vartheta = 20^\circ$ почти совпадает с величиной $2b_2$, т. е. для таких толщин интенсивность двух первых дебаевских конусов снижается на 10%, а для третьего конуса интенсивность снижается уже на 20%. Наши исследования текстуры катаного алюминия, относящиеся к 1929 г., также показали, что при толщинах порядка 0,06-0,08 мм для медного излучения получается хорошая интенсивность.

При переходе к другому излучению необходимо учитывать, с одной стороны, изменения брогговских углов — изменения сравнительно небольшие, а также изменения коэфициента ослабления рентгеновских лучей. Эти коэфициенты изменяются весьма значительно. Посмотрим, как изменяются оптимальные толщины алюминия, если производить рентгеносъемку с К = излучением молибдена. По данным Glocker³, коэфициент поглощения наиболее интенсивной линии К серии молибдена $\lambda = 0,710$ Å в алюминии $\mu = 14$ т. е. коэфициент ослабления уменьшается в 9 с лишним раз, и следовательно, в такое же число раз увеличатся оптимальные толщины.

Таблица 5 показывает, что оптемум для первых двух дебаевских колец в этом случае 0,74 мм, а для третьего кольца-0,66 мм.

¹ F. Wever, "ZS., f. Phys". 1924. 28. 69.

² F. Wever und W. E. Schmid, ,Mitt, a. d. K. W. Inst. f. Eisenforsch,", 1927, Abh, 90. ³ R. Glocker, Materialprüfung mit Röntgenstrahlen, 1927, S. 40,

Таблица 5

Расчет оптимальных толщин алюминиевой пластинки при съемке с K_{lpha} = излучением молибдена

$h_1 h_2 h_3$	ð	Угол в, взятый для расчета	$p_{_{\mathcal{M}}}$	2д " мж	<i>P</i> ₁	p_2	2 b ₁ мм	2 b2 mm	2 в _{ср} жж
111 002 022	8,7° 10,1° 14,3°	$\left. \begin{array}{c} 10^{\circ} \\ 15^{\circ} \end{array} \right.$	0,97 0,92	0,69 0,66	0,63 0,59	0,43 1,36	0,45 0,35	1,02 0,97	0,74 0,66

Следовательно, средний "оптимум" равен 0,70 *мм*, причем от него возможны отступления на $40^{0}_{/0}$ как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения толщины, т. е. пределы вариаций толщины $\pm 0,3$ *мм*. Такие отступления от оптимальных толщин вызовут снижение интенсивности первых трех дебаевских колец примерно на $10^{0}_{/0}$.

Указания относительно оптимальных толщин алюминия при съемке с излучением молибдена имеются в работе V. Göler и G. Sachs¹, в которой они сообщают, что удовлетворительные результаты получаются при толщинах алюминия, заключающихся между 1 и 2 мм. Эти величины больше указываемого нами оптимума в 1¹/2 — 3 раза.

Для выяснения этого расхождения нами была произведена съемка серии рентгенограмм при одних и тех же условиях с листового алюминия различных толщин. Исходный материал—катаный алюминий — имел толщину 0,08 мм. Из этого материала путем сложения отдельных листков изготовлялись объекты различной толщины (см. табл. 6).

Таблица в

Серия алюминия: толщина препаратов, снятых с K_{lpha} излучением молибдена

№ препарата	1	2	3	4	5	6	7
Число листков	1	3	7	1 2	19	25	44
Толщина жж	0,08	0,24	0 <u>,</u> 56	0,96	1,52	2,00	3,52

Все рентгенограммы этой серии снимались по возможности при одинаковых условиях на электронной трубке "Phönix" с молибденовым анодом, питавшейся от структурного аппарата Сименс.

¹ V. Göler und G. Sachs. "ZS. f. Phys". 1927, 41, 873.

Режим работы трубки: 14 MA_1 , 45 kV_s ; время экспозиции — 10 часов. Рентгенограммы получались в простой камере Лауэ конструкции Васильева на плоской пластинке, перпендикулярной к лучу. Диаметр отверстия диафрагмы - 2 мм. Расстояние от препарата до пластинки — 50,3 мм. Проявление всех рентгенограмм выполнялось одновременно в одной ванне (за исключением рентгенограммы с препарата № 7, заснятого дополнительно). Фотопластинки для всей серии брались из одной коробки. После окончания экспозиции каждой рентгенограммы и перед началом новой съемки производилась контрольная съемка первичного пучка. Хотя все эти условия в достаточной степени обусловили постоянный режим и однородность условий, при которых получались рентгенограммы, все же для исключения возможных колебаний и случайностей была проведена съемка повторной серин с тех же препаратов при тех же условиях, но с уменьшенной вдвое экспозицией. Данные обеих серий оказались весьма хорошо совпадающими друг с другом.

Аналогичная съемка была проведена для серии дуралюминовых образцов (см. ниже). Эти рентгенограммы приведены на фиг. 47—53. Они аналогичны рентгенограммам алюминия, только оптимальная толщина для дуралюмина сдвинута в сторону меньших толщин. Поэтому из экономии места мы не приводим репродукции рентгенограмм для серий алюминия, так как достаточно ясное представление об этой серии может быть получено по рентгенограммам 47—53.

Полученные рентгенограммы ясно показывают, что максимум интенсивности для первых четырех дебаевских колец получается для препаратов № 3 и 4, т. е. оптимум толщины лежит в пределах около 1 *мм*, так как для препарата № 5 заметно уже значительное уменьшение интенсивности. В согласии с изложенным при увеличении толщины препарата наиболее быстро ослабевает и этенсивность дебаевских колец с большими углами.

Интересную картину показывает область рентгенограммы, расположенная вокруг центрального пятна. На всем протяжении серии вплоть до препарата № 6 можно наблюдать все более интенсивное и четкое вырисовывание группы максимумов, повторяющих расположение максимумов на первых двух дебаевских кольцах. Эта группа центральных максимумов получается вследствие интерференции более коротковолнового излучения, чем К_а = серия молибдена. На фиг. 54 показано схематически распределение максимумов на первых двух дебаевских кольцах для рентгенограммы катаного алюминия, снятого с молибденовым излучением. С помощью полюсной фигуры текстуры прокатки алюминия можно установить, что при переходе к более коротким длинам воли, вплоть до очень малых длин, распределение максимумов на первых двух дебаевских кольцах не должно изменяться. Расположение центральных максимумов рентгенограммы препарата № 6 (где они хорошо видны) в точности соответствует схеме фиг. 54.

Принимая индексы этих колец за (111) и (200), подсчитываем соответствующую длину волны. Внешний радиус первого кольца







Фиг. 48. Толщина — 0,27 мм.



Фиг. 49. Толщина -0,54 мм.







Фиг. 50. Толщина — 0,72 мм.

Фиг. 51. Толщина — Фиг. [52. Толщина -] 1,08 мм.

1,35 мм.



Фиг. 53. Толщина-2,25 мм.

Фиг. 47-53. Рентгенограммы холоднокатаного дуралюмина различной толщины

равен 10,7 мм; брэгговский угол $\vartheta = 6^{\circ}$. По формуле Брэгга находим:

$$\lambda = \frac{8,08 \sin 6^{\circ}}{\sqrt{3}} = 0,48 \text{ Å}.$$

Эта длина волны весьма точно совпадает с краем полосы поглощения серебра (0,49 Å). Следовательно, появление центральных максимумов объясняется селективным поглощением коротковолновой части белого спектра в серебре бромосеребряного слоя эмульсии. Рассчитаем оптимум толщины для этого "монохроматического"

излучения. Среднюю эффективную длину волны найдем из среднего радиуса r = 9 мм:

$$\lambda = \frac{8.08 \sin 5^{\circ} 4'}{\sqrt{3}} = 0.41^{\circ} \text{ Å}.$$

Коэфициент поглощевия этой длины волны в алюминии $\mu = 2,7$. Подсчитывая оптимум для этой длины волны, получает толщину:

$$2b_{cp} = 3,6$$
 MM.

Чтобы проверить правильность этой цифры, был изготовлен препарат № 7 с суммарной толщиной 3,52 *мм*, на котором обнаружилось повышение интенсивности центральных пятен. Но для деба-

евских колец молибденового излучения толщина 3,52 мм оказывается слишком большой, поэтому все эти кольца почти целиком ослаблены. Таким образом появление центральных максимумов еше раз подтверждает правильность рассуждений, положенных в основу вывода формулы (29).

Перейдем теперь к случаю дуралюминнового образца. Оказывается, что в дуралюмине коэфициент поглощения молибденового излучения $\mu = 21,8$, т. е. значительно отличается от коэфициента поглощения алюминия. Поэтому оптимальные толщины для дуралюмина необходимо подсчитать особо, и в сравнении с толщинами алюминия они оказываются сдвинутыми в сторону меньших толщин. Так как брэгговские углы у дуралюмина такие же, как у алюминия, то оптимальные толщины для первого получаем умно-

жением толщины алюминия на $\frac{14}{21,8} = 0,64$.

Итак, средний оптимум для дуралюмина 0,7 · 0,64 ≈ 0,45 мм. Правильность этой цифры также была подтверждена экспериментальным путем — засъемкой серии рентгенограмм (фиг. 47-53), как это было сделано и для алюминия.



Фиг. 54. Расположение максимумов текстуры прокатанного алюминия (дуралюмина) на первых двух дебаевских кольцах при съемке с K_a излучением молибдена.

Таблица 7

Серия дуралюмина: толщины препаратов, снятых с K_a излучением молибдена

№ препарата	1	2	3	4	- 5	6	7
Число листков	1	-3	6	8	12	15	25
Толщина, жи	0,09	0,27	0,54	0,72	1,08	1,35	2, 25

Условия съемки этой серии такие же, как и выше для серии алюминия. Отличие состояло в том, что расстояние от препарата до пластинки было взято в 40 мм и диаметр диафрагмы был выбран меньше — 0,8 мм. Анализ этой серии (и той же серии, снятой повторно) показал, что наибольшей интенсивностью первые кольца обладают на рентгенограмме, снятой с препарата № 3, толщина которого наиболее близко подходит к оптимальной толщине 0,45 мм.

Так же как и выше, при увеличении толщины пластинки наблюдается увеличение интенсивности центральных максимумов, получающихся вследствие селективного поглощения коротковолновой части белого спектра в серебре светочувствительного слоя эмульсии. Оптимум для максимумов лежит при 3,6 · 0,64 = 2,3 мм, что и подтверждается рентгенограммой с препарата № 7 (фиг. 53).

При переходе к другим материалам, например меди, необходимо учитывать изменение коэфициента поглощения. Так, коэфициент поглощения $K_a =$ излучения медного анода в меди $\mu = 472$. Это дает оптимальную толщину 2 $b_{cp} = 0,018$ мм. Wever u. Schmid¹ в цитированной выше работе говорят, что они пользовались медными пластинками толщиной в 0,04 мм. Эта толщина лежит уже, вероятно, за оптимумом и, повидимому, слишком велика, что станет ясным если учесть еще и то обстоятельство, что большая часть рентгенограмм снимается при наклонном положении пластинки.

Резюмируя издоженное в настоящем параграфе, можно сделать вывод, что формула (29) и кривые фиг. 46 достаточно хорошо определяют оптимальную толщину для случая пластинки и, во всяком случае, дают возможность избегать грубых ошибок в определении оптимальных толщин.

Отметим в заключение еще, что при p = 0,69 интенсивность мервичного пучка убывает на $50^{\circ}/_{0}$. Эта величина p = 0,69 определяет так называемую толщину слоя (Halbwertsshicht). Так как для брэгговских углов меньше 30° величина p > 0,69, то при выборе толщины следует ориентироваться на то, чтобы толщина препарата была не меньше, чем толщина слоя, равная Halbwertsshicht.

При переходе к препаратам другой формы, чем плоскопараллельная пластинка, например к круглому цилиндру, мы встреча-

¹ l. c.

емся с некоторым затруднением при определении оптимальных размеров. Во всяком случае тут нельзя дать такого простого ответа, как для случая плоской пластинки, так как для круглого цилиндра задача об оптимуме в прежней формулировке не может быть поставлена. В самом деле, помимо размеров препарата необходимо учитывать размеры и расходимость первичного пучка, ширину получающейся дебаевской линии, распределение интенсивности на ней и т. д.

Для препарата ввиде круглого цилиндра, на который падает пучок более широкий, чем диаметр цилиндра, приходится считаться с тем, что для периферийных лучей пучка, падающих ближе к краю цилиндра, оптимум может быть не достигнут. В таком случае луч, проходящий через ось цилиндра, будет более приближаться к оптимуму, поэтому эта часть объема цилиндра даст более яркий интерференционный эффект. Так будет, пока диаметр цилиндра менее оптимальной величины $2b_{cp}$, найденной выше. Но если диаметр будет возрастать, то может случиться, что центральные области цилиндра попадут далеко за оптимумом, и на рентгенограмме дебаевские кольца образуются вследствие интерференции на краях цилиндра.

Следовательно, в случае круглого цилиндра можно рекомендовать изготовление препаратов с диаметром не менее оптимальной толщины 2ber для пластинки (для случая цилиндра пути интерференционных лучей всегда меньше, чем для пластинки соответствующей толщины). Если оптимум для данного излучения и рода материала очень мал, так что изготовление цилиндра соответствующего размера затруднительно, при установлении его размеров следует руководствоваться тем, чтобы ширина дебаевских линий не получалась слишком большой. В этом случае весьма возможно, что текстурные максимумы ренггенограммы не будут соответствосреднему статистическому распределению кристаллитов вать в просвечиваемом объеме. В самом деле, положим, что исследуется текстура холоднотянутой проволоки. Как было установлено в работе Schmid u. Wassermann 1, текстура внутри проволоки неоднородна. Это приведет к тому, что на рентгенограмме в случае выбора того или иного излучения текстура в основном будет соответствовать либо центральной, либо периферийной зоне. а поэтому заключения, выводимые по тем или иным рентгенограммам, могут несколько отличаться друг от друга.

Вопрос о том, каковы же условия (помимо выбора оптимальных размеров) для точного определения кристаллических ориентировок в случае цилиндрического препарата, исходя из максимумов текстуры, не может считаться в настоящее время полностью выясненным. Для получения исчерпывающего ответа необходимы дополнительные исследования, как экспериментального, так и расчетного порядка. Но вопрос, который мы здесь выдвигаем и ставим, возникает лишь при весьма точном исследовании кристаллических ориентировок или же в тех случаях, когда анизотропное распре-

¹ E. Schmidu G. Wassermann "ZS. f. Phys." 1927, 42, 779.

деление кристаллитов в исследуемом объеме неоднородно. При сравнительном исследовании текстуры для какой-либо серии препаратов обычно стараются вести исследование на препаратах однородных и по возможности одинаковых; при этих условиях уже непосредственное сравнение данных рентгеновского исследования дает возможность заключить о различиях, имеющихся в текстурах для этих препаратов.

Перейдем теперь к случаю съемки препарата с вращением Очевидно, что для тела вращения толщина и абсорбционный эффект с изменением угла поворота не изменяются. Иное дело — вращающаяся плоскопараллельная пластинка. Ее толщина по отношению к первичному пучку $l = \frac{2b}{\cos \alpha}$ все время возрастает, поэтому понятие "оптимума" здесь несколько усложняется. Если построить графически функцию l — функцию секанса, то можно видеть, что возрастание l происходит в сравнительно небольшой области. Поэтому для случая вращающейся пластинки можно выбирать толщины, близкие к оптимуму.

§ 18. Выбор дебаевского конуса и длины волны

Теоретически исследование ориентировок в поликристаллическом материале может проводиться на любом дебаевском конусе с индексами $\{h_1 \ h_2 \ h_3\}$. В самом деле, в решотке кристалла пучки нормалей для различных граней связаны между собой в пространстве определенным образом, поэтому от полюсной фигуры с какими-либо индексами $\{h_1 \ h_2 \ h_3\}$ можно перейти к полюсной фигуре с заданными индексами $\{h_1^1 \ h_2^1 \ h_3^1\}$. При этом переходе вид полюсной фигуры меняется и может либо усложняться либо упрощаться.

Это зависит от вида данной комбинации индексов и определяется "фактором повторяемости" (Haufigkeitsfaktor) ¹. Наиболее простой вид полюсная фигура имеет для кубических граней, так как она описывается концами шести нормалей. При переходе к полюсной фигуре октаэдра {111}, происходит некоторое усложнение вида полюсной фигуры, так как теперь полюсная фигура вычерчивается концами восьми нормалей. Аналогичным образом усложняется вид полюсной фигуры для грани ромбического додекаэдра {022}, так как в данном случае пучок нормалей состоит из 12 нормалей. Для граней {113} полюсная фигура будет уже весьма сложной, так как число нормалей, входящих в пучок, вырастает до 24. Такое большое число нормалей настолько густо заполняет пространство, что на полюсной фигуре почти вся сфера может оказаться усеянной нормалями, и чем больше число норма-

¹ Определение фактора повторяемости f производится по формуле:

$$f = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3}{n!} \cdot \frac{8}{2^m},$$

где п — число одинаковых индексов;

т — число нулей в миллеровских индексах, но формула пригодна для кубнческих систем (выведена С. Т. Конобеевским). лей, входящих в пучок, тем ближе полюсная фигура подходит к случаю беспорядочного распределения кристаллитов и тем труднее по такой полюсной фигуре вести анализ кристаллических ориентировок.

Ввиду изложенного ясно, это статистическая анизотропия в силу более простого вида полюсной фигуры наиболее ясно обнаруживается на полюсной фигуре грани с наименьшим значением фактора повторяемости *f*, т. е. в случае кубического кристалла на полюсной фигуре грани куба.

Такой выбор дебаевского конуса облегчает также кристаллографический анализ осей ориентировок. Действительно, для случая полюсной фигуры куба нормали образуют ортогональную связь трех прямых. Это дает возможность полностью использовать преимущества графического анализа с помощью сетки Вульфа, и самый анализ значительно упрощается и ускоряется.

Для проверки и подтверждения правильности найденных ориентировок можно с помощью этих ориентировок рассчитать вид полюсных фигур, а также построить самые полюсные фигуры для граней с другими индексами и путем сравнения с полюсными фигурами, полученными экспериментально проверить правильность результатов анализа.

Перейдем теперь к вопросу о наиболее подходящей длине волны рентгеновского излучения. Мы рассмотрим этот вопрос в общей форме и будем решать его, исходя главным образом из достижения конечной цели определения кристаллических ориентировок, не вдаваясь в индивидуальные особенности того или иного материала, запрещающего по каким-либо причинам применение излучения того или иного анода.

Цель съемки рентгенограмм с вращением препарата состоит в том, чтобы получать рентгенограммы, адэкватные полюсным фигурам. Рентгенограммы, снятые с вращением препарата, соответствуют в случае вращения препарата около какой-либо одной оси части полюсной фигуры. Для получения полной полюсной фигуры достаточно снять две рентгенограммы с вращением. Выбор излучения той или иной длины волны позволяет несколько изменять область полюсной фигуры, фиксируемую на рентгенограмме. В самом деле, полюсная фигура образуется гномоническим кону-

сом 1, образующий угол которого равен $\frac{\pi}{2}$ — ϑ , где ϑ — брэггов-

ский угол (28 — образующий угол дебаевского конуса). Следовательно, при увеличении угла 8, это соответствует увеличению длины волны, гномонический конус сжимается, и наоборот, угол раствора гномонического конуса увеличивается при уменьшении длины волны. Таким образом, исходя из более широкого охвата полюсной фигуры на одной рентгенограмме, следует стремиться переходить к излучению, обладающему более короткой длиной

¹ Гномонический конус — конус нормалей — ортогонален к брэгговским плоскостям, находящимся при данном направлении первичного пучка в отражающем положении.

волны. В этом отношении должен быть соблюден известный предел, обусловливаемый, с одной стороны, типом камеры, в которой производится съемка, а с другой, — возрастанием оптимума толщины препарата и значительностью объема, для которого суммарно определяется статистическая анизотропия.

Когда ставится задача исследования распределения текстуры по толщине материала и приходится исследовать отдельные тонкие слои, более пригодно длинноволновое излучение, так как для него тонкие слои дают оптимум толщины; для излучения с короткой длиной волны эти толщины могут оказаться слишком малыми, а это приводит к потере интенсивности.

§ 19. Выбор интервала вращения препарата, экспозиции, скоростей перемещения

Выбор интервала углов поворота препарата а определяется видом статистической анизотропии. Для текстур, имеющих ось симметрии — аксиально-симметричных текстур (например текстур тянутых проволок) при определении ориентировок достаточно одной дебаевской съемки с получением полностью всех дебаевских колец без вращения препарата, т. е. без изменения угла а.

Для более сложных типов статистической анизотропии, например для текстур проката, штамповки и т. д., необходимо уже производить съемку с вращением препарата, причем в том или ином случае можно поворачивать препарат не на 360°, а на некоторую часть полного оборота, т. е. рентгеносъемку можно производить в определенном интервале углов α .

Рассмотрим на примере текстуры проката, как определять положение и величину собтветствующего интервала углов а. Полюсная фигура текстуры проката имеет три взаимнеперпендикулярные плоскости симметрии. Условимся выбирать за ось вращения прямую, являющуюся пересечением двух плоскостей симметрии, т. е. направление проката — $W \cdot R$ или поперечное направление $Q \cdot R$ (фиг. 55) (выбрать третье направление — направление нормали NR — за ось вращения бывает менее удобно).

Сферический пояс, вырезаемый на полюсной сфере при вращении около направления $W \cdot R$, имеет четыре симметричных квадранта, отсекаемых плоскостями симметрии $W \cdot R - N \cdot R$, $W \cdot R - Q \cdot R$, $Q \cdot R - N \cdot R$ (фиг. 55). Поэтому определение любого квадранта достаточно для воспроизведения всей полюсной фигуры. Итак, интервал поворота препарата приводится к 90°. Начнем вращение препарата с угла $\alpha = 0$ (первичный пучок параллелен нормали $N \cdot R$). Будем смещать гномоническое кольцо вправо.

При повороте на угол равный $\frac{\pi}{2}$ — ϑ левая половина гномонического

кольца коснется направления $N \cdot R$, при этом правая и левая половины гномонического кольца в совокупности полностью заполняют целый квадрант; на фиг. 56 заштрихованные области, —области, пересеченные гномоническим кольцом. Из них может быть полностью образован квадрант. Следовательно, минимальный интервал пово-

рота пренарата при исследовании текстуры проката $\frac{\pi}{2} - \vartheta$, положение этого интервала в углах а таково: от $\alpha = 0$ до $\alpha = \frac{\pi}{2} - \vartheta$.

При съемке в аксиальной камере с вращением препарата и перемещением кассеты при конструировании камеры нами была принята во внимание возможность случайных колебаний интенсивности рентгеновского излучения трубки, вследотвие изменения режима, что весьма вероятно при длительных экспозициях, как в электронной, так в особенности в ионной трубке. Для выравнивания таких случайных неравномерностей интенсивности рентгенограммы в нашей конструкции камеры кассета во время съемки



Фиг. 55. Плоскости симметрии текстуры проката ($\vartheta = 20^{\circ}$).

прогоняется взад и вперед 5-8 раз. Так как экспозиция в такой камере обычно составляет 10-15 час.¹, то время прохождения



Фиг. 56. Области полюсной фигуры, пересекаемые гномоническим кольцом при повороте препарата в интервале углов α от 0° до $\frac{\pi}{2}$ — ϑ ($\vartheta = 20^{\circ}$).

кассеты в каждую сторону измеряется 1—2 час. При интервалеперемещения в 25 мм, выбранном в нашей камере, скорость перемещения кассеты составляет примерно 1 мм в 4—6 мин. Эта скорость ввиду своей незначительности мало разрабатывает камеру и вполне достаточна для целей рентгеносъемки.

Вследствие длительности съемки перед каждой новой съемкой рекомендуется делать контрольный снимок для проверки правильности положения бленд, выделяющих дебаевское кольцо.

VII. АНАЛИЗ ПОЛЮСНЫХ ФИГУР

§ 20. Нахождение ориентировок по полюсным фигурам

Положим, что мы имеем в стереографической проекции для грани $\{h_1, h_2, h_3\}$ полюсную фигуру металла с той или иной степенью анизотропии, полученную по одному из описанных способов.

¹ При циаметре кассеты в 33 мм.

Перед нами стоит задача выявления по полюсной фигуре кристаллических ориентировок, имеющихся в данной текстуре.

При решении этой задачи возникают трудности, обусловленные различными причинами. Положим, что в материале имеется одна единственная ориентировка. На полюсной фигуре куба для верхней полусферы получим три точки, изображающие эту ориентировку (фиг. 57). Если процесс деформации протекал симметрично относительно некоторых направлений и плоскостей, что, например, имеет место для случая проката, то в текстуре, образовавшейся после данного процесса деформации возможны всякие ориентировки, которые будут получаться из первой путем всех возможных симметричных отображений. Поэтому для текстуры проката из одной ориентировки получится восемь симметричных ориентировок (фиг. 58), образующих полюсную фигуру достаточной слож-



Фиг. 57. Полюсная фигура кубических граней для одной определенной ориентировки монокристалла.



Фиг. 58. Усложнение полюсной фигуры кубических граней вследствие симметрии процесса деформации.

ности. Если принять наличие рассеяния кристаллитов в текстуре проката, то из отдельных точек фиг. 58 вследствие их размытия образуются на полюсной фигуре сложные узоры, характерные для текстуры проката.

Когда в текстуре имеются две или несколько различных кристаллических ориентировок, накладывающихся одна на другую, и каждая имеет несколько симметричных положений, то в результате положения этих ориентировок получается уже весьма сложная полюсная фигура. При анализе такой полюсной фигуры выявить ориентировки, лежащие в ее основе, не так просто, так как возможно брать максимумы от различных ориентировок и совмещать друг с другом, что приведет либо к отрицательному результату либо к несуществующей ориентировке.

Чтобы в любом случае статистической анизотропии подойти к анализу полюсных фигур систематическим путем, мы предлагаем следующий метод.

Пусть дана полюсная фигура с некоторым распределением плотности для грани $\{h_1, h_2, h_3\}$. Прежде всего строим в пространстве связку всех возможных нормалей с индексами $[h_1, h_2, h_3]$ и, выбирая одну из этих нормалей за ось вращения, поворачиваем вокруг нее всю связку на 360°. Остальные нормали опишут при этом ряд вложенных один в другой круглых конусов (фиг. 59). Систему этих конусов мы рассматриваем как "анализатор" полюсной фигуры $\{h_1 \ h_2 \ h_3\}$ и в дальнейшем поступаем следующим образом.

Выбираем на полюсной фигуре наиболее интенсивную и компактную область; в эту область направляем ось "анализатора" $[h_1 \ h_2 \ h_3]$ — ось вращения связки нормалей. Остальные нормали лежат на конусах фиг. 59, которые, пересекаясь со сферой, дают на стереографической проекции (полюсной фигуре) систему концентрических кругов. Для случая текстуры проката алюминия и грани октаэдра {111} одно из возможных положений "анализатора" изображено на фиг. 60. Конуса остальных нормалей окта-



Фиг. 59. "Анализатор" полюсной фигуры для нахождения кристаллических ориентировок.



Фиг. 60. Полюсная фигура {111} проката алюминия. Выявление кристаллической ориентировки с осью [111] по направлению проката.

эдра пересекаются с областями плотного заполнения. Поэтому на кругах получаем дуги, соответствующие возможным положениям кристаллитов. Для окончательного нахождения ориентировок необходимо найти на этих кругах максимумы, отстоящие друг от друга на расстояниях, совместимых с угловыми расстояниями данных нормалей. Так, в случае октаэдра на каждом круге (конусе) нормали отстоят друг от друга на 120°. На фиг. 60 мы находим таким образом три максимума, дающие ориентировку [112] по оси проката. Когда на соответствующем круге нельзя подобрать максимумов, лежащих на нужных местах, приходится считать, что ни одна из возможных ориентировок, совместимых с данным положением "анализатора" не существует в исследуемой текстуре. Тогда анализ продолжается при других положениях "анализатора", пока не будут исчерпаны все максимумы полюсной фигуры.

Изложенный метод был применен к анализу текстуры прокатанного алюминия. Анализ проводился по полюсной фигуре октаэдра {111}, и найденные результаты проверялись по другим полюсным фигурам.

Основной вывод из этого анализа можно сформулировать следующим образом. В текстуре прокатанного алюминия (960/о деформации) имеется несколько различных кристаллических ориентировок, дополняющих друг друга и в совокупности хорошо соответствующих найденным полюсным фигурам. Так как каждая из этих ориентировок обладает известным рассеянием, то ее положение может быть указано лишь приблизптельно, и здесь возможны при более точном определении ее положения некоторые вариации.

Исследование текстуры для различных стадий процесса деформирования по изменению полюсных фигур позволит лучше выявить и более точно характеризовать устойчивые ориентировки в текстуре, а также их изменение в процессе деформирования.

Учитывая эти соображения, переходим к характеристике найденных нами ориентировок. Первые две ориентировки совпадают с известными ориентировками, характерными для текстуры прокатанного алюминия. Эти ориентировки находились порознь или совместно в целом ряде работ, в которых исследовалась текстура алюминия. Характеристика этих ориентировок такова:

$W \cdot R$	$Q \cdot R$	$N \cdot R$
112	111	110
111	110	112 ¹

Обе найденные ориентировки полностью не исчерпывают полюсной фигуры. Для заполнения областей плотного заполнения приходится принимать наличие большого рассеяния кристаллитов.

	100	010	001
$W \cdot R$	62°	118°	41°
$Q \cdot R$	141°	· 79°	53°
$N \cdot R$	65°	20°	7.1°

Остающиеся вне этих ориентировок области плотного заполнения весьма хорошо укладываются в новую ориентировку, наличие которой совместимо с найденными полюсными фигурами. Эта ориентировка проще всего описывается в координатах: Эта ориентировка в отдельности также была найдена в некоторых работах².

48

Мы думаем, что текстура проката алюминия для больших процентов деформации лучше всего описывается всеми тремя

¹ Одну ориентировку [112] по оси проката находим в следующих работах, Н. Е. Успенский и С. Т. Конобеевский, "Научные известия физика": сборник III, "Труды физического общества им. Лебедева", 1922. стр. 343. Н. Mark und K. Wiessenberg, "ZS. f. Phys." 1923 14, 328.

Е. Бахметев, "Вестник металлопромышленности", 1930, Х, № 1-10, 154. Одну ориентировку [111] по оси проката находим в работах: F. Wever, "ZS. f. Phys", 1924, 28, 69.

Owen and Preston, "Proc. Phys. Soc." London 1926. 38, 132. T. Thewilis, "Phil. Mag.", 1930, 10, 953.

Обе ориентировки одновременно находим:

F. Wever und W. E. Schmid "Mitt. a, d. k, w. Inst. f. Eisenforschung", 1927, Abh. 90, 265; Göler und Sachs "Zs. f. Phys.", 1929, 56, 477. 2 V. Göler u. G. Sachs, "ZS. f. Phys, 1927, 41, 873 E. Bachmeteiv, "Metall-

wirtsch," 1981 X 451.

ориентировками, указанными выше, или ориентировками, к ним близкими, причем эти ориентировки существуют одновременно. В процессе деформирования приходится считаться с возможностью изменения этих ориентировок, их исчезновения или появления новых, поэтому данный вывод относится лишь к прокатанному алюминию для больших степеней деформации.

Наличие в текстуре проката алюминия и ряда других центрированногранных металлов и их сплавов нескольких устойчивых ориентировок требует своего теоретического объяснения с точки зрения механизма деформации монокристалла, подвергнутого определенному силовому воздействию и блокированному соседними кристаллитами. При этих условиях монокристалл деформируется закономерным образом и стремится к определенным конечным устойчивым ориентировкам, отличающимся от стабильных ориентировок, к которым стремится при деформации свободный, изолированный монокристалл. Анализ стабильных ориентировок текстуры в указанном разрезе следует провести первоначально для более простых процессов деформирования (однородное растяжение и сжатие), так как при прокатке мы встречаемся со сложным распределением деформирующих сил, которые, повилимому, можно рассматривать в первом приближении как комбинацию сил, растягивающих металл по одному направлению и сжимающих его по другому. Во всяком случае, вопросы, связанные с возникновением устойчивых кристаллических ориентировок при деформировании поликристаллического металла, требуют дальнейшего теоретического объяснения. На данной стадии исследования мы в состоянии весьма полно изучить в обработанном металле имеющиеся кристаллические ориентировки с экспериментальной стороны; в меньшей мере можно объяснить их теоретически, а также предугадать их появление заранее при заданном распределении сил. В данной области остается еще большое поле для дальнейшей исследовательской работы.

Выводы

В металле, подвергнутом механической или термической обработке, происходит ряд структурных изменений, соответствующих изменению свойств металла. Одной из характеристик обработанного металла являются возникающие в нем определенные кристаллические ориентировки, наличие которых в ряде случаев резко и выпукло сказывается на свойствах металла и может отрицательно влиять как на проведение выбранного технологического процесса, так и на окончательные свойства изделия (например образование фестонистости при штамповке)¹.

В настоящем исследовании подробно разработана методика изучения кристаллических ориентировок при помощи рентгеновских лучей на основе полюсных фигур, т. е. на основе наиболее совершенного из имеющихся методов.

¹ V. Göler u. G. Sachs, "ZS. f. Phys". 1929, 56, 500.

Метод полюсных фигур излагается с самых основ, начиная со способа их построения (§ 1); детально рассматриваются способы рентгеновского исследования и получения полюсных фигур (§ 2), С этой целью описаны различные конструкции рентгеновских камер, применимых для исследования текстур: аксиальная камера (§ 3), для которой нами произведены некоторые расчеты (§§ 4—7), облегчающие пользование этой камерой, а также аксиальная камера с перемещающейся кассетой (§ 9), специально разработанная нами с целью получения полюсных фигур на одной рентгенограмме фотографическим путем.

Для этого нового метода описана схема рентгеновской камеры и усовершенствованная конструкция, испытанная в работе (§ 9). Для обработки получающихся текстурограмм рассчитаны и построены специальные сетки, позволяющие вести анализ полюсных фигур в обычной стереографической проекции (§ 10). Показывается применение нового метода для исследования как моно так и поликристаллов (§ 11, 12).

Новый метод исследования текстур был проверен экспериментально и применен для исследования текстуры проката и рекристаллизации алюминия (§ 13).

В связи с большим значением, которое приобретает при работе по данному методу вопрос о поглощении рентгеновских лучей в толще исследуемого материала, этот вопрос подвергнут специальному разбору (§ 14—16), в результате которого выяснена картина поглощения и найдено распределение интенсивности на текстурограмме, обусловленное поглощением рентгеновских лучей в толще препарата.

Найденные формулы позволяют установить оптимальную толщину исследуемого препарата (§ 17), при которой интенсивность интерференционных лучей получается максимальной; полученная формула была подтверждена путем экспериментальной проверки.

Метод полюсных фигур был применен к исследованию текстуры проката алюминия и дуралюмина (§ 8); на основе полученного материала излагается способ анализа полюсных фигур и нахождения кристаллических ориентировок текстуры (§ 20). Этот анализ устраняет все противоречия, имевшиеся до сих пор, при истолковании текстуры проката алюминия, в которой мы обнаруживаем одновременное существование трех различных кристаллических ориентировок.

В настоящее время метод полюсных фигур разработан с экспериментальной стороны в такой мере, что может быть уже передан в рентгеновские лаборатории промышленности для контроля важнейших технологических процессов металлообработки, а также и самих металлоизделий. В то же время не должна ослабляться работа по дальнейшему усовершенствованию этого метода как по линии его упрощения и снижения экспозиций, так и по линии расшифровки получающихся результатов. В данном методе возможны различные модификации (съемка на плоской пластинке, съемка по новому методу Seemann¹ с передвижением препарата), применение которых будет обусловлено уже отдельными конкретными случаями.

Для теоретического истолкования возникновения кристаллических ориентировок в обработанных металлах должна быть проведена еще большая работа, как по исследованию текстур поликристаллических материалов, так и деформированных монокристаллов.

¹ H. Seemann, Eine neue Röntgeninterferenzmethode für Vielkristall ins besondere Walz-und Faserstoffe (Objekt zwischen zwei Spalten) "Phys. ZS. 1932 33, 755.

UNTERSUCHUNG DER KRITSTALLITANORDNUNGEN IN METAL-LEN UND LEGIERUNGEN MIT HILFE VON POLFIGUREN.

VON

G. S. SHDANOW IN MOSKAU.

Die vorliegende Arbeit stellt eine Zusammenfassung der röntgenographischen Untersuchung der Textur bearbeiteter Metalle dar, die vom Verfasser bereits im Jahre 1929 begonnen wurde und deren Resultate teilweise schon früher (in russischer Sprache) veröffentlicht worden sind 1.

Es wurden die Walztexturen des Duraluminiums und Aluminiums untersucht. Besonders bemerkenswert ist daran, dass diese Untersuchungen in einer neuartigen Axialkammer ausgeführt wurden. Eine Methode zur Anwendung der Axialkammer mit verstellbarer Kassette, die sich besonders gut zur Untersuchung der Texturen eignet, wurde vom Autor in seiner Diplomarbeit und unabhäugig auch davon von O. Kratky vorgeschlagen (S. "Ein Röntgengoniometer für die Polykristalluntersuchung", Zeitschr. f. Kristallographie, 72, 529, 1930). Die weiteren Untersuchungen beschäftigen sich mit der Ausarbeitung dieser Methode und ihrer Anwendung auf eine Reihe praktischer Fälle so wie auch mit der Aufklärung einer Reihe methodischer Fragen über die Untersuchung der Texturen mit Hilfe von Polfiguren. Auch wurden für diese Kammer folgende Berechnungen vorgenommen.

Es wurde die Erklärung dafür gegeben, warum in Röntgenogramm eine ungenaue Zentrieruug entsteht und der Primärstrahl nicht mit der Achse der Kammer zusammenfällt (Sinusoidalität der Debye'schen Geraden). Auf Grund dieser Erklärung wird gezeigt, wie man die Grösse dieser Abweichung berechnen kann (§ 4).

Ferner wird dargelegt, wie sich die Breite der Interferenzlinien in der Axialkammer für das parallele und das divergente Primärbündel ändert, ohne wie auch mit Berücksichtigung des Absorptionseffekts (§ 5).

Schliesslich wurde noch eine Gleichung der "Schattenkurve" aufgestellt. Diese "Schattenkurve" entsteht im Röntgenogramm der Axialkammer infolge Absorption der Interferenzstrahlen durch die Dicke des Präparates, das die Form einer planparallelen Platte hat (§ 7).

Die gefundene Gleichung ermöglicht direkt aus dem Röntgenogramm den Winkel

¹ Röntgenographische Untersuchung der Walztextur des Duraluminiums. Diplomarbeit der Moskauer Universität, vorgelegt im Oktober 1929. Zum Studium der statistischen Anisotropie bearbeiteter Metalle, "Westnik

Metallopromyschlennosty", X, No. 9-10, 145, 1930. Berechnung der Axialkammer Thesen eines Votrags, gehalten auf dem 1-s. Unions-Kongress der Physiker. Chemisch-technischer Staatsverlag, Moskau-Leningrad 1930, S. 65.

Röntgenographische Untersuchung der Anordnungen der Kristalle in bearbeiteten Metallen, Saumlung der Arbeiten des röntg. Labor. des Staatsinstituts f. Nichteisen-metalle (GINZWETMET). Verlag Zwetmetallisdat, Moskau-Leningrad, 1932, S. 37.
zu messen, der durch die Normale zur Fläche der Platte und dem Primärbündel gebildet wird.

Die Untersuchung der Walztexturen des Duraluminiums und Aluminiums wurde durchgeführt an Aluminium mit einem Reinheit von $99,5^{0}/_{0}$ und an Duraluminium von folgender Zusammensetzung: Cu $4,11^{0}/_{0}$ Fe $0,92^{0}/_{0}$, Mg $0,62^{0}/_{0}$, Si $0,13^{0}/_{0}$, rest Aluminium. Der Deformationsgrad betrug bei Al $96^{0}/_{0}$, bei Duraluminium $96,7^{0}/_{0}$. Es wurden für diese Polfiguren von folgenden kristallographischen Flächen konstruiert: $\{111\}, \{200\}, \{220\}$ (§ 8). Die Analyse dieser Polfiguren hat gezeigt, dass sich die Walztextur des Duraluminiums bei hohem Deformationsgrad nur wenig von der Walztextur des Al unterscheidet.

Die Ausarbeitung der experimentellen Methode zum Erhalten von Polfiguren auf photographischem Wege führte zu einer Neukonstruktion der Axialkammer mit verstellbarer Kassette (§ 9) [in manchen Fällen (§ 2) ist die Verwendung einer ühnlichen Kammer mit verstellbarer flacher, senkrecht zum Primärstrahl stehender Kassette, vorteilhafter. Die Verschiebung der Kassette erfolgt längs des Primärstrahls].

Zur Konstruktion von Polfiguren in stereographischer Projektion, nach den durch Photographie gewonnenen Polfiguren, wurden spezielle Koordinatennetze berechnet und gezeichnet, die ähnlich den Wull'schen Netzen sind (§ 10).

In der Axialkammer mit verstellbarer Kassette wurden Aufnahmen der Walztextur des Aluminiums und des Duraluminiums gemacht. Auch wurde die Rekristallisationstextur des Al in der selben Kammer untersucht (§ 13). Die Belichtungsdauerbei einem Durchmesser der Kassette von 32 mm und bei einer Drehung des Präparates während der Aufnahme von $0-90^{\circ}$, betrug 10-15 Stunden; bei Auswahl eines Präparates von optimaler Dicke (§ 17) verringert sich die Belichtungszeit bis zu 6 Stunden und weniger. Als Strahlungsquellen dienten Röntgenröhren nüt Eisen == und Molybdän-Antikathoden. Im ersten Fall betrug die Belastung 20 mA und 30 kV, im zweiten Fall 14 mA und 45 kV. Die erhaltenen Röntgenogramme bestätigten die früher aufgestellten Polfiguren der Walztextur des Duraluminiums (Aluminiums). Gemäss diesen Aufnahmen fällt die Rekristallisationstextur mit der Walztextur des Aluminiums nicht zusammen¹

Bei der Analyse der auf photographischem Wege erhaltenen Polfiguren und der Bestimmung der Intensität der verschiedenen kristallischen Anordnungen ist die Absorption der Röntgenstrahlen durch die Masse des Präparates von grosser Bedeutung. In unseren Abhandlungen wurden Präparate von zwei verschiedenen Formen der Prüfung unterworfen: a) eine planparallele Platte und b) ein Zylinder, Für beide Fälle wurde die Weglänge der Interferenzstrahlen in der Masse des Präparates berechnet (§ 14. n. 15). Für den Fall einer drehbaren Platte wurde ein Raummodell hergestellt, welches diese Berechnungen veranschaulicht. Ausserdem wurde auch für diesen Fall eine Beziehung abgeleitet, welche die Intensität der Interferenzstrahlen in "jedem beliebigem Punkte der durch photographische Aufnahme gewonnenen Polfigur zu berechnen gestattet (§ 16). Die Analyse dieser Formel ergab das Vorhandensein bestimmter Zonen, in denen die Intensität nur gering ist. Diese Zonen fallen vollständig mit denjenigen Gebieten der maximalen Absorption zusammen, welche im Röntgenogramm beobachtet werden.

¹ Wie aus der zusammen mit W. I. Iweronowa ausgeführten Untersuchung der Rekristallisationstextur des Duraluminiums ersichtlich ist, zeichnet sich diese Textur durch grosse Vielseitigkeit der Kristallitanordnungen aus und unterscheidet sich dadurch von der Walztextur. Diese Arbeit ist beendet und befindet sich im Druck.

Die Lösung der Frage Absorption der Röntgenstrahlen in dem besonderen Falle der Debye'schen Aufnahme (Präparat in Form einer senkrecht zum Primärbündel stehenden planparalleIen Platte) führte zu der Formel:

$$P_M = 2b_M \mu = \frac{\cos 2\vartheta \cdot \ln \cos 2\vartheta}{1 - \cos 2\vartheta}$$

durch die optimale Dicke des Präparates gegeben wird. In dieser Formel sind $2b_M$ - die Dicke des Präparates, die die maximale Intensität der Interferenztrahlen für den Debye'schen Kegel mit einem Winkel von 48 angibt, µ-der Koeffizient der Absorption, 8-der Bragg'sche Winkel. Wie aus dieser Gleichung zu ersehen ist, existiert keine allgemeine optimale Dicke des Präparates, die gleichzeitig für alle Debye'schen Kegel gleichwertig ist. Diese Formel wurde nachgeprüft und experimentell bestätigt durch Aufnahme einer Reihe von Aluminium - und Duraluminium -- Mustern verschiedener Dicke [Molybdätstrahlung (§ 17)].

Im weiteren Verlauf der Arbeit wurden die experimentellen Bedingungen bei der röntgenographischen Untersuchung der Textur betrachtet, hinsichtlich der Wahl der Wellenlänge, der Belichtungsdauer, des Intervalls der Drehung, der Geschwindigkeit der Verschiebung u. s. w. (§§ 18 u. 19).

Zum Schluss wird die Methode der Analyse der Polfiguren [und das Aufiindender Kristallanordnung dargelegt. Durch die Anwendung dieser Methode zur Bestim-

	100	010	001
WR	62°	118°	4 1°
QR	141°	79°	53°
NR	65°	30°	74°

mung der Walztextur des Aluminiums wird das Vorhandensein von 3 Anordnungen mit folgenden (annähernden) Kennziffern festgestellt:

WR	QR	NR
112	111	110
111	110	112

auserdem noch eine dritte unsymmetrische Anord. nung, die sich am besten in Koordinaten ausdrücken lässt.

Alle diese Anordnungen wurden einzeln oder paarweise zu verschiedenen Zeiten und von verschiedenen Forschern festgestellt. Diese drei Anordnungen in der Walztextur des Aluminiums und Duraluminiums scheinen gleichzeitig nebeneinander zu bestehen.

Редактор Б. М. Галлай. Сдано в набор 3/XII 1933 г. Формат 62 × 941/16. Уполн. Главлита № В-70349.

Технический редактор С. М. Ростошинский. Бум, листов 21/4. Издат. № 168. МЦ-50-5-4. Тираж 1.000-авт. л. 5³/4.

Подписано к печати 3/III 1934 г. Тип, зн. в 1 бум. л. 104.000. Заказ № 1847.

2-я типография ОНТИ им. Евгении Соколовой. Ленипград, пр. Красных Командиров, 29.

