Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLIV, вып. 3, 1964 г.

УДК 539.26

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НА ПЛАСТИЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ

Е. О. Швайковская, А. И. Николаева, А. Г. Бобров

Идентичность рентгенограмм пластически деформированных отожженных и неотожженных кристаллов свидетельствует о том, что упругие изменения ориентации соседних участков пластически деформированного неотожженного кристалла играют незначительную роль в образовании хвостов на рентгенограммах. Исследование характера поворота привело к детальному изучению хвостов на рентгенограмме, так как при помощи рентгенограмм переориентировка отдельных участков в деформированном кристалле устанавливается наиболее надежно. От кристалла, решетка которого искажена, получаются рентгенограммы с размытыми и расщепленными пятнами, появляются астеризмы и перемычки между яркими пятнами.

С морфологической стороны незакономерно переориентированные области весьма разнообразны. Особое место среди них занимают образования, названные сбросами, иррациональными двойниками, пластинкованием, полосами переориентации и т. д.

В. Л. Инденбем и А. А. Урусовская, детально изучившие иррациональные двойники, пришли к заключению, что переориентация решетки осуществляется в основном за счет трансляционного скольжения по различным системам кристаллографических плоскостей [1]. Скольжение сопровождается поворотом плоскостей скольжения вокруг направления, лежащего в плоскости скольжения и перпендикулярного вектору сдвига. Трансляция по какой-то плоскости зависит и от скорости деформации. По-видимому, при прочих равных условиях, при быстрых воздействиях трансляционное скольжение начнется по тем плоскостям, где атомы расположены реже, поэтому связи между ними должны быть слабее. Кратковременное механическое воздействие может оказаться достаточным для их нарушения. С уменьшением скорости деформации трансляционное скольжение появится и по другим системам кристаллографических плоскостей [2, 3].

Таким образом, вопрос о трансляционном скольжении по тем или иным плоскостям решается в зависимости от скорости деформации. Например, удар гирей по асбестовым волокнам нарушает связи между волокнами, структура же внутри волокна сохраняется. Аналогичная картина наблюдается при быстром изгибе. При медленном изгибе образца разрушается структура внутри волокна. Таким образом, деформация протекает различно при статических и динамических испытаниях [4]. Пластическая деформация осуществляется в основном за счет смещения атомов. В твердых телах атомы занимают фиксированное положение (без учета колебательного движения) благодаря своим связям с другими атомами и поэтому обладают «инерцией». Для смещения атомов необходимо преодо-

леть эту «инерцию». Поэтому играют роль не только приложенные усилия но и время их действия, т. е. при прочих равных условиях, решающую роль играет импульс силы. При быстрых воздействиях усилий должны разрушаться менее прочные связи и практически может произойти разрыв без пластической деформации.

В наших опытах образцы предварительно подвергались шлифовке и отжигу, а затем деформировались в ранее описанном приспособлении [5]. Это приспособление было дополнено термопарой, с помощью которой измерялась температура в процессе деформации. После деформирования образцы рентгенографировались на ионизационном аппарате при ширине щели 0,5; и 0,25 *мм*, скорости диаграммы 600 *мм/ч*.

Как следует из опытов (см. таблицу и рис. 1),при статических испытаниях решетка искажается больше, чем при динамических. Так, ширина максимума кривой, полученной с медного образца *б* и тем более образца *в* незначительно отличается от полученной с недеформированного образца *а*. Но это отличие резко возрастает при сравнении статически деформированного образца *г* с недеформированным *а*. Эта закономерность одинакова для медных и алюминиевых образцов: с увеличением скорости деформации ширина максимума кривой уменьшается.

Температура деформированных образцов оказалась гораздо ниже той, которая может обеспечить снятие напряжений при динамических испытаниях.

Допустим, в опытах не учтены потери нагрева, допустим, что температура могла бы быть в два раза выше, но и тогда развиваемая температура (200—300°) не обеспечит снятия напряжений.

Таким образом, при динамических испытаниях и быстрых процессах пластическая деформация развивается принципиально иначе, чем при статических.

Кроме алюминиевых и медных образцов, исследовались оптически прозрачные кристаллы кальцита ромбоэдрической формы рентгенографическим методом Лауэ. Пластическая деформация кальцита осуществляется исключительно двойникованием. Скольжения в кальците нет.

Механизм образования двойников и их исследование изучались рядом авторов [6, 9].

Нами была сделана попытка выяснить влияние скорости деформации на образование двойников в кальците. Кристаллы деформировались ударом и длительной нагрузкой в направлении, перпендикулярном верхней ромбической грани образца. Толщина образцов 1—1,5 *мм* (рис. 2, *а*). Затем пластинки кальцита укладывались на резиновую подкладку и сверху нагружались стальным стержнем, конец которого имел форму округленного лезвия. Лезвие располагалось параллельно длинной диагонали. Образец находился под нагрузкой более суток, затем рентгенографировался. Рентгенограмма такого образца соответствует сдвойникованному кристаллу (рис. 2, *б*).

Образцы такой же толщины подвергались удару маятниковым шариком. Полученные затем рентгенограммы подобны рентгенограмме рис. 2, *в*. Раздвоение пятен рентгенограмм вызвано образованием трещин, а не нарушением структуры решетки.

Как известно, кристаллы каменной соли легко деформируются в воде. На такие кристаллы толщиной 1—2 *мм*, находящиеся в воде, накладывалась нагрузка 0,5 *кг* в течение различного времени (рис. 2, *г*, *д*, *е*).

Как видно на рентгенограммах, более длительная деформация ведет к большим искажениям.

Кроме того, кристаллы каменной соли подвергались изгибу на круглом металлическом стержне. Величина деформации в этом случае зависела от радиуса изгиба (рис. 2, *ж*, *з*, *и*). Скорость деформации не сказалась на рентгенограммах.

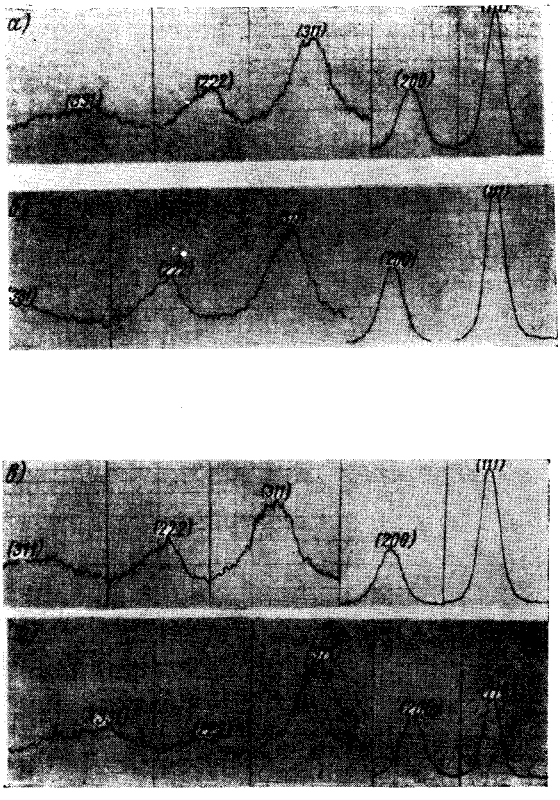


Рис. 1. Кривые, полученные с образцов: *а* — недеформированного высотой $h = 20$ *мм*; *б* — деформированного динамически, высота падения бабы $H = 30$ *см*, $h = 9$ *мм*, температура образца после деформации $t = 25°$, высота ограничительного кольца $H' = 9{,}5$ *мм*; *в* — то же, $H = 30$ *см*, $h = 9$ *мм*, $t = 25°$, $H' = 9{,}5$ *мм*; *г* — деформированного статически под нагрузкой 23 *т*, $h = 4{,}4$ *мм*; *д* — деформированного динамически, $H = 150$ *см*, $h = 14{,}5$ *мм*, $t = 30°$, $H' = 14$ *мм*; *е* — то же, $H = 100$ *см*, $h = 9$ *мм*, $t = 50°$, $H' = 9{,}5$ *мм*.

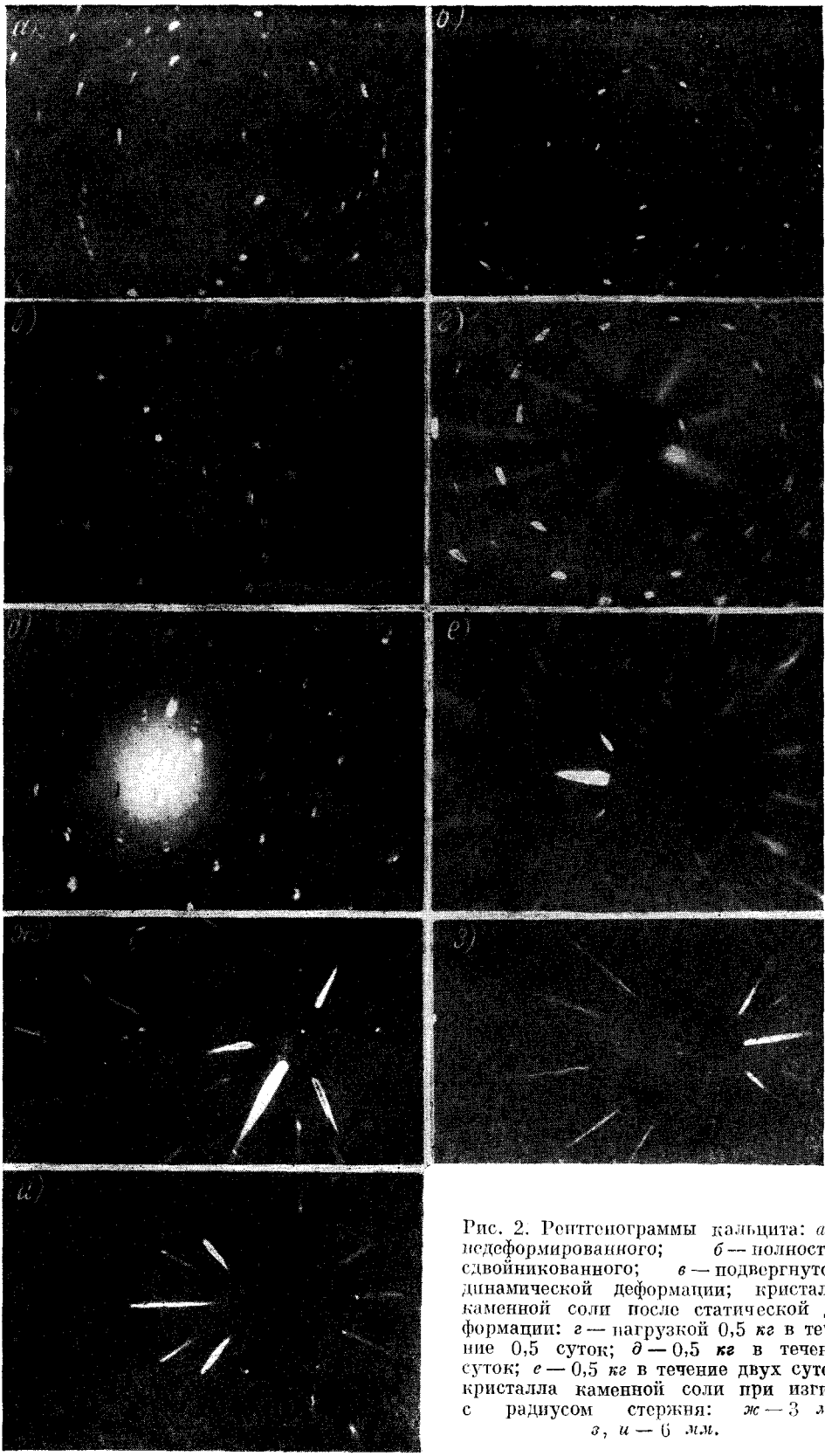


Рис. 2. Рентгенограммы кальцита: *а* — недеформированного; *б* — полностью сдвойникованного; *в* — подвергнутого динамической деформации; кристалла каменной соли после статической деформации: *г* — нагрузкой 0,5 *кг* в течение 0,5 суток; *д* — 0,5 *кг* в течение суток; *е* — 0,5 *кг* в течение двух суток; кристалла каменной соли при изгибе с радиусом стержня: *ж* — 3 *мм*; *з*, *и* — 6 *мм*.

Характеристика кривых, снятых с медных и алюминиевых образцов

Индекс плоскостей	Высота максимума	Ширина максимума	Угол ϑ
	Медные образцы		
	Динамическая деформация		
Образец *а*			
(111)	28	2,2	21° 24′
(200)	11	3	25° 60′
(220)	10	4,5	44° 36′
(311)	8	4,3	47° 18′
(222)	фон		68° 40′
Образец *б*			
(111)	15,7	2,7	21° 20′
(200)	6,4	3,2	25° 10′
(220)	9,3	5,3	44° 35′
(311)	5,2	4,7	47° 18′
(222)	2,5	14	68° 40′
Образец *в*			
(111)	17,7	2,5	21° 20′
(200)	8,7	3	25° 50′
(220)	10,5	5,1	44° 36′
(311)	5	4,1	47° 18′
(222)	2,3	10	68° 40′
	Статическая деформация		
Образец *г*			
(111)	7,8	3,5	21° 20′
(200)	6,7	3,2	25° 50′
(220)	11	5	44° 36′
(311)	2	4	47° 18′
(222)	2	6	68° 40′
	Алюминиевые образцы		
	Динамические испытания		
Образец *д*			
(111)	7,1	1,8	19° 15′
(200)	6,6	1,9	22° 20′
(220)	13	2,6	32° 30′
(311)	11	3,1	39° 20′
(222)	2,8	1,6	40° 40′
(400)	1,9	2,3	49° 30′
(420)	4,4	2,5	58° 20′
Образец *е*			
(111)	3,8	1,5	19° 15′
(200)	15,5	2,1	22° 20′
(220)	3	2	32° 30′
(311)	19	1,8	39° 10′
(222)	—	—	41° 60′
(400)	—	—	58° 20′
(420)	3,8	1,8	68° 80′

Выводы

1. Меньшие искажения кристаллической решетки при динамических испытаниях, чем при статических, нельзя объяснить снятием напряжений за счет температуры, развиваемой при динамических нагрузках, так как эта температура недостаточно высока.

2. Переориентация решетки осуществляется в основном за счет трансляционного скольжения по различным системам кристаллографических плоскостей. Скольжение сопровождается поворотом плоскостей скольжения вокруг направления, лежащего в плоскости скольжения и перпендикулярного вектор сдвига.

3. Трансляционное скольжение по определенной системе кристаллографических плоскостей существенно зависит от скорости деформации.

При быстрых процессах трансляционное скольжение происходит, по-видимому, по тем системам кристаллографических плоскостей, где связи молекул слабее. С изменением импульса воздействия трансляционное скольжение будет возникать и по другим системам кристаллографических плоскостей.

4. Быстрые воздействия в меньшей степени искажают решетку, чем медленные. Выяснение этого вопроса существенно для выбора режима обработки кристаллов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инденбем В. Л., Урусовская А. А. Что такое иррациональные двойники? Кристаллография, 1959, т. 4, № 1.

2. Ревнов Б. И., Швайковская Е. О. Статическая и динамическая деформация слюды — мусковита. Кристаллография, 1959, т. 4, вып. 5.

3. Мокиевский В. А., Титова В. М., Бартошинский З. В. Зап. Всес. минерал. об-ва. 1962, сер. 2, ч. 91.

4. Швайковская Е. О. Рентгенографическое исследование искажений кристаллической решетки минеральных волокон. Изв. АН СССР, сер. физич., 1956, т. XX, № 6.

5. Растегаев М. В. Новый метод равномерного осаждения образцов для определения истинного сопротивления деформации и коэффициента внешнего трения металла. Заводская лаборатория, 1940, № 3.

6. Гогоберидзе Д. Б. Механическое двойникование. Научно-техн. изд-во Украины, 1938.

7. Буйнов Н. Н. Рентгенографическое исследование упорядочения в сплаве AuCu. ЖЭТФ, 1947, т. 17, вып. 1.

8. Гарбер Р. И. Механизм двойникования кальцита и натронной селитры при пластической деформации. ЖЭТФ, 1947, т. 17, вып. 1.

9. Якутович М., Яковлева Э. О кинетике механического двойникования кристаллов. ЖЭТФ, 1935, т. V, вып. 7.