

силу сделанного замечания эти различия не могут служить поводом для радикальной критики высказанных в данной работе соображений.

Таким образом, установленная в рамках [1, 2] температурная зависимость откольной прочности не противоречит имеющимся экспериментальным данным и в первом приближении оказывается незначительной.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Молодец, А. Н. Дремин. Докл. АН СССР, 1982, 265, 6, 1385.
2. А. М. Молодец, А. Н. Дремин. Докл. АН СССР, 1979, 249, 6, 1361.
3. В. Р. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974.
4. Г. И. Канель. ФГВ, 1982, 18, 3, 77.
5. В. И. Романченко, Г. В. Степанов. ПМТФ, 1980, 4, 141.
6. В. М. Бучер и др. РТК, 1964, 6, 3.
7. Г. И. Канель, В. В. Щербань. ФГВ, 1980, 16, 4, 93.
8. С. Н. Журков, Э. Е. Томашевский. — В кн.: Некоторые проблемы прочности твердого тела. М.: Изд-во АН СССР, 1959.
9. М. Л. Бернштейн, В. А. Займовский. Структура и механические свойства металлов. М.: Металлургия, 1970.
10. А. М. Молодец, А. Н. Дремин. ФГВ, 1983, 19, 1.
11. Н. А. Златин, Г. С. Пугачев, С. М. Мочалов и др. ФТТ, 17, 9, 2599.
12. В. К. Голубев, С. А. Новиков, В. А. Синицын и др. ПМТФ, 1980, 4, 136.
13. С. А. Новиков. ПМТФ, 1981, 3, 109.

УДК 546.26—162

ДЕТОНАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. Н. Дробышев

(Черноголовка)

подавляющее большинство известных способов получения сверхтвердых материалов в динамических условиях основано на использовании ударных волн (УВ). Исходные вещества помещают в прочные металлические плоские или цилиндрические контейнеры, в стенках которых генерируют УВ детонацией зарядов взрывчатых веществ (ВВ), находящихся в контакте с ампулами, или ударом о стенки ампул тел, разогнанных продуктами детонации ВВ до больших скоростей. При этом УВ входят в превращаемое вещество и сжимают его до возникновения требуемых для фазового превращения величин давлений и температур. Таким образом, детонация ВВ используется косвенно как внешний источник энергии для создания УВ.

Целью настоящей работы является непосредственное использование высоких давлений и температур, развивающихся при детонации конденсированных ВВ, для синтеза СТМ.

Согласно гидродинамической теории, детонационная волна состоит из ударного фронта, за которым следуют зона химической реакции и затем область разлета продуктов детонации. Развивающиеся при детонации давления и температуры, размеры зоны и время химической реакции зависят в основном от мощности ВВ и плотности заряда. Например, у мощных ВВ максимальное давление во фронте достигает 60 ГПа, снижаясь в конце зоны реакции до 30 ГПа. Минимальное давление у маломощных ВВ малой плотности может иметь значение 3 ГПа. Точный расчет температур и их экспериментальное определение затруднены, однако по оценкам они могут составлять $(2 \div 6) \cdot 10^3$ К. Размеры зоны химической реакции изменяются от долей до нескольких миллиметров, а время не превышает 1 мкс.

Сопоставление рассмотренных выше данных с p , T -диаграммами состояния углерода и нитрида бора показало, что область детонационных параметров (p , T) расположена в области стабильности СТМ и синтеза СТМ в статических условиях. Существенно, что детонационные парамет-

ры перекрывают и труднодоступную область, в которой углерод и нитрид бора находятся в жидком состоянии. Анализ состояния инертных добавок неорганических веществ, пребывающих в зоне реакции, показал, что при размерах частиц менее 0,5 мкм должно происходить выравнивание давления и температуры до разлета продуктов детонации. Характер охлаждения исследуемого вещества в ампулах сохранения и при разлете продуктов детонации существенно различен. В первом случае после охлаждения в волнах разгрузки со скоростями до 10^8 град/с реализуются значительные остаточные температуры, уменьшение которых в дальнейшем определяется теплопроводностью ампулы и вещества. Во втором случае адиабатическая разгрузка продуктов детонации сразу обеспечивает более существенное охлаждение разлетающихся разобщенных твердых частиц.

Высказывалось мнение, что продукты детонации могут находиться в состоянии плазмы. Однако обнаруженный в [1] ионный характер проводимости продуктов детонации конденсированных ВВ, таких как гексен, нитрометан, исключает это предположение.

Таким образом, сравнительный анализ условий детонации конденсированных ВВ и *p, T*-диаграмм состояния углерода и нитрида бора указывал на возможность синтеза СТМ путем детонации зарядов, состоящих из ВВ и превращаемых веществ, и о целесообразности постановки исследований по изучению условий их синтеза.

В 1973 году условия детонационного синтеза СТМ (алмаза и плотных фаз нитрида бора) были найдены. Детонацию свободных смесевых зарядов осуществляли во взрывной камере. К настоящему времени получены данные о влиянии на степень превращения и свойства СТМ природы и размера частиц превращаемого материала, качественного и количественного состава ВВ, различных инертных добавок, некоторых параметров смесевых зарядов, а также изучены физико-химические свойства алмаза и плотных модификаций нитрида бора.

Синтез алмаза. Показано, что алмаз может быть получен из различных форм углерода, в том числе и аморфных, размер частиц которых может изменяться в широких пределах, причем исходный углерод может быть не только в виде мелкодисперсных фракций, но и в виде гранул различного размера и формы — цилиндра, диска, шара и т. п. При этом в зависимости от параметров детонации смесевых зарядов могут быть синтезированы кубическая модификация или смесь кубической гексагональной модификации. Свойства детонационного алмаза в значительной мере зависят от условий его получения. Детонационный алмаз — высокодисперсный материал с развитой удельной поверхностью, 20—150 м²/г, малыми областями когерентного рассеяния 60—200 Å и величиной микроискажений 2-го рода кристаллической решетки, достигающей $5 \cdot 10^{-3}$, и содержащий в зависимости от условий синтеза до 5% летучих примесей [2—4]. Термическая стабильность детонационного алмаза достаточно высока и также заметно зависит от условий его получения. После термообработки в вакууме в течение 4 ч степень аморфизации алмаза, синтезированного, например, из сажи, составляет 1,5% при 900°C, 4—5% при 1120°C и около 6—8% при 1340°C.

Синтез плотных модификаций нитрида бора. Показано, что плотные модификации нитрида бора могут быть получены как из высококристаллической графитоподобной, так и из турбостратной модификации нитрида бора. Более того, в зависимости от параметров детонации смесевых зарядов может быть осуществлен целенаправленный синтез вюртцитоподобной или кубической модификации нитрида бора или их смесей [5]. Как и в случае алмаза, размеры частиц плотных модификаций нитрида бора невелики — примерно от 0,05 до 5,0 мкм, а экспериментальная плотность существенно ниже ее теоретического значения: 3,15—3,30 г/см³.

Заключение. При обсуждении возможных механизмов образования СТМ наиболее интересным представляется предположение о частичном плавлении углерода и нитрида бора и последующей кристаллизации ал-

маза и кубической модификации нитрида бора из расплава. В пользу этой гипотезы свидетельствует, в частности, синтез алмаза из аморфных форм углерода. Однако интерпретация результатов сложна и неоднозначна.

Новый способ детонационного синтеза СТМ отличаются простота, достаточно высокая степень превращения исходных веществ в СТМ (до 50%), возможность осуществления процесса синтеза во взрывных камерах и организации производства СТМ с использованием средств автоматизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Якушев, А. Н. Дремин. Докл. АН СССР, 1975, 221, 5, 1143.
2. Г. А. Ададунов, А. В. Балуев, О. Н. Бреусов и др. Изв. АН СССР, «Неорганические материалы», 1977, 13, 4, 649.
3. Г. А. Ададунов, О. Н. Бреусов, В. Н. Дробышев и др.— В кн.: Физика импульсных давлений/Под ред. С. С. Бапанова. Вып. 44(74). М., 1979.
4. Г. П. Апарников, О. Н. Бреусов, В. В. Груздов и др.— В кн.: Алмазы и сверхтвердые материалы. Вып. 8. М., 1979.
5. Г. А. Ададунов, А. В. Ананьин, Т. В. Бавина и др. Авт. свид. № 902 364, 1981.

УДК 539.63+537.311.3

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ХЛОРИСТОГО НАТРИЯ ПРИ КВАЗИИЗЭНТРОПИЧЕСКОМ СЖАТИИ ДО 140 ГПа

*В. И. Постнов, А. Н. Дремин, С. С. Набатов, В. М. Шунин,
В. В. Якушев
(Черноголовка)*

Ударно-волновые эксперименты характеризуются чрезвычайно быстрым нагружением образцов и малой длительностью нахождения их в сжатом состоянии. Возникает вопрос, носят ли измеряемые при таких условиях физические величины равновесный характер [1]. Проблема правомерности использования динамических данных для предсказания свойств веществ при длительном воздействии давления и температуры до настоящего времени остается открытой. Применение изэнтропического или квазиизэнтропического режимов сжатия, которые по сравнению с однократными ударными волнами позволяют достигать высоких давлений более плавно и с меньшим разогревом, по-видимому, должно сыграть большую роль в решении этого вопроса.

В настоящей работе результаты экспериментов по измерению удельного сопротивления монокристаллов хлористого натрия при квазиизэнтропическом нагружении сопоставлены с данными Л. В. Альтшулера и др. [2], полученными при однократном ударном сжатии.

Схема постановки экспериментов приведена на рис. 1. Исследуемый образец, составленный из двух прямоугольных пластин хлористого натрия 1 (размер пластинки 30×30 , толщина 1 мм), вместе с изолирующими тефлоновыми прокладками 2 зажимали между медными экранами 3 диаметром 120 и толщиной 6—8 мм. Между пластинками размещали центральный электрод 4 диаметром 15—20 мм, изготовленный из алюминиевой фольги толщиной 0,01 мм.

Образец нагружали в кристаллографическом направлении [100] с помощью алюминиевого ударника 5 (толщина 7—10, диаметр 90 мм), разогнанного до высокой скорости взрывным устройством, описание которого приведено в [3]. Для достижения давлений выше 50 ГПа использовали двухстороннее сжатие аналогично [4]. Поскольку динамическая жесткость хлористого натрия меньше, чем у меди, конечное давление в образце p_1 достигается циркуляцией ударных волн между экранами. Давление в процессе нагружения определяли манганиновым датчиком 6