

В.Ф. АНИСИЧКИН, И.Ю. МАЛЬКОВ,  
член-корреспондент АН СССР В.М. ТИТОВ

## СИНТЕЗ АЛМАЗА ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Статические и импульсные методы создания высоких давлений нашли широкое применение в синтезе алмаза из других форм углерода [1, 2]. Алмаз получен и в процессе пиролиза углеродсодержащих соединений при высоких давлениях в статических условиях [3 - 6]. В настоящей работе изложены результаты по синтезу алмаза при динамическом нагружении органических веществ, что является логическим развитием метода синтеза из органических взрывчатых веществ (ВВ), о чем сообщалось в [7].

С целью создания необходимых условий для синтеза алмаза органические вещества вводились в качестве добавок в заряды насыпного ВВ. После расширения продуктов детонации конденсированная фаза их подвергалась химическому и рентгеноструктурному анализу. В опытах обеспечивалась сохранность образовавшейся алмазной фазы по аналогии с синтезом из ВВ.

В ряде экспериментов с целью повышения давления и температуры смеси исследуемых веществ и ВВ обжимались детонацией оболочек из более мощного ВВ. Указанные схемы опытов позволяли поддерживать давление в исследуемых веществах в интервале от 40 до 20 ГПа в течение времени порядка  $10^{-6}$  с и температуру не менее  $(3 - 4) \cdot 10^3$  К [8 - 10]. Величина давления измерялась в модельных экспериментах с помощью манганиновых датчиков. Исследовался целый ряд органических веществ: сахар, бензин, этанол, глицерин, бензол, ацетон, парафин, гексан и др.

При анализе полученных продуктов взрыва из общего их количества вычитались вклады оболочки и ВВ, входящего в состав смеси, а также других составляющих взрывного устройства. Для определения указанных компонент были поставлены контрольные эксперименты при "холостом" (не дающем алмаза) наполнителе зарядов. Такой метод определения выхода алмазной фазы из вещества-наполнителя не совсем точен и не учитывает ряд возможных эффектов, вызванных, например, частичным растворением ВВ или вторичными реакциями, однако позволяет достаточно просто и наглядно сравнивать эксперименты друг с другом. Некоторые из результатов, полученные указанным выше способом, приведены в табл. 1.

Основной вывод из поставленных экспериментов: образование алмазной фазы есть общая закономерность для всех органических веществ, в процессе

Таблица 1  
Относительный выход алмазной фазы  
для различных органических веществ

Вещество	$C_{a.f.}/C_{\Sigma}$	
	I	II
Бензол ( $C_6H_6$ )	0,66	0,97
Ацетон ( $C_3H_6O$ )	0,80	1,0
Парафин ( $C_{14}H_{30}$ )	0,10	0,52
Гексан ( $C_6H_{14}$ )	0,19	0,93
Этанол ( $C_2H_6O$ )	0,46	1,0

Примечание.  $C_{a.f.}$  - выход алмазной фазы;  $C_{\Sigma}$  - суммарный выход конденсированных форм углерода

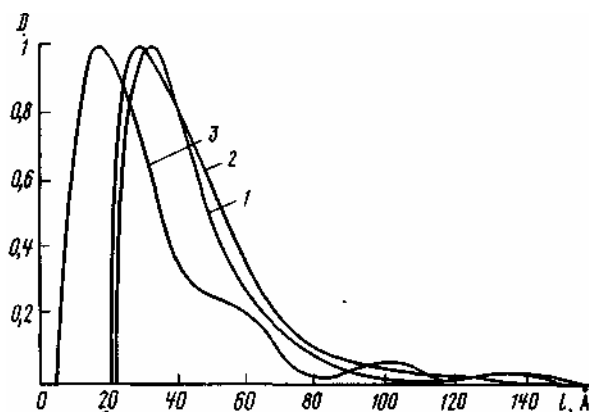


Рис. 1. Распределение по размерам частиц алмаза, образующихся при детонации разных зарядов: 1 — ВВ; 2 — смесь ВВ и бензола; 3 — смесь ВВ и глицерина

разрушения молекулярной структуры которых при достаточно интенсивном динамическом нагружении обеспечивается наличие свободного углерода.

Однако при сравнимом суммарном выходе конденсированных форм углерода, который в основном определяется балансом углерода, участвующего в превращениях, выход алмазной фазы существенно различается у разных веществ и зависит от индивидуальных свойств исследованных соединений. При малом времени существования высоких давлений и температур, необходимых для образования алмазной фазы, особенности состава и молекулярной структуры веществ проявляются в способности к выделению свободного углерода на более ранних стадиях разложения веществ и его концентрации, а также в количестве возникающих зародышей алмазной фазы. Сказанное иллюстрируется данными табл. 1, столбец I.

Увеличение амплитуды нагружения смесей, которое достигается в зарядах с оболочкой из мощного ВВ (табл. 1, столбец II), приводит к тому, что независимо от наполнителя содержание алмазной фазы в конденсированных продуктах возрастает. Это говорит о том, что при достаточно большой интенсивности ударной волны происходит полная деструкция органических веществ и выход алмаза становится независимым от исходной молекулярной структуры.

В настоящее время форма кривой распределения малых частиц по размерам часто связывается с механизмом их роста [11]. Проведенное в данной работе исследование распределений частиц ультрадисперсного алмаза по размерам при синтезе непосредственно из ВВ и из ВВ с органическими добавками показало, что они не зависят от размеров зарядов при изменении их по крайней мере на порядок. Это свидетельствует о том, что процесс синтеза практически завершается в зоне химической реакции детонационной волны (в химпике).

На рис. 1 приведены типичные кривые распределения частиц по размерам, полученные методом малоуглового рассеяния рентгеновских лучей. Характерный логарифмически-нормальный вид этих распределений как в случае ВВ, так и для смесевых составов свидетельствует о том, что в обоих случаях рост частиц происходит в основном путем коагуляции алмазных кластеров, образовавшихся в результате деструкции исходных веществ. Однако предварительные исследования показывают что в случае смесей средний размер получаемых частиц и положение максимума кривой распределения могут зависеть от вида наполнителя (рис. 1).

При достижении размеров частиц  $\sim 5$  нм за времена порядка  $0,5 \cdot 10^{-6}$  с, что характерно для детонационных процессов, средняя скорость увеличения радиуса

частицы  $\sim 5$  мм/с, т.е. примерно на три порядка выше, чем линейная скорость роста граней кристаллов алмаза в статических условиях, достигающая 0,11-0,15 мм/мин [12].

В заключение следует отметить, что высокомолекулярные органические вещества были первыми материалами, на которых в 1982 г. в Институте гидродинамики предпринималась попытка синтеза алмаза из органических веществ в динамической постановке. С точки зрения представлений, развитых в данной работе, эти материалы неперспективны для синтеза при реализованных тогда параметрах ударного сжатия. Но именно в этих экспериментах был обнаружен выход алмазной фазы из углерода ВВ. Авторы признательны участникам тех опытов А.И. Лямкину, А.М. Ставеру за обсуждение условий их постановки.

Данная работа устанавливает единую общность процесса образования ультрадисперсного алмаза при высоких термодинамических параметрах, характерных для детонационных и других динамических процессов.

Авторы благодарят В.Ю. Коломыйчука за получение кривых распределения частиц ультрадисперсного алмаза по размерам.

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева  
Сибирского отделения Академии наук СССР  
Новосибирск

Поступило  
20 VII 1988

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Wentorf R.H.* - Adv. Chem. Phys., 1965, vol. 9, p. 365.
2. *Ададуров Г.Л., Ананьин А.В. и др.* - Междунар. заявка РСТ/SU 80/00136, 1980.
3. *Wentorf R.H.* - J. Phys. Chem., 1965, vol. 69, p. 3069.
4. *Яковлев Е.Н., Воронов О.А.* - Алмазы и сверхтвердые материалы, 1982, вып. 7.
5. *Яковлев Е.Н.* В кн.: Высокие давления в науке и технике. Тез. докл. XI Междунар. конф. МАРИВД. Киев, 1987, с. 29.
6. *Куликова Л.Ф., Шалимов М.Д., Слесарев В.Н.* Там же, с. 35.
7. Физика горения и взрыва (ред. статья), 1987, т. 23, № 5, с. 3.
8. *Воскобойников И.М.* В кн.: Химическая физика процессов горения и взрыва. Детонация и ударные волны. Черноголовка, 1986, с. 94.
9. *Kato Y., Mori N. et al.* In: Proc. Eighth Symposium (Int.) on Detonation. Albuquerque, New Mexico, 1985, p. 558.
10. *Анисичкин В.Ф.* - Физика горения и взрыва, 1988, т. 24, № 1, с. 75.
11. *Петров Ю.И.* Кластеры и малые частицы. М.: Наука, 1986.
12. *Новиков Н.В.* В кн.: Высокие давления в науке и технике. Тез. докл. XI Междунар. конф. МАРИВД. Киев, 1987, с. 9.