

ЛИТЕРАТУРА

1. Бацанов С. С., Дерибас А. А., Кустова Г. Н. Взаимодействие окислов редкоземельных металлов с водой // ЖНХ.— 1967.— 12.— С. 2283.
2. Бацанов С. С., Лазарева Е. В., Копанева Л. И. Ударное взаимодействие металлов с водой // Химия высоких энергий.— 1982.— 26.— С. 184.
3. Бацанов С. С., Лазарева Е. В., Копанева Л. И. Взаимодействие металлов с водой в условиях динамического сжатия // Хим. физика.— 1984.— 3.— С. 905.
4. Бацанов С. С. Неорганическая химия высоких динамических давлений // Успехи химии.— 1986.— 55.— С. 579.
5. Бацанов С. С., Бокарев В. П., Максимов И. И. и др. Образование пемз при динамико-статическом сжатии порошкообразных двуокисей кремния, германия и олова // ФГВ.— 1993.— 29, № 4.
6. Бацанов С. С., Болховитинов Л. Г., Мартынов А. И. О сохранении метастабильных фаз высокого давления при ударном сжатии // Письма в ЖТФ.— 1990.— 16, № 2.— С. 53.
7. Batsanov S. S. Dynamic-static compression of substance // Proc. Int. Symp. on Intense Dynamic Loading and its Effects.— Chengdu, China, 1992.— P. 844.
8. Туманов В. А., Исаев В. Н., Бацанов С. С. $p - v$ -зависимости в методе динамико-статического сжатия // ФГВ.— 1993.— 29, № 4.
9. Дремин А. Н., Бреусов О. Н. Химия ударного сжатия // Природа.— 1971.— № 12.— С. 10.
10. Панин В. Е., Слосман А. И., Овечкин Б. Б. и др. Взрывное прессование порошков TiC—TiNi // Порошк. металлургия.— 1985.— № 7.— С. 27.
11. Бацанов С. С., Мороз Э. М., Кузютин В. П. Действие взрыва на вещество. Кристаллографический аспект фазового перехода в нитриде бора // ЖСХ.— 1970.— 11.— С. 156.
12. Бацанов С. С., Мороз Э. М. Рентгенографическое изучение остаточных напряжений в кристаллах, подвергнутых ударному сжатию // Физ. хим. обработки материалов.— 1972.— № 6.— С. 127.
13. Бацанов С. С., Вазюлин В. А., Дидюков А. И. и др. Модифицирование материалов в условиях динамико-статического сжатия // Всесоюз. совещ. по детонации.— Красноярск, 1991.— Т. 1.— С. 48.
14. Бацанов С. С., Доронин Г. С., Ступников В. П. О специфике ударного сжатия в цилиндрических ампулах // ИФЖ.— 1967.— 13.— С. 572.
15. Ададуров Г. А., Дремин А. Н., Канель Г. И. Параметры махового отражения в плексигласовых цилиндрах // ПМТФ.— 1969.— № 2.— С. 126.
16. Бацанов С. С., Вазюлин В. А., Копанева Л. И. и др. Ударное прессование алмазного порошка // ФГВ.— 1991.— 27, № 4.— С. 139.
17. Бацанов С. С., Василевский С. В., Гурьев Д. Л. и др. Фазовое превращение VN при динамико-статическом сжатии // Хим. физика.— 1991.— 10.— С. 286.

141570, п/о Менделеево
Солнечногорского р-на М. О.,
НПО «ВНИИФТРИ»,
ЦВДД

Поступила в редакцию 5/II 1993,
после доработки — 6/V 1993

УДК 534.222.2:553.81

*И. Ю. Мальков, В. М. Титов, В. Л. Кузнецов,
А. Л. Чувилин*

ОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТИЦ УГЛЕРОДА ЛУКОВИЧНОЙ СТРУКТУРЫ ИЗ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО АЛМАЗА

Изучен процесс отжига ультрадисперсной алмазной фазы в вакууме. Показано, что частицы алмаза могут переходить в частицы углерода полиоболочечного строения, которые являются аналогами фуллереновых структур и состоят из вложенных одна в другую взаимодействующих углеродных оболочек.

Эволюция углерода в процессе взрыва конденсированных взрывчатых веществ (ВВ) с отрицательным кислородным балансом чрезвычайно важна в физико-химии детонации. Термодинамические параметры, при которых находятся продукты детонации, непрерывно изменяются, что часто приводит к возможности появления взаимопревращений одних полиморфных модификаций углерода в другие. Особый интерес имеет изучение превращения ультрадисперсного алмаза (УДА).

Так, например, при взрыве заряда ВВ в замкнутом объеме и недостаточно эффективном охлаждении продуктов детонации происходит частичный отжиг

© И. Ю. Мальков, В. М. Титов, В. Л. Кузнецов, А. Л. Чувилин, 1994.

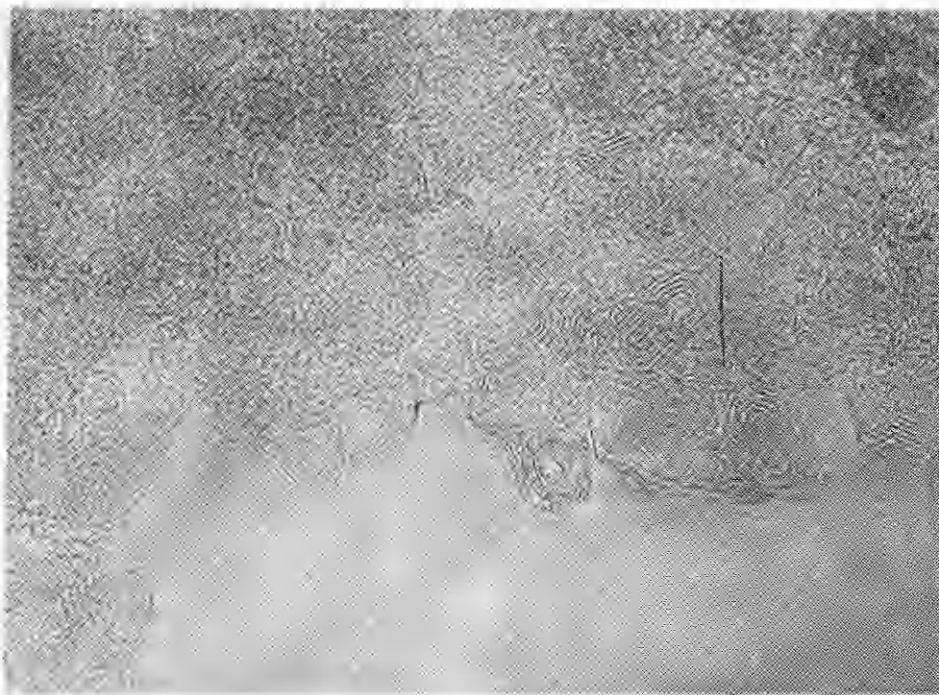


Рис. 1.

образовавшейся за время детонационного превращения ВВ алмазной фазы. При этом, как правило, полагают, что происходит графитизация алмазных частиц. Однако неясно, как из округлых частиц алмаза размером 40—50 Å и меньше могут образовываться частицы графита состоящие из плоских слоев шестичленных углеродных циклов.

С целью изучения возможности превращения УДА в другие формы углерода образцы алмаза (ОКР ~ 40 Å), выделенные путем химической очистки конденсированных продуктов взрыва заряда литого ТГ 50 / 50, были подвергнуты нагреву в вакууме при $T \sim 1500 \div 1800$ °С. На рис. 1 приведено типичное электронно-микроскопическое (ЭМ) изображение частиц, образовавшихся в результате отжига УДА. Видно, что частицы алмаза переходят в частицы с вложенными одна в другую оболочками. Имеются частицы как квазисферической формы с замкнутыми концентрическими оболочками, так и с замкнутыми графитоподобными сетками в форме полиэдров со сглаженными ребрами. Анализ ЭМ-изображений показал, что расстояние между оболочками составляет ~3,5 Å, причем каждая из замкнутых оболочек (до 7—8 от центра частицы) характеризуется периодическим изменением контраста с шагом, близким 1,5 Å. При этом изменения контраста различных оболочек взаимноупорядочены и образуют радиально расходящиеся структуры. Эти факты свидетельствуют в пользу достаточно жесткой ориентации замкнутых оболочек относительно друг друга.

О формировании квазисферических частиц, состоящих из замкнутых углеродных оболочек, в условиях термодинамической стабильности sp^2 -углеродных соединений уже сообщалось в ряде экспериментальных работ. Так при интенсивном облучении пучком электронов сажи и трубчатого углерода получены квазисферические частицы, являющиеся аналогами фуллереновых структур и содержащие до 70 замкнутых графитоподобных оболочек [1, 2].

При нагревании алмаза в области его термодинамической метастабильности происходит перестройка от sp^3 - к sp^2 -типу углеродных связей, в результате чего грани алмаза преобразуются в грани графита. Физически образование частиц, состоящих из вложенных углеродных оболочек, объясняется стремлением системы к минимуму поверхностной энергии за счет замыкания высокоэнергонасыщенных свободных связей краевых атомов обра-

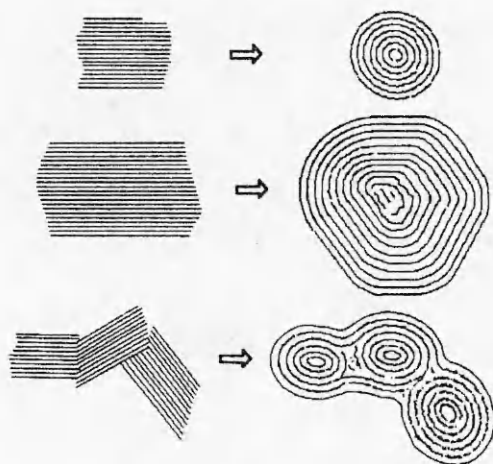


Рис. 2.

зующихся графитных сеток. Схематично процесс такого превращения изображен на рис. 2. При замыкании двух плоских решеток, ориентированных под углом друг к другу, должны появляться пятичленные напряженные циклы. Представляется разумным предположить, что аналогичные перестройки структуры характерны для высокодисперсных фаз углерода, в которых высока доля поверхностных атомов.

Интересно отметить, что авторы [3] наблюдали прямо противоположный зафиксированному в данной работе переход: образование высокодисперсного алмаза из ударно-сжатых фуллеренов.

Таким образом, еще раз видно, что аллотропия углерода гораздо разнообразней нежели в представлении классической фазовой диаграммы углерода, как правило имеющей дело лишь с тремя фазами: графит, алмаз, жидкость.

Квазисферические частицы углерода с луковичной структурой могут обладать рядом новых, по сравнению с известными кристаллическими модификациями углерода, свойств. Обнаруженное в данной работе явление практически однозначного перехода УДА в частицы углерода с замкнутыми углеродными оболочками открывает широкие возможности для дальнейших исследований. В частности использование алмазных порошков разной дисперсности дает принципиальную возможность получения таких частиц с заданным средним числом углеродных сфер. Интересные данные следует ожидать и от изучения устойчивости УДА к ударно-волновому воздействию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ugarte D. Curling and closure of graphitic networks under electron-beam irradiation // Nature.— 1992.— 359, N 6397.— P. 707—709.
2. Kroto H. W. Carbon onions introduce new flavour to fullerene studies // Ibid.— 1992.— 359, N 6397.— P. 670—671.
3. Nunez-Regueiro M. et al. Fullerenes and diamond // Diamond and Related Materials.— 1993.— 2.— P. 1203—1210.

630090, г. Новосибирск,
Институт гидродинамики
им. М. А. Лаврентьева СО РАН

Поступила в редакцию 20/IX 1993