

УДК 548.552 : 539

© 1991

ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕЙКОСАПФИРА ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

И. И. Афанасьев, Л. К. Андрианова, В. Н. Ветров, Б. А. Игнатенков

Экспериментально установлено, что после превращения диска Z -среза из монокристалла лейкосапфира в полусферический мениск в условиях высокотемпературной пластической деформации оптические оси монокристалла распределены веерообразно в определенном апертурном угле и анизотропно по полю мениска.

Известно, что под влиянием пластической деформации происходит локальное изменение оптических свойств кристаллов. Это явление положено в основу оптических методов исследования элементарных процессов пластической деформации: линий скольжения, полей напряжения вокруг атомарных дислокаций и т. п. [1, 2]. Однако вопрос направленного изменения оптических свойств кристаллов, обладающих естественной оптической анизотропией, путем пластической деформации в настоящее время не исследован.

В настоящей работе впервые изучено изменение оптической индикатрисы одноосного кристалла под влиянием высокотемпературной неоднородной пластической деформации. Исследовалось оптическое поведение полусферических лейкосапфириновых оболочек, полученных высокотемпературной пластической деформацией центрально-кольцевого изгиба дисков, Z — срезов кристалла. В [3] показано, что при аналогичных условиях испытания дисков из кубических щелочно-галогидных кристаллов поверхности полусферических оболочек сохраняют кристаллографические символы нормалей к исходным дискам, а процессы пластической деформации приводят к образованию специфических типов сбросов [4], причем оптические свойства в целом остаются без изменений. В случае одноосных кристаллов вышеуказанная пластическая деформация, как будет показано ниже, приводит к особенностям изменения оптических свойств исходного монокристалла, имеющим важное прикладное значение.

Пластическая деформация монокристаллов является кристаллографическим лимитируемым процессом. Поэтому, в работе использованы наблюдения в полярископе для диагностики систем скольжения и структурных преобразований. Поляризационно-оптические картины двулучепреломления менисков в различных направлениях получены в полярископе ПКС-125 с диффузионным источником света ($\lambda=550$ нм). На рис. 1 приведена поляризационно-оптическая картина пластически деформированного диска, т. е. мениска лейкосапфира со стрелой прогиба 19 и внутренним диаметром 72 мм. В циркулярно-поляризационном свете отчетливо наблюдаются линии скольжения и изохромы интерференции света за счет двойного лучепреломления. Картина имеет ось третьего порядка, т. е. отражает структурные особенности исходного монокристалла лейкосапфира (точечная симметрия $\bar{3}m$), характер скольжения при пластической деформации и особенности внутренних остаточных напряжений, зависящих от степени деформации и условий охлаждения мениска. Микроскопическим

поляризационно-оптическим и рентгеноструктурным анализом исследованы системы скольжения, ответственные за преобразование диска в полусферическую оболочку. Установлено, что основной вклад в процесс скольжения материала вносят наблюдавшиеся ранее для простых типов деформирования [1] плоскости скольжения X — типа, т. е. $\{2\bar{1}10\}$, которые скользят вдоль направлений Y — типа, т. е. $\langle 01\bar{1}0 \rangle$, причем активизи-

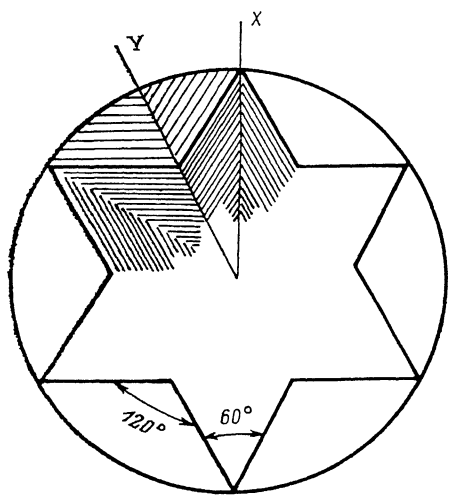
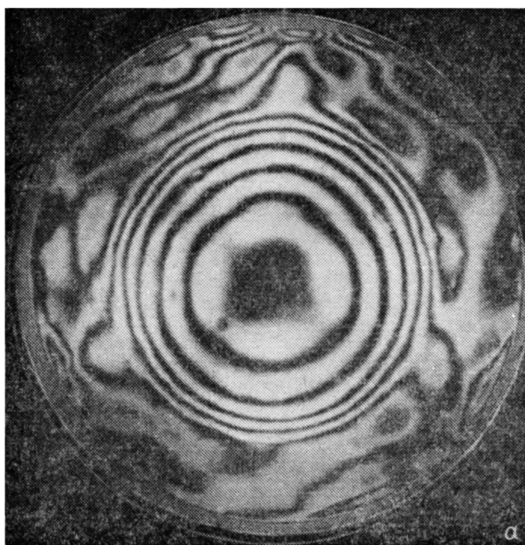


Рис. 1. а) Поляризационно-оптическая интерференционная картина лейкосапфирового мениска, полученного пластическим изгибом круглого диска Z -среза. (Скрещенный круговой поляризатор, $\times 1.2^*$.) б) Геометрическая схема плоскостей и направлений скольжения в пластически деформированном мениске, X — направления типа $\langle 2\bar{1}10 \rangle$, Y — направления типа $\langle 01\bar{1}0 \rangle$.

руются сразу все плоскости и направления скольжения системы. Комплексный характер скольжения приводит к образованию входящих и выходящих углов характерной шестиугольной звезды (рис. 1, б). При таком характере скольжения каждая плоскость скольжения делится пополам, участвуя одновременно в образовании входящих и выходящих углов звезды скольжения, что приводит к появлению 12 независимых участков системы скольжения. Установлено также, что биссектрисы входящих и выходящих от центра менисков углов являются соответственно X - и Y -направления, лежащие в Z -плоскости. Наличие входящих и выходящих углов в звезде скольжения дает основание считать, основываясь на теории структуры кристаллов, что мениск уже не является монокристаллом, а структурно представляет собой некоторое промежуточное (мозаичное или сростковое) состояние, которое можно рассматривать как некоторое само-

стоятельное звено трансформации материала от моно- к поликристаллическому состоянию при пластической деформации. С увеличением стрелы прогиба плоскости звезды скольжения рис. 1, б искривляются, а в краевых участках образуются сбросы, т. е. клиновидные области, разориентированные относительно направлений скольжения на углы $10-15^\circ$, очень сходные с описанными в [1] для случая одноосного сжатия цилиндрических образцов. Появление сбросов свидетельствует о затрудненности реализации скольжения по системе рис. 1, б за счет заземления (сжатия) краевых частей образца между кольцевой матрицей и пуансоном. В центральной части мениска, напротив, преобладают процессы однородного пластического растяжения и сжатия, и образование сбросов здесь не наблюдалось.

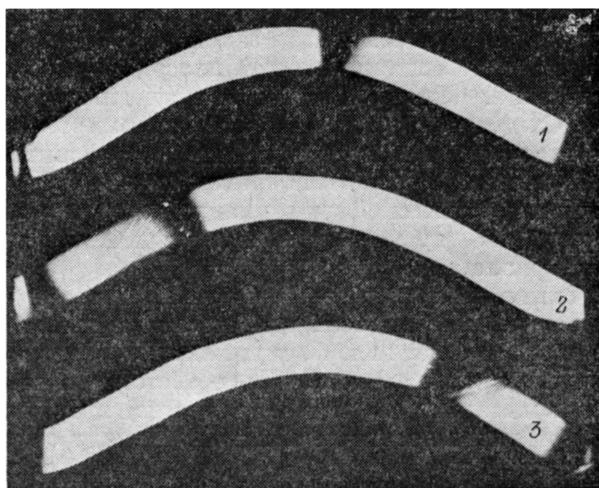


Рис. 2. Характер погасания изогнутой балки X-среза, меридиально вырезанной из мениска, при различном азимуте установки скрещенных поляризаторов относительно плоскости симметрии балки. α^0 : 1 — 10, 2 — 20, 3 — 35. $\times 1.4^*$.

Из анализа поляризационно-оптического действия мениска (рис. 1, а) следует, что двойное лучепреломление в нем имеет характерное распределение изохром, что позволяет выделить 3 зоны: 1) центральную (4—5 колец), 2) среднюю с хаотическим распределением полос и 3) краевую с очень узкими концентрическими полосами двулучепреломления. При исследованиях в сходящемся пучке света с осью, устанавливаемой параллельно радиусам полусферы в различных ее точках, т. е. вдоль нормалей к поверхности мениска, наблюдается правильная конскопическая фигура одноосного монокристалла. Эти исследования, выполненные при наблюдениях с выпуклой и вогнутой сторон мениска, показывают, что в результате пластической деформации главные оптические оси Z [0001] исходного монокристалла перестают быть параллельными и образуют непрерывный пучок (веер в случае центрального сечения), располагаясь приблизительно параллельно радиусам кривизны мениска во всех его точках. Полученный результат согласуется с аналогичным поведением кубических кристаллов [3, 4], где диагностика соответствующих направлений в пластически деформированных менисках проводилась методами рентгенографии и химического травления.

Для поляризационно-оптических наблюдений вдоль направлений, перпендикулярных оси Z , мениски разрезались меридиально на полосы, представляющие собой изогнутые балки, оси которых лежали в X - и Y -плоскостях кристалла. На рис. 2 показан характер погасания такой кривой балки в линейно поляризованном свете при различных углах поворота скрещенных поляризаторов относительно радиусов кривизны балки. Видно, что в отличие от монокристалла (для которого должно наблюдаться

потемнение всей балки одновременно) область погасания исследованной балки мала по сравнению с ее геометрическими размерами. В узких областях погасания рис. 2 в зависимости от азимута установки скрещенных поляризаторов колебания света в материале параллельны плоскостям пропускания поляризаторов. В соответствии с критерием В. Л. Гинзбурга [5] малый угол между оптическими осями, имеющийся внутри области погасания, отнесенный к величине естественного двулучепреломления лейкосапфира, много меньше единицы. Поэтому узкие области погасания рис. 2 можно рассматривать как элементарные одноосные оптические кристаллиты, из которых составлена вся балка, пластически деформированного кристалла. Таким образом, исследования срезов, параллельных оси Z также подтверждают непараллельность (веерообразность) расположения естественной оптической оси после неоднородной пластической деформации монокристалла. Установленная нами закономерность позволяет также ввести понятие о фокусе оптических осей пластически деформированного одноосного кристалла, измеряемого в единицах длины и зависящего от стрелы прогиба. Следовательно, пластически деформированный одноосный монокристалл, в отличие от своего естественного состояния, обладает приобретенными оптическими свойствами, геометрия которых занимает управляемое процессом пластической деформации соответствующее промежуточное положение между моно- и поликристаллическим структурными состояниями материала.

Физический смысл обнаруженного нами явления состоит в том, что для получения фокуса оптических осей одноосного кристалла не достаточно изменить одну лишь его внешнюю форму; как это имеет место в оптически изотропных средах, а необходима также соответствующая трансформация структуры монокристалла, обусловленная элементарными процессами протекающими при пластической деформации. Наряду с фокусом оптических осей одноосного монокристалла удобно указать возможный угловой раствор (апертуру) оптических осей одноосного кристалла. В наших опытах в зависимости от стрелы пластического прогиба наибольший угол такой апертуры достигал 60° . Практика показывает, что при оптимальных условиях процесса пластического формоизменения монокристалла можно минимизировать искажения структуры и оптические неоднородности, которые будут малы по сравнению с основными оптическими параметрами полученного материала.

Обнаруженное нами явление геометрической модификации оптических свойств одноосного монокристалла при пластической деформации имеет аналоги в области явлений роста и молекулярного строения вещества. Описанные выше оптические свойства пластически деформированного диска в разрезе, параллельном Z-оси, подобны поведению в поляризованном свете сферокристаллов, получаемых в процессе роста [6], и миелоновым трубкам жидких кристаллов [1].

Описанная здесь возможность путем пластической деформации структуры направленно изменять угловую апертуру оптической оси одноосного кристалла может иметь важное прикладное значение, так как открывает возможность использовать пластически деформированные указанным образом одноосные монокристаллы для изготовления выпукло-вогнутых линз с целью устранения вредного двоения лучей в линзах из двоякопреломляющих одноосных монокристаллов.

В заключение отметим, что явление геометрической модификации оптических свойств одноосных монокристаллов можно наблюдать в кристаллах любых веществ, так как пластическая деформация материалов носит универсальный характер.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Современная кристаллография. Т. 4. М.: Наука, 1981. 495 с.
[2] Афанасьев И. И., Волкова О. Л., Наумов К. В., Смирнов Б. И. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 2. С. 2826—2829.

- [3] Мокиевский В. А., Афанасьев И. И. // Зап. Ленинград. горного ин-та. 1968. Т. 54. № 2. С. 38—55.
- [4] Афанасьев И. И., Мокиевский В. А. // Кристаллография. 1966. Т. 11. № 2. С. 264—267.
- [5] Гинзбург В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М.: Физматгиз, 1960. 193 с.
- [6] Шубников А. В., Парвов В. Ф. Зарождение и рост кристаллов. М.: Наука, 1969. 69 с.

Государственный оптический институт
им. С. И. Вавилова
Ленинград

Поступило в Редакцию
6 июля 1990 г.
В окончательной редакции
11 октября 1990 г.

