

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

А. Б. ЗЕМЦОВ, М. В. КЛАССЕН-НЕКЛЮДОВА и А. А. УРУСОВСКАЯ
**О СЛОЖНОМ ПРОЯВЛЕНИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ
МОНОКРИСТАЛЛОВ**

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 13 VI 1953)

Подвергая монокристаллы твердого раствора бромистого и иодистого таллия (решетка кубическая объемно-центрированная) пластической деформации, А. Б. Земцов обнаружил явление, которое заслуживает более подробного изучения.

При быстром сжатии призматических образцов, выточенных из этих кристаллов в различных кристаллографических направлениях, в одних случаях наблюдался пластический продольный изгиб, в других случаях образцы не изгибались, а в них возникала прослойка, несколько иначе ориентированная по отношению к кристаллографическим осям исходного образца. Сжатие производилось с помощью тисков. Прослойка распространялась через все сечение образца под некоторым углом к оси сжатия. Ширина прослойки достигала 1,5—2 мм. Образование прослойки сопровождалось громким треском (скрипом), напоминающим «крики» олова, которые, как известно, связаны с возникновением механических двойников при пластическом деформировании этого металла. В отличие от двойниковых прослоек, прослойки, о которых в данном случае идет речь, возникали не по кристаллографическим плоскостям, характеризующимся простыми индексами. Кроме того, внутри такой прослойки и на ее границах, в отличие от двойниковой прослойки, наблюдалось обычно образование мелких трещин, так что в некоторых образцах такие прослойки выглядели, как мутная полоса на фоне прозрачного монокристалла.

Пластическая деформация, сопровождающаяся образованием таких своеобразных смещений в теле монокристалла, наблюдалась А. Б. Земцовым при сжатии образцов, геометрическая ось которых (совпадающая с осью сжатия) отклонялась на некоторый угол либо от оси [100], либо от оси [110], либо от оси [111]. В том случае, когда сила действовала примерно параллельно одному из основных кристаллографических направлений, деформация сопровождалась заметным продольным изгибом, образец принимал синусоидальную форму и на его полированной поверхности при боковом освещении были четко видны следы скольжения по одной или двум системам скольжения вдоль плоскостей ромбодекаэдра (110).

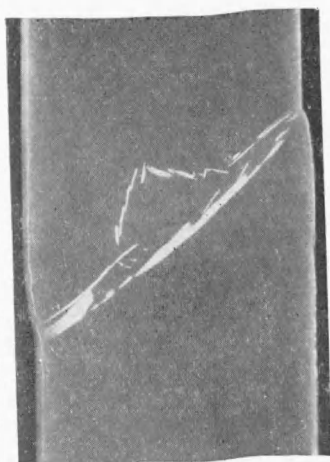
На рис. 1 а приводится фотография продольного среза образца, в котором возникла при сжатии прослойка, ориентировка которой отличается от ориентировки исходного образца (геометрическая ось этого образца составляет угол 26° с осью [100]). На фотографии (4×) видны трещины, возникшие по границам прослойки и внутри нее. Следует обратить внимание на характер изгиба контуров образца. Правая граница образца в верхней части прямолинейна, а начиная от верхней границы

прослойки вниз наблюдается изгиб (плавное постепенное смещение нижней части образца по отношению к верхней его части в правую сторону). Левая граница образца деформирована обратным образом. В верхней левой части, значительно выше прослойки начинается деформация образца (плавный изгиб контура), и на нижней границе прослойки наблюдается резкий излом, после которого контуры образца становятся опять прямолинейными. Такой характер изгиба контуров образца говорит о том, что остаточная деформация не локализуется только внутри прослойки. Пластическое смещение материала захватывает также и участки кристалла, примыкающие к прослойке: в правой части образца ниже прослойки, в левой части образца — в области, лежащей выше прослойки. В пользу такого предположения говорит также присутствие мелких трещинок в центральной части образца, возникших за пределами прослойки.

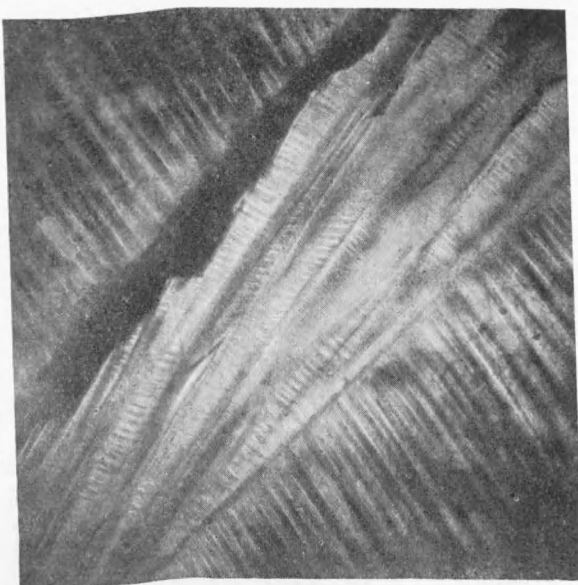
На рис. 1 б изображена фотография, снятая с того же самого образца в поляризованном свете. Эта фотография дает полную картину распределения остаточных напряжений и связанных с ними остаточных деформаций в сжатом монокристалле. На фотографии в верхней части видна система сдвигов. В средней части образца расположена интересующая нас «прослойка». В нижней части образца видны сдвиги, принадлежащие двум системам скольжения. В нижней части образца картина напряжений несколько усложнена присутствием трех фигур удара, нанесенных иглой для определения кристаллографической ориентировки образца. Что же касается прослойки, то на этой фотографии видно прежде всего, что она по всей своей длине обладает сложным строением и состоит из клиновидных областей, вытянутых в направлениях, составляющих некоторые не очень большие углы с резко очерченными границами прослойки, причем границы прослойки не параллельны друг другу. Верхняя граница совпадает с плоскостью (410), нижняя близка к плоскости (1330). Клиновидные области располагаются под различными углами к границам прослойки и на первый взгляд не имеют ничего общего с направлением системы сдвигов во внешних по отношению к прослойке частях кристалла.

На рис. 2 приведены фото в поляризованном свете отдельных участков прослойки при больших увеличениях (a 25 \times и b 56 \times). На этих фотографиях видно, что каждая клиновидная область внутри прослойки разбита рядами взаимно-параллельных светлых на темном фоне кристалла линий. Светлые линии проникают за границы прослойки и, слегка искривляясь, постепенно затухают в теле монокристалла. Эти светлые полосы напоминают своим видом следы скольжения, обычно наблюдаемые в деформированных кристаллах ⁽¹⁾ при просмотре их в поляризованном свете.

Детальное исследование строения «прослойки» в поляризованном свете было выполнено А. А. Урусовской. Результаты этих исследований представлены в виде схематических рисунков (рис. 3). На рис. 3 а видно, что ряды параллельных сдвигов, выходя за резко очерченные границы прослойки, не распространяются на всю длину образца, а быстро затухают в объеме кристалла, причем протяженность сдвигов возрастает по мере удаления от оси образца к его поверхности, и сдвиги выполняют участки образца *A* и *B*, лежащие за пределами видимых невооруженным глазом границ прослойки. Аналогичное расположение сдвигов можно проследить на реальном образце деформированного кристалла (см. рис. 1 б). Параллельные ряды линий сдвигов во внешних по отношению к прослойке частях кристалла выполняют две распространяющиеся до середины образца клиновидные области. Такое расположение сдвигов, во-первых, объясняет искривление контуров деформированного образца в участках *A* и *B*, прилегающих к прослойке; во-вторых, свидетельствует о том, что сдвиги и «прослойка» возникают в кристалле неза-



1а



2а



1б



2б

Рис. 1. Вид при различных увеличениях прослойки сброса, возникшего при сжатии монокристалла $TiVg + TiJ$: а — срез по плоскости (110) ; видны трещинки по границам прослойки; б — фото среза в поляризованном свете; видно сложное строение прослойки

Рис. 2. а — фото в поляризованном свете участка прослойки при $25\times$; видны ряды взаимно-параллельных следов скольжения по (110) , выполняющих клиновидные области и распространяющиеся за пределы прослойки; б — фото в поляризованном свете верхней границы прослойки при $56\times$; видно, что изгиб следов скольжения осуществляется благодаря переломам линий сдвига на границах клиновидных областей

висимо друг от друга. Переориентировка частей кристалла внутри прослойки и в тесно прилегающих к ней областях (клиновидных участках) осуществляется при помощи образования сдвигов.

Клиновидные участки внутри прослойки в изученном срезе имели протяженность до 6—7 мм, достигая в широкой своей части 0,5 мм. На рис. 3 б схематически изображено клиновидное строение внутренней части «прослойки» (тонкими линиями изображено 6 клиновидных областей), отмечены резко выделяющиеся границы прослойки (две непараллельные толстые линии, по которым в отдельных участках образуются трещины); тремя пунктирными линиями (двумя вверху чертежа и одной внизу) отмечены области за границами прослойки, выполненные рядами параллельных сдвигов. На этом же рисунке ломаными линиями 1, 2, 3 представлен путь трех взаимно-параллельных следов скольжения. Схема рис. 3 составлена по фотографии 2 а.

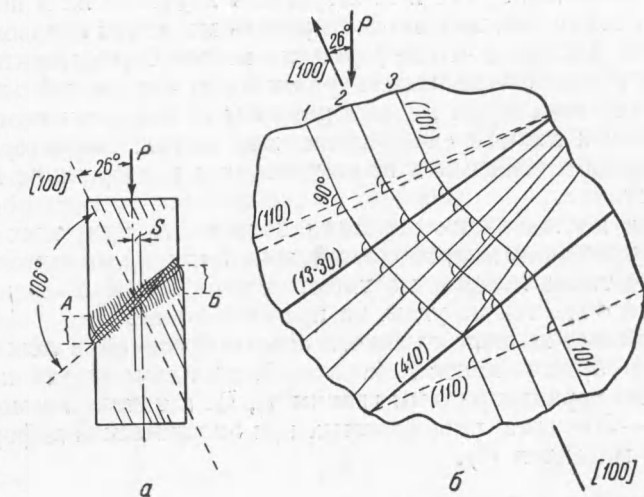


Рис. 3. Схематическое изображение сложного строения прослойки сброса и прилегающих областей в срезе, параллельном плоскости (110). а — расположение прослойки по отношению к оси куба [100] и направлению сжатия P ; буквой S обозначено смещение оси образца в результате сброса; б — путь следов скольжения по (110) внутри прослойки и вне ее, обозначенный цифрами 1, 2, 3

Пример углов, образуемых линиями сдвигов с границами клиновидных областей, произведенный с помощью измерительного микроскопа, показал, что одна из двух сторон клина всегда перпендикулярна линиям сдвига, а линии сдвига внутри каждого клина строго параллельны друг другу. Каждая линия сдвига переходит из одной клиновидной области в соседнюю без разрыва. На всех границах клиньев линии сдвига претерпевают излом, оставаясь взаимно-параллельными и прямолинейными внутри клиньев. По предварительным измерениям угол, образуемый отрезками линий сдвига в двух соседних областях, составляет примерно 2° , т. е. смежные клинья повернуты относительно друг друга на углы, не превышающие 2° , однако полный поворот некоторых областей, лежащих внутри прослойки, по отношению к исходному кристаллу достигает в данном случае 30° .

Линии сдвига, выходя за пределы прослойки (сброса), продолжают на некотором протяжении претерпевать изломы под углами примерно 2° . Границы клиньев здесь, однако, или плохо видны или совсем не видны (рис. 2 б). Переломы линий сдвигов, которые при просмотре с малым уве-

личением выглядят как плавный изгиб этих линий, прекращаются как только направление этих линий начинает совпадать с проекцией одной из плоскостей ромбодекаэдра (110), а именно, с той из них, вдоль которой у торцов образца возникли обычные, наблюдаемые при деформации этих кристаллов прямолинейные сдвиги по (110).

За последние десять лет появился ряд работ, в которых описаны различные сложные случаи проявления пластической деформации (у монокристаллов металлов цинка, кадмия, железа, алюминия), которые по внешнему виду не могут быть отнесены ни к двойникованию, ни к сдвигообразованию. Одни исследователи именуют эти явления сбросами (2, 3) (кинк), другие — полосами деформации (4, 5). Сбросы, повидимому, являются частным случаем полос деформации.

Описанное в данной статье явление, с нашей точки зрения, следует отнести к пластической деформации сбросами. Прозрачность кристаллов $TlBr + TlI$ в видимых лучах и возможность изучения их в поляризованном свете позволили нам продемонстрировать механизм образования сбросов и наглядно показать, что деформация может осуществляться сдвигообразованием по системе взаимно-параллельных следов скольжения, причем наибольшие искажения и даже разрывы сплошности скопляются на перпендикулярных линиям скольжения плоскостях, характеризующихся иррациональными индексами и проявляющихся как границы повернутых областей кристалла.

Оптические исследования показали также, что при этих процессах наблюдается вращение микрообластей кристалла на значительные углы (до 30°) и что такие повороты осуществляются путем последовательных вращений ряда областей на углы, не превышающие 2° .

Описанное нами явление сложного сдвигообразования лежит в основе возникновения сбросов, полос деформаций, повидимому так называемых «двойников» по иррациональным граням (6, 7), а также, возможно, и линий Чернова — Людерса, наблюдаемых при пластической деформации поликристаллов металлов (8).

Институт кристаллографии
Академии наук СССР

Поступило
6 IV 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. В. Обреимов, Л. В. Шубников, Тр. Ленингр. физ.-техн. лаб., 1, 21 (1925); ЖРФХО, 58, 817 (1926). ² E. Orowan, Nature, № 3788, 643 (1942).
³ O. Mügge, Neues Jahrb. f. Miner., 1, 71 (1898). ⁴ C. S. Barret, L. H. Levinson, Iron and Steel Division, 135, 327 (1939); 135, 295 (1939). ⁵ Symposium под ред. W. Shockly, Imperfections in nearly Perfect Crystals, 1951, p. 97.
⁶ Н. А. Бриллиантов, И. В. Обреимов, ЖЭТФ, 5, 3/4, 82 (1935).
⁷ Н. А. Бриллиантов, И. В. Обреимов, там же, 7, 8, 978 (1937).
⁸ Д. К. Чернов, Зап. Русск. техн. об-ва, № 2, 59 (1885); Д. К. Чернов и наука о металлах, под ред. И. Т. Гудцова, 1950, стр. 196.