Доклады Академии наук СССР
1955. Том 101, № 5

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

В. И. СТАРЦЕВ и В. М. КОСЕВИЧ

ОБ УПРУГОМ ДВОЙНИКОВАНИИ МЕТАЛЛОВ

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 10 I 1955)

Как показали опыты Р. И. Гарбера ([1–3]), двойникование кальцита и натронной селитры под действием сосредоточенной нагрузки начинается с возникновения «упругого двойника», т. е. тонкой двойниковой прослойки, полностью исчезающей при снятии нагрузки. Дальнейшие стадии двойникования заключаются в превращении упругого двойника в остаточный и в удлинении и расширении его.

Что касается металлов, то для них известна только стадия остаточного двойникования и стадия увеличения размеров двойника под нагрузкой ([4]). Стадия упругого двойникования в металлах никогда ранее не наблюдалась. Тем не менее, нет никаких оснований полагать, что упругое двойникование присуще только ионным кристаллам. Поэтому принципиальный интерес представляет вопрос, существует ли упругое двойникование в металлах и происходит ли оно в них так же, как в ионных кристаллах.

Воспользовавшись тем обстоятельством, что некоторые металлические монокристаллы раскалываются по плоскостям спайности, являющимися естественным шлифом, мы провели изучение двойникования висмута, цинка и сурьмы, наблюдая за плоскостью спайности кристалла. То, что в плоскости спайности двойники видны без протравливания, позволило вести наблюдения непрерывно.

Двойникование изучалось нами при комнатной температуре. Образец выкалывался по плоскости спайности из большей монокристальной пластинки. Деформирование производилось или приложением сосредоточенной нагрузки или изгибом, причем было установлено, что двойникование протекает аналогичным образом при любом способе нагружения.

Изучение процесса двойникования в висмуте и цинке при самых разнообразных условиях нагружения позволяет сделать заключение, что при комнатных температурах упругое двойникование в этих металлах отсутствует. Устойчивые двойниковые прослойки возникают скачкообразно при некоторой нагрузке и при дальнейшем росте ее могут увеличиваться.

В увеличении размеров устойчивых двойниковых прослоек мы обнаружили особенность, в определенной мере близкую к упругому двойникованию. Дело в том, что устойчивая двойниковая прослойка увеличивает свои размеры упругим образом, т. е. при увеличении нагрузки она расширяется, а при снятии ее утончается. Упругое изменение длины наблюдается редко. Упругое изменение ширины составляет 0,1 от полного изменения ее.

Эта стадия двойникования, не наблюдавшаяся до сих пор ни в ионных, ни в металлических кристаллах, может быть названа «упругим раздвойниковыванием».

Отсутствие упругого двойникования в висмуте и цинке, вероятно, связано с их значительной пластичностью при комнатных температурах. При низких температурах, когда деформация путем скольжения значительно уменьшена, следует ожидать также появления упругой

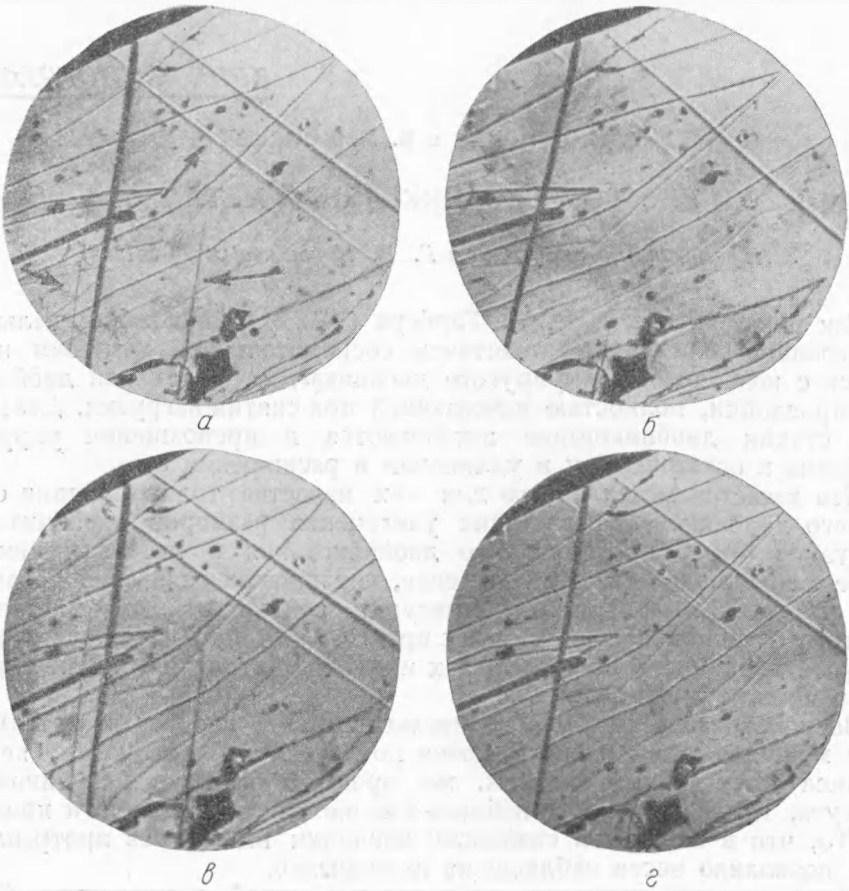


Рис. 1. *а* — кристалл под нагрузкой; стрелками указаны упругие двойники; *б* — нагрузка снята; один упругий двойник исчез полностью, два частично остались; *в* — вторично приложена нагрузка, несколько большая; опять появились упругие двойники, большего размера; *г* — нагрузка снята; один упругий двойник исчез полностью, два других уменьшились

стадии двойникования. Косвенным подтверждением этого может служить то, что в висмуте и цинке наблюдается при комнатных температурах «упругое раздвойниковывание» устойчивой клинообразной прослойки, которую можно рассматривать как заклинившийся двойник. С этой точки зрения особый интерес представляет изучение двойникования сурьмы, которая имеет значительно более высокую температуру плавления, чем висмут и цинк, и обладает меньшей пластичностью.

Изучение двойникования сурьмы показало, что в ней этот процесс, так же как и в кальците, начинается с возникновения упругого двойника. На рис. 1*а* приведена фотография участка плоскости спайности (111) кристалла сурьмы, находящегося под малой нагрузкой. Сила прикладывалась так, что она приводила к деформации изгиба всей пластинки. На фотографии виден ряд двойниковых прослоек, идущих в двух направлениях. Две из них указаны стрелками. На рис. 1*б*

представлена фотография того же места кристалла, но после снятия нагрузки. Видно, что двойники, отмеченные стрелками, были упругими двойниками, так как после снятия нагрузки они исчезли полностью или частично. Интересно, что один упругий двойник после снятия нагрузки оставил в кристалле какой-то след.

Рис. 1*в* изображает тот же кристалл, но после вторичного приложения нагрузки несколько большей величины. Видно, как снова появились упругие двойники (уже большей длины) и как после снятия нагрузки (рис. 1*г*) они опять исчезают. На рис. 1*б* и *г* также видно, как один из упругих двойников постепенно превращается в остаточный. Вызывать появление и исчезновение упругого двойника можно многократно. Размеры его каждый раз зависят от приложенной нагрузки. При некоторых размерах он перестает быть полностью упругим, т. е. после снятия нагрузки исчезает только частично, а некоторая часть его «заклинивается» как в натронной селитре ([3]) или в кальците при высоких температурах ([5]).

Описанные опыты указывают на то, что процесс двойникования в сурьме значительно отличается от процесса двойникования в ионных кристаллах. Если в кальците упругий двойник полностью исчезает при снятии нагрузки, а при некоторых условиях нагружения скачкообразно превращается в остаточный двойник, то в сурьме такое скачкообразное превращение упругого двойника в остаточный не наблюдается.

На первой стадии двойникования, так же как и в кальците, двойник в сурьме является полностью упругим. По мере роста нагрузки размеры его увеличиваются и, начиная с некоторого значения нагрузки, после снятия ее двойник исчезает не полностью, а некоторая часть его превращается в остаточный двойник. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к увеличению размеров неисчезающей части двойника.

Характерно, что процесс превращения упругого двойника в остаточный является непрерывным и постепенным.

Исчезновения упругой доли двойникования мы не обнаружили ни на какой стадии этого процесса. Вплоть до самых высоких нагрузок двойник в сурьме сохраняет некоторую долю упругих свойств, т. е. после снятия нагрузки уменьшаются его длина и ширина. Эта особенность двойникования, не наблюдавшаяся в кальците, нам кажется весьма важной.

Таким образом, хотя в общих чертах процесс двойникования в сурьме напоминает процесс двойникования в кальците, в сурьме он значительно сложнее и богаче деталями.

Мы полагаем, что характер упругого двойникования зависит от температуры и, в частности, для низкоплавких металлов оно должно проявляться при низких температурах.

Еще в работе ([4]) было обращено внимание на то, что в висмуте возникший двойник свободно проходит через другой двойник, встретившийся ему на пути. Подобное же явление мы обнаружили на сурьме, что видно на приведенных фотографиях.

Это как будто находится в противоречии с опытами по влиянию мозаичности кристалла натронной селитры на процесс двойникования ([6]), где было показано, что если двойник на своем пути встречает зерно кристалла, немного повернутое (на 1° или больше) относительно первого зерна, в котором возник двойник, то последний застревает у границы между зернами и дальше не распространяется или же распространяется с большим трудом.

В случае висмута или сурьмы двойник свободно проходит через другой двойник, ориентация которого отличается от ориентации основного кристалла на десятки градусов.

Мы полагаем, что это можно объяснить тем, что двойник не проходит в кристалл с другой ориентацией в случае натронной селитры

вследствие наличия испорченной решетки на границе между зернами. Тем самым прохождение двойника через другой двойник в висмуте и сурьме указывает на отсутствие испорченной междвойниковой прослойки или же на крайне малую толщину ее.

Харьковский институт механизации сельского хозяйства
Харьковский политехнический институт

Поступило
4 I 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Р. И. Гарбер, ДАН, **21**, 233 (1938). [2] Р. И. Гарбер, ЖЭТФ, **10**, 234 (1940). [3] Р. И. Гарбер, ЖЭТФ, **10**, 828 (1940). [4] И. А. Гиндин, В. И. Старцев, ЖЭТФ, **20**, 738 (1950). [5] Р. И. Гарбер, ЖЭТФ, **10**, 355 (1940). [6] Р. И. Гарбер, С. Я. Заливадный, В. И. Старцев, ДАН, **58**, 571 (1947).