

окисляться активированным окислителем — анионом — непосредственно в зоне реакции. Выделение за счет этой реакции большого количества тепла, по-видимому, и обуславливает ту чрезвычайно высокую скорость горения, которой обладает азотнокислый фенилдиазоний.

Поступила в редакцию  
24/IX 1973

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. Губен. Методы органической химии. Т. IV, кн. 1. Госхимиздат, 1949.
2. E. K. P. o e v e n g e l. Веч., 1890, 23, 2996.
3. Б. С. Светлов, А. Е. Фогельзанг. Теория ВВ. М., «Высшая школа», 1967.
4. К. К. Андреев. Термическое разложение и горение ВВ. М., «Наука», 1966.
5. А. Ремик. Электронные представления в органической химии. М., ИЛ, 1950.

УДК 662.215.2

### ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПОЛИКРИСТАЛЛАХ ПРИ ВЗРЫВНЫХ НАГРУЗКАХ

*И. С. Гузь, В. Н. Перетяцько, Г. С. Демина*  
(Новокузнецк)

Известно, что при взрывных нагрузках в металлических материалах происходят различные структурные и фазовые изменения [1, 2]. Поскольку в реальных условиях материалы часто испытывают макроупругие деформации, представляет значительный интерес изучение их поведения в этих условиях нагружения.

В настоящей работе исследуется влияние границ на передачу пластической деформации при взрывном нагружении, которая возникает в

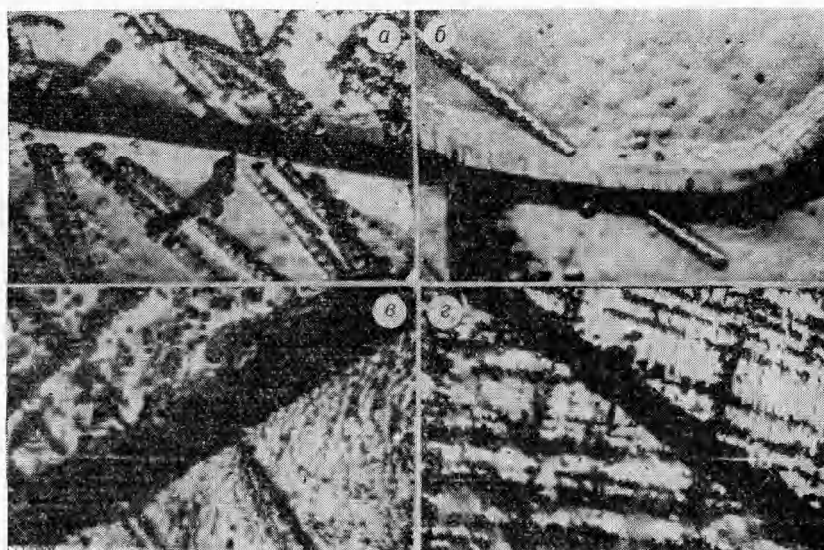


Рис. 1. Дислокационная структура LiF после нагружения.  
а, б) монокристаллы; в, г) бикристаллы,  $\times 400$ .

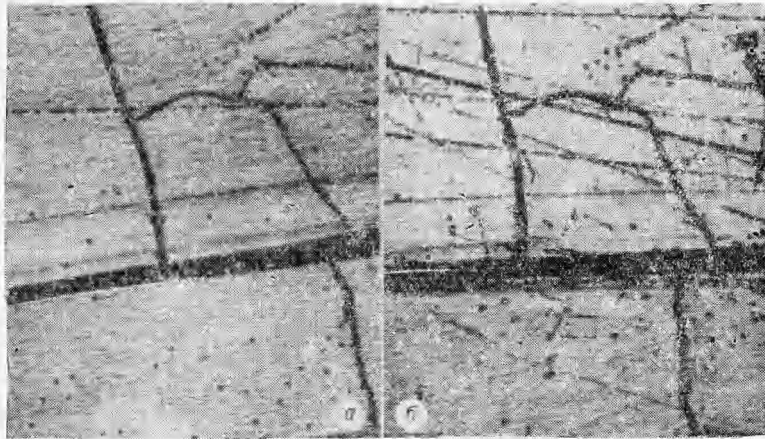


Рис. 2. Дислокационная структура бикристалла LiF.  
а) до нагружения,  $\times 170$ ; б) после нагружения,  $\times 170$ .

результате неоднородности напряженного состояния. Исследования выполнены на бикристаллах фтористого лития и крупнозернистом трансформаторном железе ( $\text{Fe}+3\% \text{Si}$ ).

Бикристаллы выкалывались по плоскости  $\{100\}$  размерами  $60 \times 50 \times 5$  мм. При этом отбирались образцы с наклонными границами. Образцы из кремнистого железа вырезались размерами  $300 \times 30 \times 0,5$  мм. Плоскость прокатки у них была параллельна кристаллографической плоскости  $(110)$ , а направление прокатки —  $[001]$ . Объектом исследования служили зерна размером 25—30 мм. Нагружение осуществлялось на фиксированном расстоянии (25 мм) от границы раздела двух смежных кристаллитов. Перед нагружением поверхность образцов подвергалась механической обработке, доводка которых проводилась электрополировкой в хромофосфорном электролите. Структура изучалась методом выявления дислокаций по ямкам травления в реактиве Морриса для трансформаторной стали [3], а для LiF — по методике [4].

Результаты эксперимента представлены на рис. 1—3. Изучение микрофотографий дислокационной структуры после нагружения показы-

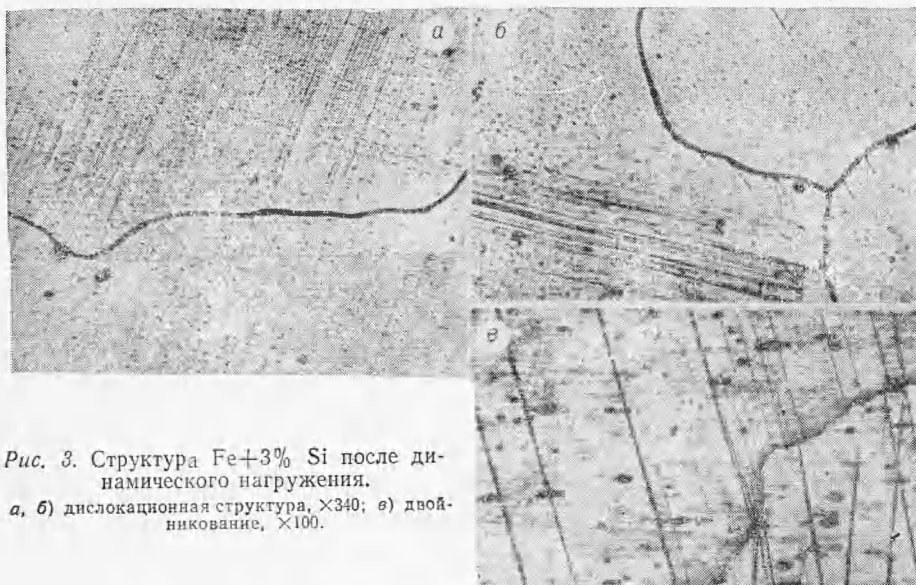


Рис. 3. Структура  $\text{Fe}+3\% \text{Si}$  после динамического нагружения.  
а, б) дислокационная структура,  $\times 340$ ; в) двойникование,  $\times 100$ .

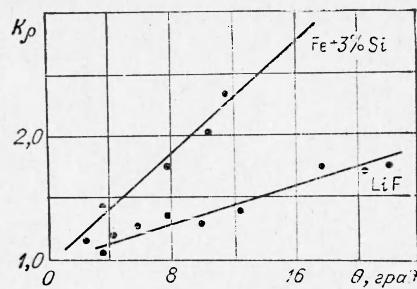


Рис. 4. Зависимость коэффициента  $K^p = \Delta\rho_1/\Delta\rho_2$  от угла разориентировки границы  $\theta$  ( $\Delta\rho_1/\Delta\rho_2$  — изменение плотности дислокаций соответственно в первом и втором кристаллите).

вадет, что появляются как одиночные дислокации, так и полосы скольжения. Из сравнения плотности дислокаций в рассматриваемых зернах следует, что она всегда больше в кристаллите, со стороны которого падает волна, и находится в прямой зависимости от угла разориентировки границы (рис. 4). Определение изменения плотности дислокаций производилось с помощью микроскопа МИМ-7 путем непосредственного их подсчета на поверхности исследуемого образца. Исследуемые зоны выбирались равномерно по зерну и находилось среднее число дислокаций (при этом учитывались дислокации и в полосах скольжения). Сопоставление этих результатов с данными, полученными при идентичном нагружении монокристаллов, показывает, что наблюдаемое явление обусловлено наличием границы зерна в бикристаллах, а не затуханием волны. Ранее было показано [5], что ответственным за изменение дислокационной структуры является напряженное состояние, которое возникает в результате взаимодействия волны с границей.

Важной особенностью полученных результатов является равномерное распределение образовавшихся дислокаций, в особенности в кремнистом железе (см. рис. 3, а). Кроме этого обнаружены следы движения «новых» дислокаций — канавки (рис. 2, 3, а). Движение дислокаций, инициируемое динамическим нагружением, по всей вероятности, происходит благодаря наличию остаточных напряжений. С другой стороны, согласно [6—8], изменение подвижности дислокаций можно связать с процессом перераспределения центров закрепления вдоль линии дислокаций.

Рассмотрим особенности образования и распределения полос скольжения, которые дают информацию о механизме микропластической деформации. При анализе полученных результатов было замечено появление волнистых линий скольжения на образцах LiF и очень редко на кремнистом железе (см. рис. 1, а; 3, а), которые являются результатом поперечного и (или) одновременного скольжения по нескольким системам. Наблюдаемое явление обусловлено движением винтовых дислокаций. В металлах с оцк-решеткой подвижность винтовых дислокаций значительно ниже краевых. Этим и объясняется относительно малое число волнистых полос скольжения по сравнению с прямолинейными при динамическом нагружении. Следует отметить, что в отличие от статического нагружения [9] плотность прямолинейных полос скольжения по телу зерна значительно больше, чем в приграничной области. Это свидетельствует о том, что основная часть деформации приходится на скольжение внутри зерна. Оценка деформации, проведенная по методике [10] для LiF, показала, что общая деформация составляет порядка 0,84%, причем до 5% от нее приходится на приграничную деформацию, а 95% — на деформацию от скольжения внутри зерна. Кроме того приграничная деформация незначительно зависит от угла разориентировки границы.

Изучение поведения полос скольжения в районе границ зерен показывает, что некоторые полосы скольжения проходят через нее лишь слегка изменяя свое направление (см. рис. 3, а). Граница зерен не является местом, где преимущественно начинаются или кончаются полосы скольжения, т. е. деформация легко передается от одного зерна к другому. Одиночная «старая» дислокация часто служит более эффективным стопром для движущихся дислокаций (см. рис. 1, б).

Сопоставление полученных результатов с данными для случая статического нагружения [9, 11] показывает, что при динамическом нагружении имеют место явления, характерные для статической деформации. В частности, наблюдаются такие, как прорыв дислокационных скоплений через субграницы (см. рис. 1, а), механизм инициирования (рис. 1, в), смещение подходящих и отходящих полос скольжения (рис. 1, г). Кроме того замечено скольжение дислокаций из границ (см. рис. 2, б; 3, б). Ранее проведенные исследования методом динамической фотоупругости [12] показали, что создается локальная концентрация напряжений вдоль границы, что безусловно должно приводить к активизации граничных дислокаций. Из рис. 3, б хорошо видно, что скольжение из границы трансформаторной стали происходит в местах, где имеются дополнительные концентраторы напряжений — включения.

Изучение влияния степени деформации на структурные изменения показывает, что при возрастании интенсивности взрывной нагрузки происходит изменение механизма развития пластической деформации. В этих условиях в отличие от скольжения, которое начинается при очень низких напряжениях, имеет место двойникование (см. рис. 3, в), реализуемое при более высоких значениях критических напряжений [13]. Форма двойниковых прослоек одинакова, и в пределах одного зерна двойники располагаются в трех-четыре направлениях (см. рис. 3, в), причем плотность их неравномерна. Это свидетельствует о неравномерном развитии пластической деформации.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) при взрывном нагружении значительное влияние на распределение микропластической деформации оказывают границы зерен;
- 2) границы зерен не являются эффективным барьером для движущихся дислокаций, следовательно, ответственным за распределение микропластической деформации является напряженное состояние, на формирование которого оказывают влияние границы зерен.

*Поступила в редакцию  
28/IX 1973*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Н. Эпштейн, О. А. Кайбышев. Сб. «Структура и свойства металлов и сплавов». Т. LIX. М., Металлургиздат, 1970, стр. 3.
2. З. М. Гелунова. Сб. «Высокоскоростная деформация». М., «Наука», 1971, стр. 80.
3. Е. Г. Кривонос. Заводская лаборатория, 1960, 26, 6.
4. Дж. Гилман, В. В. Джонстон. Сб. «Дислокации и механические свойства кристаллов». М., ИЛ, 1960, стр. 62.
5. И. С. Гузь, Г. С. Демина. ФТТ, 1972, 14, 1264.
6. С. L. Bauer. Phil. Mag., 1965, 11, 827.
7. G. Alefeld. Phil. Mag., 1965, 11, 809.
8. E. Vode. Phil. Mag., 1965, 13, 275.
9. N. Kratochvilova, B. Sestak. Phys. Stat. Sol., 1964, 5, 343.
10. McLean. J. Inst. Metals., 1952, 80, 507.
11. В. М. Финкель, З. А. Масловская. ФТТ, 1969, 11, 1, 204.
12. И. С. Гузь, Г. С. Демина, Ю. М. Коробов. Тр. 7 Всесоюзной конференции по поляризационно-оптическому методу исследования напряжений. Т. 3. Таллин, 1971, стр. 171.
13. А. Х. Котрелл. Дислокации и пластическое течение в кристаллах. М., Металлургиздат, 1958.