

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА АЛМАЗОВ ИЗ СМЕСИ ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА С УГЛЕРОДНОЙ ДОБАВКОЙ ИЗОТОПНЫМ МЕТОДОМ

Н. В. Козырев, Г. В. Сакович, Сен Чел Су*

Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, 659322 Бийск, ipcetadm@yourline.ru
*ООО «СейнТехЛаб», 630090 Новосибирск

Экспериментально исследован процесс синтеза детонационных алмазов из смеси меченного изотопом C^{14} гексогена с сажой. Показано, что значительная часть алмазов (24.7 ± 3.4 %) образуется из углерода, входящего в состав молекул гексогена. Степень перехода углеродных атомов сажи в алмазную фазу составляет (16.0 ± 1.6 %).

Ключевые слова: детонационный синтез, алмаз, изотопный метод.

В настоящее время процесс синтеза и свойства алмазов, полученных в детонационной волне из смесей взрывчатых веществ (ВВ) с различными углеродсодержащими материалами (графит, сажа), изучены достаточно полно [1–3]. При этом предполагается, что алмаз образуется из углеродной добавки в результате фазового перехода. Однако открытие синтеза ультрадисперсных алмазов (УДА) с высоким выходом [4, 5] из собственного углерода, входящего в состав молекул ВВ, указывает на неоднозначность такого подхода и необходимость дальнейшего изучения этого явления. Наиболее удобен для таких исследований метод меченых атомов, который позволяет непосредственно оценивать степень участия углерода ВВ и добавки в образовании алмазов.

В данной работе описан процесс синтеза детонационных алмазов из смеси гексоген/сажа ($85.6/14.4$ %) с использованием гексогена, меченного изотопом C^{14} . Для изготовления заряда применялась сажа марки П-803 (ГОСТ 7885-86) с удельной площадью поверхности $14 \div 18$ м²/г и флегматизированный парафином гексоген (массовое содержание флегматизатора $5.0 \div 6.5$ %). Смесь компонентов тщательно перемешивалась. Заряд массой 105 г, диаметром 40 мм изготавливался прессованием при удельном давлении 1800 кг/см² и подрывался во взрывной камере объемом 0.175 м³ в среде азота при начальном давлении 0.8 МПа. Выделение алмазов из собранных продуктов взрыва осуществлялось кипячением в смеси серной и азотной кислот до появления характерной светло-серой окраски. После отмывки

от кислот, выделения из суспензии центрифугированием и сушки образец анализировали на влажность, содержание общего углерода, алмаза и несоразмерных примесей. Исследование изотопного состава исходного гексогена и выделенных алмазов проводилось на жидкостном сцинтилляционном бета-спектрометре «LS-230» фирмы «Beckman». По результатам измерения удельной радиоактивности и химического анализа рассчитана массовая доля алмаза, образовавшегося из углерода гексогена.

Полученные данные показали, что (24.7 ± 3.4 %) синтезированных детонационных алмазов образовалось из углерода, входящего в состав молекул гексогена. Фактически эта доля алмазов — УДА. Она зависит от состава ВВ, плотности заряда и может быть еще больше, если для нагружения углеродсодержащего материала в качестве ВВ использовать тротил или его смеси с гексогеном либо октогеном. В связи с этим следует отметить, что применение для описания результатов детонационных экспериментов процента перехода углеродной добавки в алмаз корректно только при отсутствии ультрадисперсной фракции в детонационном алмазе, выделенном из продуктов синтеза. В противном случае следует использовать другой параметр: выход алмазов по отношению к массе заряда или любую другую величину, учитывающую образование части алмазов из ВВ.

Определенный по результатам химического анализа выход детонационных алмазов (суммарно с УДА) в описанных выше условиях составил 3.2 % по отношению к массе заряда. Таким образом, (0.83 ± 0.17) г алмаза в рас-

чете на заряд массой 100 г образовалось из углерода гексогена, т. е. (6.1 ± 1.3) % углеродных атомов последнего переходят в алмазную фазу конденсированных продуктов взрыва. Выход детонационных алмазов из сажи П-803 составил (2.39 ± 0.24) г, что соответствует степени перехода углеродных атомов сажи в алмаз (16.0 ± 1.6) %.

Исходя из точности экспериментов и учитывая, что содержание флегматизатора в составе ВВ невелико, степень перехода углеродных атомов флегматизатора в алмаз можно оценить только в первом приближении. По расчетам эта величина составляет около 3.5 %.

Так как в состав молекулы гексогена входит кислород, а в саже его нет, только часть углеродных атомов ВВ переходит в конденсированную фазу продуктов взрыва. Если задать какую-либо схему детонационного разложения ВВ, то можно рассчитать степень перехода конденсированной фазы, выделяющейся из ВВ, в алмаз.

Предположим, что превращение ВВ в продукты в детонационной волне происходит по схеме с максимальным выделением свободного углерода: сначала кислород идет на окисление водорода до воды, затем остаток кислорода расходуется на окисление углерода до углекислого газа. Такая схема разложения вероятнее всего реализуется в зоне химических реакций детонационной волны мощных ВВ [6]. При этом продукты разложения (превращения) различных компонентов гетерогенных смесей образуются в различных «микрообъемах» и их заметное перемешивание в зоне химических реакций детонационной волны отсутствует [7, 8].

При разложении по такой схеме максимальный выход углерода из гексогена составляет 8.11 % от массы заряда. В таком случае степень перехода конденсированного углерода, который может выделиться из гексогена в максимальном количестве, в алмазную фазу

составляет (12.1 ± 2.6) %, что сравнимо со степенью перехода углерода сажи в детонационный алмаз.

Таким образом, при синтезе алмазов в детонационной волне из смеси ВВ с углеродной добавкой заметная их часть может образоваться из углерода, входящего в состав молекул взрывчатого вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Способ** получения алмаза и/или алмазоподобных модификаций нитрида бора / Г. А. Адагуров, А. В. Ананьин, О. Н. Бреусов и др. Междунар. заявка PST/SU 80/00136. Опубл. 18.02.1982.
2. **Дробышев В. Н.** Детонационный синтез сверхтвердых материалов // Физика горения и взрыва. 1983. Т. 19, № 5. С. 158–160.
3. **Ананьин А. В., Бреусов О. Н., Дробышев В. Н. и др.** Термографическое и рентгенографическое исследование свойств алмазов, полученных в условиях детонационного синтеза // Сверхтвердые материалы. 1986. № 5. С. 11–14.
4. **Лямкин А. И., Петров Е. А., Ершов А. П. и др.** Получение алмазов из взрывчатых веществ // Докл. АН СССР. 1988. Т. 302, № 3. С. 611–613.
5. **Greiner N. R., Phillips D. S., Johnson J. D., et al.** Diamonds in detonation soot // Nature. 1988. V. 333, N 2. P. 440–442.
6. **Мадер Ч.** Численное моделирование детонации. М.: Мир, 1985.
7. **Титов В. М., Анисичкин В. Ф., Мальков И. Ю.** Исследование процесса синтеза ультрадисперсного алмаза в детонационных волнах // Физика горения и взрыва. 1989. Т. 25, № 3. С. 117–126.
8. **Козырев Н. В., Брыляков П. М., Сен Чел Су и др.** Исследование процесса синтеза ультрадисперсных алмазов методом меченых атомов // Докл. АН СССР. 1990. Т. 314, № 4. С. 889–891.

Поступила в редакцию 10/IX 2004 г.