

РЕНТГЕНО-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МОЗАИЧНОЙ СТРУКТУРЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ДЕФОРМИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ

Большие достижения в области рентгеновской спектроскопии за последнее время позволяют с успехом применять этот метод для выяснения ряда вопросов, связанных со структурой реальных кристаллических тел и механизмом их деформации.

Как известно, мозаичная структура реальных кристаллов приводит к расширению области отражения от них рентгеновских лучей, так что фактически наблюдаемое значение полуширины максимума отражения значительно превосходит величину, подсчитанную в предположении идеального совершенства кристалла. Баковский и Далежек в ряде работ пытались оценить влияние мозаичной структуры кристаллов на степень разрешения дублета K_{α} . В этих исследованиях выбирались различные соотношения между расстояниями от кристалла до кассеты и щели спектрографа.

В последней работе Баковский¹, допуская, что отклонение ориентации отдельных блоков от нормальной следует кривой ошибок Гаусса, получил (в случае соблюдения условий брэгговской фокусировки) для величины расширения линий, связанной с мозаичностью кристалла, значение ε , вычисляемое по формуле:

$$\varepsilon = 2s \sin \Delta\sigma \cos \theta. \quad (1)$$

При этом Баковский пренебрегает глубиной проникновения рентгеновских лучей в кристалл по сравнению с длиной отражающего участка на его поверхности.

В формуле (1) ε — расширение линии; s — расстояние отражающего блока от центра кристалла, измеренное в плоскости кристалла; $\Delta\sigma$ — угол мозаичности; θ — угол Брэгга.

Величина s для значений $\theta \gg \Delta\sigma$ связана с радиусом кривизны кристалла и углом падения на него рентгеновских лучей соотношением

$$s = \frac{R \sin \Delta\sigma}{\sin \theta} \quad (2)$$

и, значит,

$$\varepsilon = 2R (\sin \Delta\sigma)^2 \operatorname{ctg} \theta \cong 2R (\Delta\sigma)^2 \operatorname{ctg} \theta. \quad (3)$$

Подсчет показывает, что если расстояния от кристалла до кассеты и щели равны между собой, то величина ε для NaCl не превышает 2% собственной ширины линии, равной по данным Алиссона² 0,58 ХЕ. Таким образом при симметричном расположении кассеты и щели спектрографа по отношению к кристаллу мозаичная структура последнего проявляется весьма слабо. В случае несимметричного расположения, осуществляемого, например, в спектрографах Зеемана или работающих по принципу клина, дело обстоит иначе. В этих условиях удастся получить рентгенограммы, вид которых в сильной мере зависит от степени совершенства кристалла. Баковский указывает, что при расположении кристалла на расстоянии 3 м от щели, а кассеты в непосредственной близости от него возможно получить рентгенофотографию поверхности.

Используя несимметричный метод Зеемана, Далежек и Клейн³ мерили ширину линии Ag K_{α} после отражения от кальцита. Общая ширина линии оказалась равной 11". Вычитая отсюда ширину Ag K_{α} (0,28 ХЕ = 9,5"), измеренную Алиссоном, авторы, следуя Хауту⁴, вычислили расширение линии, происходящее благодаря мозаичности (W_c) структуры кальцита; это расширение равно 1,5" (по Гауссу 5,6"). При этом геометрические условия опыта позволяли отражать рентгеновские лучи от участков поверхности кристалла, не превышающих $1,5 \cdot 10^{-2}$ мм.

В таблице 1 приведены данные для ряда других веществ, полученные упомянутыми авторами тем же методом. Величина собственной ширины линии $K_{\alpha}Si$ принималась равной 0,3 XE (0,28 по Алиссону).

Описанный метод может быть применен к изучению последствий пластической деформации соответствующих кристаллов. Исследование сравнительного совершенства поверхностей плоских свежеотколотых кристаллов NaCl и кристаллов, подвергнутых изгибанию по цилиндру радиусом 20 см, проведено в работе Бозорта и Хаворта⁵. Авторы отражали

Вещество	Порядок отражения	Общая ширина линии	Расширение линии W_c , вычисленное по Хауту	Расширение линии W_c , вычисленное по Гауссу
$CaSO_4$	2	1,6 XE	1,3 XE = 35"	1,57 XE = 41"
$CaSO_4$	3	1 "	0,7 " = 29"	0,95 " = 29"
NaCl	1	2 "	1,7 " = 62"	1,98 " = 7, "
SiO_2 ¹⁾	1	0,5 "	0,2 " = 8,9"	0,40 " = 18"
$CaCO_3$	1	0,8 "	0,5 " = 17"	0,70 " = 26"

¹⁾ Расколот перпендикулярно электрической оси.

рентгеновские лучи сначала от поверхности плоского кристалла и наблюдали расщепление дублета K_{α} на расстоянии 1 м от кристалла. Получающийся рефлекс микрофотометрировался поперек полосы. Провал в кривой интенсивности между максимумами α_1 и α_2 достигал 67% от максимального значения интенсивности α_1 . На основании этих кривых авторы оценивают разброс углов мозаики величиной 30". Это указывает на значительную степень совершенства поверхности спайных кусков NaCl, подвергнутых исследованию. Фотометрирование рефлекса изогнутого кристалла, полученного в фокусе, показало, что интенсивность отражения от изогнутого кристалла превосходит соответствующие значения для плоского кристалла в 30 раз, а величина интегрального отражения в 2,2 раза. Рассмотрение отраженной линии позволяет установить неоднородность изгиба. По данным авторов наблюдаемая величина интенсивности составляет лишь 60% той, которая получилась бы, если бы все точки изогнутого кристалла одинаково отражали максимальную величину интенсивности.

Автор этой статьи совместно с Гогоберидзе¹⁾ сделал попытку провести исследование явлений, сопровождающих изгиб реальных кристаллов в специально сконструированном для этой цели спектрографе, работающем по Иогану. Радиус кривизны изогнутого кристалла 470 мм. Это позволяет изгибать без грубого нарушения поверхности ряд кристаллов, в том числе и каменную соль²⁾. Кристалл изгибался в специальном устройстве, представляющем собой две пришлифованные по заданному радиусу пластинки, прижимающиеся друг к другу четырьмя винтами. Изгибание кристаллов производилось в самом спектрографе.

В фокусе удается наблюдать хорошо расщепленный дублет $K_{\alpha}Si$ при отражении от кристаллов, достаточно совершенных. Однако, если снимать рентгенограмму за или перед фокусом установки, то, как показал опыт, сплошного размытия изображения не происходит. Снимок приобретает специфический вид, представляя собой полосу, расслоенную на большое

¹⁾ Сообщение на научном коллоквиуме, июнь 1938 г. ЛИИ (готовится к печати).

²⁾ Бозорт и Хаворт изгибали свои кристаллы под водой.

число резко очерченных линий в случае кристаллов слюды и NaCl и несколько иной вид для гипса. Ввиду большой разрешающей силы подобного устройства и большой интенсивности изображения, превосходящего иногда, по Бозорту, в 30 раз интенсивность отражения от плоского кристалла, оказывается возможным судить об изменениях в кристалле, связанных с различными механическими воздействиями на него. На снимках, полученных от изогнутой слюды, нам удавалось наблюдать различное по величине расщепление вдоль полосы. При этом отдельные из наблюдающихся рефлексов иногда бывали сдвинуты друг относительно друга по вертикали. Подобную картину легко объяснить, если допустить, что при изгибе в кристалле образуется ряд блоков, повернутых друг относительно друга на небольшие углы. Существенно отметить, что лауэграммы, снятые с таких кристаллов в распрямленном и изогнутом состоянии, практически совпадают, так что, повидимому, при изгибании не происходит заметного изменения в кристаллической решетке образцов. Принимая предположение о блочной структуре изогнутых кристаллов, в согласии со взглядами Кошуа, Баковского и ряда других, можно охарактеризовать взаимное положение образующихся блоков углами в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Положение плоскости блока определяется этими данными однозначно лишь в случае, если поверхности блоков и после изгиба остаются плоскими. Повидимому, при изгибе некоторых кристаллов это предположение не оправдано. Взаимное смещение блоков в горизонтальной плоскости определяет расщепление полосы, то же в вертикальной — величину вертикального смещения штрихов друг относительно друга. Величина горизонтального расщепления l связана с углом ψ соотношением

$$l = \frac{2r}{\sin \theta} \operatorname{ctg} \frac{\psi}{2}.$$

Угол, характеризующий степень некомпланарности отдельных блоков α , вычисляется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha \sin \theta = 2 \sin \frac{\varphi}{2},$$

где θ — угол Брэгга, φ — угол между лучами, отраженными от двух смещенных блоков в плоскости, содержащей оба эти луча.

При этом справедливо следующее соотношение между синусами углов отражения двух лучей, лежащих в плоскостях, угол между которыми α :

$$\sin \theta = \sin \theta' \cos \alpha.$$

Величина φ находится из вертикального смещения линий на рентгенограмме и расстояния от кристалла до изображения. Согласно подсчетам величина $180 - \psi$ колеблется от $5'$ до $40'$, а угол α доходит в некоторых случаях до $1^\circ 30'$. В очень высоких порядках (до восьмого) иногда удается наблюдать более тонкое расщепление полосы, по всей видимости обусловленное естественной мозаичной структуре кристалла.

Параллельные оптические и рентгенографические съемки поверхности кристалла подтверждают предположение о наличии поворотов, сопровождающихся сильным нарушением решетки на границе между двумя повернутыми блоками.

Э. Е. Вайнштейн, Ленинград

ЛИТЕРАТУРА

1. Backovsky, J. d. Physique, **11**, 471, 1938.
2. Allisson, Phys. Rev., **44**, 63, 1933.
3. Doleyssek, Nature, **139**, 886, 1937.
4. Hoyt, Phys. Rev., **32**, 477, 1932.
5. Bozorth et Haworth, Phys. Rev., **53**, 538, 1938.