РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО МИКРОРЕЛЬЕФА МОНОКРИСТАЛЛОВ ХЛОРИСТОГО НАТРИЯ

М. А. БАРТ, З. Ф. ЗАЗЯН, И. С. МЕЗЕНЦЕВ, А. А. ХАНОНКИН

Показано, что субзерна монокристаллов каменной соли имеют радиус кривизны, значительно превышающий макроскопический радиус изгиба кристалла. Экспериментальные данные получены рентгеновским фокусирующим методом. Деформация изгиба монокристалла осущес твлялась двумя упругими стальными пластинами.

Введение

Разрушению материалов всегда предшествует пластическая деформация. Характерным ее признаком является деформационный рельеф, возникающий на поверхности нагруженного объекта. В настоящей работе изучался рельеф поверхности монокристалла, подвергнутого деформации изгиба. Целью работы являлась экспериментальная проверка предположения [1], заключающегося в том, что разрушение материала можно предотвратить, если деформирование образца производить в условиях, затрудняющих развитие в нем элементарных актов пластической деформации. В качестве объектов исследования были выбраны монокристаллы хлористого натрия. Выбор указанного кристаллического материала обусловлен продолжением исследований деформационного рельефа, начатых в работах [2-4].

1. Графический метод определения знака и величныы кривизны субверен монокристалла

При изгибе макроскопического образца из общих соображений следовало ожидать совпадение знака кривизны субзерен и цельного макрообъекта. В частности, на вогнутой поверхности образца ожидалось обнаружить вогнутые субзерна. Для ионных кристаллов это представляет самостоятельный интерес.

Графический метод определения знака и величины кривизны субзерна заключается в следующем. По оси абсцисс (рис. 1) откладывается расстояние субзерно—рефлекс *B*, а по оси ординат — ширина рефлекса *b*. Графическая схема рис. 1 интерпретируется следующим образом: прямая 1 отсекает по оси ординат отрезок, равный ширине выпуклого субзерна (выпуклое зеркало), а по оси абсцисс — мнимый его фокус; аналогично прямая 2 отсекает по оси ординат отрицательный отрезок, равный ширине вогнутого субзерна, а по оси абсцисс действительный фокус вогнутого субзерна (вогнутое зеркало).



Рис. 1. Графический метод определения параметров субструктуры изогнутого кристалла: 1— для выпуклых субзерен, 2— для вогнутых субзерен. F_1 и F_2 — фокусные расстояния субзерен, b_1 и b_3 — ширина субзерен.

2. Методика исследования и аппаратура

В соответствии с работой [5] для обеспечения оптимальных условий исследования субструктуры кристаллов необходимы линейчатые источники рентгеновского излучения. В качестве источников излучения нами использовались аноды рентгеновских трубок для структурного анализа типа БСВ-6 Си. Согласно паспортным данным эти трубки обладают линейчатым фокальным пятном на аноде шириной 0,2 мм и длиной 2,5-3,0 мм. Расстояние кристалл-источник описывается формулой $L = R \sin \Theta (L - \phi \alpha \kappa)$ сное расстояние, R - радиус изгиба кристалла, Иоганну при расположении источника лучей на окружности фокусировки. Расстояние кристалл-пленка фиксировалось по шкале с точностью до 0,5 мм. Экспозиции съемок на рентгеновскую пленку типа PM-1 выбирались с таким расчетом, чтобы плотности почернений фокальных линий находились в области нормальных почернений. Для уменьшения фона рентгеновских лучей на пленке в области фокуса устанавливалась щель, перпендикулярная кругу Роуланда. Таким образом за фокусом кристалла распространялось в основном монохроматическое рентгеновское излучение, соответствующее Ка.-линии материала анода.

Получение рефлексограмм за фокусом кристалла осуществлялось путем пробных съемок. Начиная с двойного фокусного расстояния кристалл — пленка рефлексограммы делались последовательно на двойном, тройном и т. д. фокусном расстоянии от кристалла. Так поступали до тех пор, пока на рефлексограмме не получалась картина рефлексов, которая качественно не менялась при дальнейшем увеличении расстояния от кристалла до кассеты с рентгеновской пленкой. В этом случае, согласно работе [6], субструктура изогнутого кристалла полностью разрешается: число рефлексов на рентгенограмме не изменяет ся с дальнейшим увеличением расстояния кристалл—пленка. Это число рефлексов и равно количеству субзерен изогнутого монокристалла.

Методика исследования строений субзерен монокристалла была идентична методике [7] для определения типа кристаллита в поликристаллах. Субзерна изогнутого монокристалла в отличие от зерен поликристалла имеют неодинаковый средний размер в двух измерениях. Вертикальный размер субзерна может меняться в широких пределах от минимального до величины, равной высоте кристалла (8+10 мм). Поэтому целесообразно было ориентироваться на горизонтальный размер субзерна. Для этого ширину кристалла делили на число рефлексов, укладывающихся вдоль его изображения. Такое сравнительно простое определение среднего размера субзерна исключало необходимость измерения размера зерна с помощью микроскопа, что в случае изогнутого объекта трудно осуществить практически.

3. Экспериментальные данные

Пластинки кристаллов хлористого натрия выкалывались из ограненного куска кристалла по плоскостям естественной спайности до размеров 20×15×1 мм³ и изгибались между двумя стальными пластинами в приспособлении, изображенном на рис. 2. Кристаллодержатель "продольного изгиба" состоит из двух обжимающих стальных пластин 1 и изгибающего устройства, которое выполнено в виде двух



Рис. 2. Принципиальная схема изгибающего устройства. Овальное отверстие расположено в центре передней пластины.

салазок 2, скользящих по направляющей 3 и соединенных между со бой стяжным винтом 4. Пластины 1 с зажатой между ними кристаллической пластинкой 5 вставляются в пазы поворотных упоров 6. При вращении винта 4 салазки 2 сближаются и через закрепленные на них поворотные упоры производят давление на торцы обжимающих пластин, которые теряют устойчизость и вместе с крист аллической пластин, которые теряют устойчизость и вместе с крист аллической пластинкой выгибаются, образуя заданную цилиндрическую поверхность. Показанная на рис. 2 форм а пластин обеспечивает их изгиб по круговому цилиндру. Если разделить пластину пополам вдоль вертикальной оси симметрии, то каждая половина представит собой балку равного сопротивления. Расчет геометрических размеров пластины производился по формуле для упругой линии—дуги круга [8], из которой при постоянной толщине пластины h для ширины ее длинной стороны в центре имеем

$$D = \frac{6 P (d/h)^3}{Ef},$$

где P — сила, изгибающая пластину, d — половина длины обжимающей пластины, f — стрела прогиба, E — модуль продольной упругости.

Пучок рентгеновских лучей попадает на кристаллическую пластинку через окна в обжимающих стальных пластинах, позволяя производить съемку как на отражение, так и на просвет. Окошко в передней пластине имело размеры 6,5×5 мм², радиус изгиба составлял 200 мм. Таким образом рентгенографированию подвергалась центральная часть образца с угловым раствором порядка 100 угловых минут-Расстояние кристалл—анод составлял 110 мм. Эксперименты проводились при температуре 20°С.

Исследованию подвергалось несколько образцов, изогнутых в описанном устройстве. От каждого из образцов было получено по четыре рефлексограммы при расстояниях кристалл—пленка 330, 550, 990 и 2090 мм; экспозиции составляли соответственно 15, 43, 135 и 600 мин. Кассета с пленкой находилась в параллельном положении по отношению к кристаллу. После фотообработки пленок второй слой эмульсии удалялся и пленки подвергались фотометрированию. Фокусное расстояние субзерен устанавливалось с помощью описанного выше графического метода. На рис. З показаны прямые, изображающие



Рис. 3. Определение фокусных расстояний субзерен по экспериментальным данным.

³ависимость ширнны рефлекса *b* от расстояния *B* кристалл—пленка. Как видно из рисунка, указанные прямые пересекают ось абсцисс. Это свидетельствует о том, что кристаллиты являются вогнутыми-Величины их фокусных расстояний находятся в интервале $150 \div 200 \text{ мм}$, что соответствует интервалу $250 \div 350 \text{ мм}$ радиусов кривизны вогнутых субзерен (согласно формуле, связывающей фокусное расстояние и радиус изгиба). Ширины субзерен согласно графику на рис. 3 лежат в интервале $0,15 \div 0,30 \text{ мм}$.

4. Обсуждение результатов

В разделах 1-3 показано, что при изгибе монокристаллов каменной соли между двумя упругими стальными пластинами с маленьким окошком (площадь окошка составляет 0,1 площади кристалла) субзерна образца изгибаются несколько меньше, чем кристалл в целом. Деформационный кристаллографический рельеф представляет собой совокупность вогнутых участков субзерен с шириной в несколько десятых долей миллиметра. Анализ напряженного состояния вогнутых субзерен монокристалла каменной соли, выполненный по рентгенографической методике [9], показал, что субзерна деформированы упруго. Напряжение в тонком поверхностном слое выпуклой стороны кристалла, плотно обжимаемой стальной пластиной, определялось по формуле для изгиба пластины [10]:

$$\sigma = \frac{E \cdot l}{\rho},$$

где σ — искомое напряжение в изгибаемой пластине, E — модуль продольной упругости, l — расстояние от поверхности пластины до нейтрального слоя, ρ — радиус изгиба.

Если считать модуль упругости каменной соли равным 4500 кГ/мм², то при достижении радиуса изгиба пластины 150 мм можно утверждать, что при толщине пластины в 1 мм напряжение на поверхности кристалла составляет более 15 кГ/мм³. Существенно подчеркнуть, что согласно данным [1, 11] реальная прочность монокристаллов каменной соли составляет 0,2÷0,4 кГ/мм². Таким образом, в настоящей работе достигнута на порядок большая практическая прочность каменной соли, так как изгибание без образования трещин осуществлялось в описанном выше устройстве вплоть до радиуса 75 мм. Этот экспериментальный результат можно объяснить на основе идеи [1] о возможности повышения практической прочности кристаллов за счет торможения в процессе их деформирования элементарных актов пластической деформации [1]. Действительно, поскольку почти 0,9 площади поверхности кристалла обжимается гладкими упругими стальными пластинами, то на двух наибольших гранях кристалла задерживается образование деформационного рельефа, связанного с элементарными актами пластической деформации: скольжением, двойникованием и т. п. Другими словами, кристалл в описанном изгибающем устройстве деформируется упруго. Об этом свидетельствуют и рентгенографические исследования деформированного состояния субзерен, выполненные по методике [9]. Даже в области кристалла, соответствующей небольшому окошку для доступа рентгеновских лучей, осуществляется не пластическая, а упругая деформация субзерен каменной соли.

Ереванский политехнический институт Одесский государственный университет

Поступила 29.ХП.1976

Рентгенографическое исследование деформационного микрорельефа

ЛИТЕРАТУРА

- 1. А. В. Степанов. Основы практической прочности кристаллов, М., 1975, стр. 64.
- 2. 3. Ф. Зазян, О. И. Мартыценко, А. А. Ханонкин. Изв. АН АрыССР, Физика, 10, 305 (1975).
- 3. 3. Ф. Зазян, Ю. В. Ковалёв, А. А. Ханонкин. Изв. АН АрмССР, Физика, 11, 204 (1976).
- 4. 3. Ф. Зазян и др. Изв. АН АрмССР, Физика, 11, 500 (1976).
- 5. Е. П. Костюкова. Кристаллография, 4, 826 (1959).
- И. Б. Старый, А. А. Ханонкин. Сб. Дефекты и свойства кристаллической решетки, вып. 24, 215 (1966).
- 7. Б. М. Ровинский, Л. М. Рыбакова. Изв. АН СССР, сер. физ., 15, 87 (1951).
- Машиностроение. Энциклопедический справочник, М., 1948, т. І, книга вторая, стр. 232.
- 9. Е. П. Костнокова, Б. М. Ровинский. Изв. АН СССР, сер. физ., 26, 113 (1962).
- 10. С. Н. Никифоров. ФЭС, 2, 100 (1962).

11. А. Ф. Иоффе. Избранные труды, Л., 1974, т. I, стр. 183.

ԿԵՐԱԿՐԻ ԱՂԻ ՄԻԱՔՅՈՒՐԵՂԻ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՄԻԿՐՈՌԵԼԵՖԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՌԵՆՏԳԵՆՅԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ

Մ. Ա. ԲԱՐՏ, Չ. Ֆ. ՉԱՉՅԱՆ, Ի. Ս. ՄԵՉԵՆՅԵՎ, Ա. Ա. ԽԱՆՈՆԿԻՆ

δαιια է արված, որ Նյունի փշրվելը կարելի է կանփել, ենն Նմուշի դեֆորմացիան կատարել այնպիսի պայմաններում, որոնց դեպքում դժվարանում է Նյունի մեջ պլաստիկ դեֆորմացիայի առաջացումը։ Այսպես, օրինակ, երբ կերակրի աղի միաբյուրեղը եննարկվում է Հկման դեֆորմացիայի երկու պողպատյա Թինեղների միջև, ապա նրա ամրունյան սահմանը ավելանում է ոչ պակաս քան մեկ կարդով։

ROENTGENOGRAPHICAL INVESTIGATION OF A DEFORMED MICRORELIEF OF SODIUM CHLORINE MONOCHRYSTALS

M. A. BART, Z. F. ZAZYAN, I. S. MEZENTSEV, A. A. KHANONKIN

It has been shown that the material rupture can be prevented if the stress of the sample is performed under the conditions preventing the development of elementary processes of plastic deformation. So, during the deformation of monocrystal plates in a steel band, the resource of durability of sodium salt increases at least to one order.

467