

05.1

© 1991

УПОРЯДОЧЕНИЯ И РАЗУПОРЯДОЧЕНИЯ В СЕЛЕНЕ  
В УСЛОВИЯХ РЕОЛОГИЧЕСКОГО ВЗРЫВАЕ.Г. Ф а т е е в, И.Г. П о л я к о в а,  
В.П. Х а н

Явление реологического взрыва (РВ) возбуждается в хрупких твердых телах при их медленном одноосном сжатии со скоростями порядка  $\sim 10^{-1}$  ГПа/с. Как известно [1, 2], РВ проявляется в критических условиях сжатия во всем объеме образца между наковальнями и характеризуется выбрасыванием части взрывоподобно разрушенного материала за пределы системы сжатия со скоростью  $\sim 1$  км/с. Это приводит к быстрому сближению наковален и возбуждению в теле ударной волны, что в сочетании с объемным разрушением оказывает сильное влияние на структуру материалов. Так, в [2] обнаружено ориентирование разрушенного в РВ материала; кристаллиты были вытянуты от центра к краю дискообразного образца. Подобный эффект ориентации полимерных волокон и „кластерных блоков“ в пластиках после РВ описан в [3]. В образцах сплавов после РВ обнаружено неоднородное перераспределение элементов с образованием областей, обогащенных тем или иным из них [4]. Вместе с тем, исследований возможных в РВ фазовых превращений типа порядок-беспорядок и беспорядок-порядок не проводилось из-за неудобства для этих целей обычно используемых в РВ материалов. Выбор структурно-чувствительного вещества, каким является как аморфный, так и поликристаллический селен, позволил провести такое исследование впервые.

Образцы селена подвергались испытаниям на наковальнях Бриджмена с возбуждением в них РВ по методике, описанной в [2]. На наковальнях, изготовленных из твердого сплава ВК-8 с диаметром рабочей части 5 мм, РВ происходил (при нагружении образца со скоростью  $\sim 0.1$  ГПа/с) в аморфном и кристаллическом  $Se$  при  $\sim 6.5$  Па и  $\sim 5$  Па соответственно. Структурные исследования селена до какого-либо воздействия и после испытания им РВ выполнены на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2.0 с излучением  $SiK\alpha$ , напряжением 35 КэВ, током трубки 15 мА и скоростью вращения образца 2 град/мин. Полученные рентгенограммы представлены на рис. 1, 2. Из них видно, что образцы до испытания ими РВ либо аморфны (рис. 1, а), либо поликристаллически (рис. 2, а). В случае аморфного  $Se$  кристаллофаза отсутствует и на представленном участке рентгенограммы виден лишь один широкий растянутый максимум рассеяния, характерный для аморфных материалов. После РВ аморфного селена у него появилась

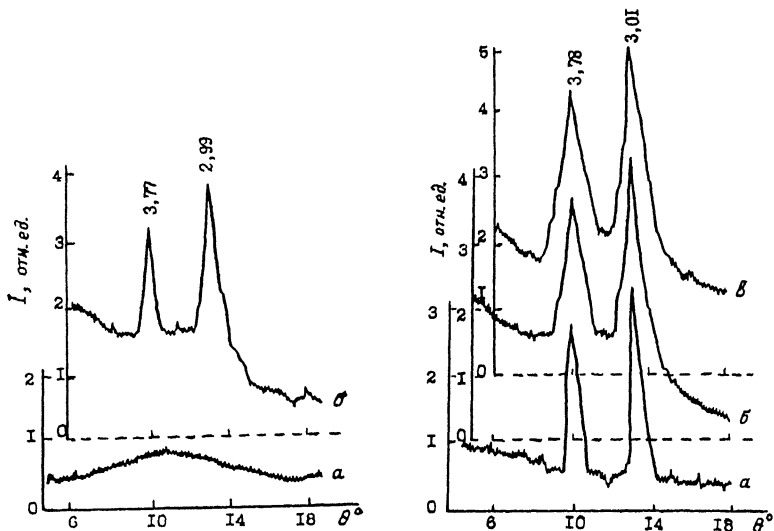


Рис. 1. Часть рентгенограммы для аморфного до РВ селена (а) и частично закристаллизованного в процессе РВ (б).

Рис. 2. Часть рентгенограммы для поликристаллического до РВ селена (а), для дискообразного образца селена после РВ (б) и образца после РВ, но размолотого в порошок (в).

кристаллическая фаза в гексагональной форме (рис. 1, б), но не образуется моноклинная модификация и фаза высокого давления (ФВД) селена [5]. Однако, наряду с пиками кристаллофазы осталась максимум рассеяния рентгеновских лучей, связанный с остаточной фазой аморфного  $Se$ , что свидетельствует лишь о частичной закристаллизованности.

Аналогичный анализ рентгенограмм изначально поликристаллического селена и после испытания им РВ показал противоположную картину – в образцах появились области с повышенной разупорядоченностью кристаллов и сильно дисперсной структурой, о чем свидетельствует заметное увеличение угловой ширины пиков и появление широкого максимума рассеяния под пиками (см. рис. 2, б). Но и в этом случае ФВД отсутствует, что не случайно, и может быть объяснено переходом ФВД (если ФВД вообще может появиться в рассматриваемых условиях) в дисперсное состояние при быстрой релаксации напряжений всестороннего сжатия [6]. В РВ поликристаллов, судя по рентгенограмме (б) на рис. 2, перекристаллизация не происходит, и этот факт находится в хорошем согласии с последними представлениями о механизме РВ. Действительно, перекристаллизация может иметь место при достаточных для нее локальных перегревах и незначительных скоростях охлаждения тела. Но известно насколько быстро (время порядка  $\sim 10^{-5}$  с) происходит релаксация температуры в тонких сжимаемых телах [7], какие по существу и испытыва-

ются обычно в процессах РВ. Кроме того, как было показано в работе [8], для быстрого течения кристально разрушенного тела (аналогичное течение реализуется и между наковальнями в момент РВ) совершенно не обязательно, чтобы расплавился весь образец, а достаточно лишь незначительных подплавов на границах скользко взаимодействующих при течении зерен. Сопоставление рентгенограмм (б) и (в) на рис. 2, снятых после РВ селена в одинаковых условиях, но одна — с поверхности пластин, оставшихся между наковальнями, а другая — с этих же пластин, но измельченных в порошок (с размерами частичек порядка нескольких микрометров), показывают большую аморфизацию во втором случае. Причем, процедура измельчения материала до довольно крупных частичек не привела к еще большему беспорядку, а лишь обнажила для исследования внутренние области образца. Большое разупорядочение в центральных областях пластины свидетельствует о реализации в РВ пластического течения кристаллических блоков при более медленных приповерхностных слоях. Действительно, как показано в работе [9], в процессах быстрого пластического течения хрупкого материала, подобного возникающему в РВ, границы трещин, проходящих по очагам разрушения, могут аморфизироваться при межкристаллитном трении.

Различие критических параметров давления РВ для аморфного и кристаллического селена согласуется с результатами работы [10], где показано соответствие энергетического состояния вещества критическим параметрам РВ. Кроме того, при РВ поликристаллического вещества значительная роль может принадлежать блочности его структуры, что и снижает энергию активации процесса РВ.

Известны подобные структурные исследования, проведенные при ударно-волновом нагружении (УВН) на аморфных металлических материалах [11]. УВН может приводить к упорядочению в локальных областях и разупорядочению структуры в областях интенсивного пластического течения. А, как следует из работы [12], при УВН кристаллов в них происходит значительная аморфизация.

Таким образом, представленные результаты свидетельствуют о возбуждении в процессе РВ такой ударной волны, которая способна приводить к локальным упорядочениям в аморфных телах и существенным разупорядочениям в кристаллах.

Авторы благодарят Д.Б. Титорова за полезные обсуждения.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] B r i d g m a n P.W. // Phys. Rev. 1935. V. 48. N 35. P. 825-847.
- [2] Я р о с л а в с к и й М.А. Реологический взрыв. М.: Наука, 1982. 193 с.
- [3] А л е к с а н д р о в А.И., Г а с п а р я н Э.Э., С в и с т у н о в В.С., Х з а р д ж я н А.А., П р о к о ф ь е в А.И., Б у б к о в Н.Н. // Докл. АН СССР. 1990. Т. 314. № 3. С. 648-650.

- [4] F a t e e v E.G., H a n V.P. // IX Internat. conference „Non-crystalline Semiconductors-89". Uzhgorod. USSR. 1989. V. 1. P. 121-123.
- [5] С а м н М., С а r t z J. // J. Chem. Phys. 1972. V. 56. P. 2552-2558.
- [6] Ф е д о р о в В.Т., Х о к о н о в Х.Б. // Докл. АН СССР. 1988. Т. 300. № 5. С. 1126-1128.
- [7] Г а л а х о в М.А., Г у с я т н и к о в П.Б., Н о в и - к о в А.П. Математические модели контактной гидродинамики. М.: Наука, 1985. 232 с.
- [8] К р а с н о щ е к о в Ю.И., К у з н е ц о в Л.К., П е - р е в е з е н ц е в В.Н., Ч е р н я к Г.Б., Ч у в и л ь - д и е в В.Н. // Докл. АН СССР. 1990. Т. 312. № 4. С. 872-875.
- [9] Б о к а й А.С. Поликластерные аморфные тела. М.: Энергоатомиздат, 1987. 198 с.
- [10] Х а н В.П., Ф а т е е в Е.Г. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 8. С. 81-84.
- [11] К и р к о В.И., К у з о в н и к о в А.А. // ФГВ. 1988. Т. 24. В. 6. С. 111-115.
- [12] К о р о с т е л е в С.Ю., П с а х ь е С.Г., П а - н и н В.Е. // ФГВ. 1988. Т. 24. В. 6. С. 124-127.

Поступило в Редакцию  
24 февраля 1991 г.  
В окончательной редакции  
18 августа 1991 г.