

К. В. Волков, В. В. Даниленко, В. И. Елин

СИНТЕЗ АЛМАЗА ИЗ УГЛЕРОДА ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ ВВ

В [1, 2] впервые сообщается о получении ультрадисперсного алмаза (УДА) из углерода ВВ с отрицательным кислородным балансом при детонации зарядов в охлаждающей газовой среде (аргон, углекислый газ и др.). О создании этого метода синтеза УДА можно было судить по работам [3—5]. В [1] отмечено, что «в лабораториях страны существуют и другие подходы к задаче сохранения алмаза, возникшего при детонации конденсированных ВВ». Один из таких подходов описан в настоящей работе, выполненной авторами в 1963—1965 гг.

Детонационная волна (ДВ) представляет собой комплекс ударной волны (УВ), на фронте которой начинается разложение ВВ (химпик), следующей за УВ зоны химической реакции, которая заканчивается в точке Чепмена — Жуге, и, наконец, тейлоровской волны разгрузки. Согласно гидродинамической теории детонации, амплитуда химпика в 1,3—1,5 раза больше давления p в точке Жуге при расчетной температуре ударного сжатия ВВ $T = (1 \div 2) \cdot 10^3$ К.

В таблице для некоторых ВВ даны величины p и T в точке Жуге [6, 7] и количество свободного С в продуктах детонации (ПД), рассчитанное из условия, что кислород в молекулах ВВ окисляет С до СО или до СО₂. Количество выделяющегося при взрыве ВВ конденсированного углерода переменено и зависит от состава ВВ, плотности заряда ρ_0 и условий взрыва.

Выделение углерода определяется реакцией генераторного газа ($2CO \rightleftharpoons CO_2 + C$), в которой равновесие сдвигается влево с повышением T и вправо с ростом p . Следовательно, с увеличением ρ_0 должно расти и количество свободного С в ПД. Сопоставление величин p и T в ДВ с фазовой диаграммой углерода показывает, что свободный углерод должен конденсироваться в форме алмаза (рис. 1). Для зарядов из ТГ (тротил/гексоген) 50/50 ($\rho_0 = 1,67$ г/см³) точка Жуге лежит в области жидкого углерода (см. рис. 1), следовательно, алмаз должен кристаллизоваться из микрокапель С и лишь при расширении ПД он получает возможность превратиться в графит (или сгореть при взрыве заряда в воздухе). Долгое время считалось, что углерод ПД выделяется в виде сажи, только в [8—10] обсуждается возможность его конденсации в форме алмаза.

Для синтеза алмаза целесообразно применение гетерогенных ВВ (типа ТГ), у которых больше ширина зоны химической реакции и в ПД создается микротурбулентность, хорошее перемешивание, необходимое для роста алмаза. Несмотря на убедительность изложенных теоретиче-

ВВ	ρ_0 , г/см ³	Условия в точке Жуге		Свободный углерод в ПД, % к массе ВВ	
		p , ГПа	T , К	окисление до	
				СО	СО ₂
Тротил	1,64	19	3500	+18	+28
Гексоген	1,82	35	4200	0	+8
ТГ 50/50	1,67	28	3900	+9	+18
ТГ 40 60	1,68	29	4000	+7	+15
Тетрил	1,7	24	4000	+2	+18
Тэн	1,62	30	4400	-11	+4

© 1990 Волков К. В., Даниленко В. В., Елин В. И.

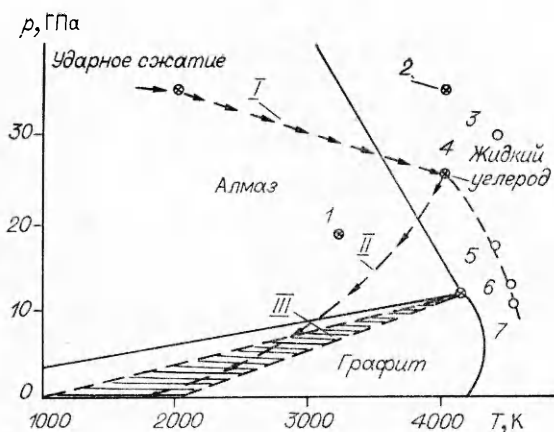


Рис. 1. Фазовая диаграмма углерода и параметры детонации ТГ 50/50.

I — химическая реакция; II — изобарное расширение; III — графитизация алмаза. 1 — тротил; 2 — гексоген; 3 — тэн; 4—7 — точки Жуге при $\rho_0 = 1,67$ (4), 1,43 (5), 1,25 (6), 1,11 (7) для ТГ 50/50.

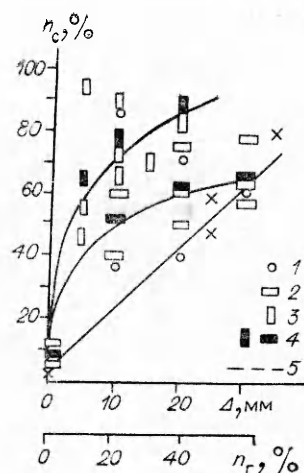


Рис. 2. Влияние Δ для ТГ 40/60 (сплошные линии) и n_r (штриховая) в составах ТГ на n_c .

1 — шар; 2 — диск; 3 — цилиндр; 4 — средние значения; 5 — $\Delta = 30$ мм; указан разброс точек из 38 опытов.

ских предпосылок, кинетика образования и роста алмаза из углерода ПД не была известна авторам, поэтому был необходим прямой эксперимент, доказывающий факт синтеза алмаза. Очевидно, для сохранения алмаза взрыв зарядов ВВ должен проводиться в охлаждающей и инертной (без кислорода) среде. Причем, такой, чтобы ее теплоемкость в объеме взрывной камеры была больше тепловыделения при взрыве заряда данной массы и состава, а скорость охлаждения алмаза максимальна. В качестве такой среды выбрана вода в виде оболочки вокруг заряда. Кроме быстрого охлаждения УДА, вода сдерживает разлет ПД и, следовательно, увеличивает время существования давления в области стабильности алмаза. Согласно сделанным оценкам, для ТГ 50/50 в ПД в отраженной волне $p = 18$ ГПа при нулевом угле падения и 7,5 ГПа при 90° (скользящая детонация).

Первый опыт, в котором выделен из углерода ПД, сохранен и исследован алмаз, проведен в июле 1963 г. Затем была выполнена серия из ~ 100 опытов. Заряды из ТНТ ($\rho_0 = 1,58$ г/см³), ТГ 50/50 ($\rho_0 = 1,67$ г/см³), ТГ 40/60 ($\rho_0 = 1,68$ г/см³), ТГ 30/70 ($\rho_0 = 1,71$ г/см³) массой 100 г в виде дисков, цилиндров и шаров с размерами 60×20 , 30×80 и 54 мм соответственно взрывали в камерах объемом 100 л, в воздухе и в атмосфере CO_2 , в оболочках из воды (рис. 2) и комбинированных оболочках из воды и Al, Fe, Pb. Алмаз очищали, растворяя сажу кипячением в смеси $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{KNO}_3$ ($\rho = 1,84$ г/см³), примеси удаляли в HNO_3 , HCl , HF .

Чистоту алмаза контролировали газовым, спектральным и рентгеноструктурным анализами.

В результате опытов установлено, что при взрыве зарядов без оболочки в воздухе алмаз не сохраняется, а в атмосфере CO_2 сохраняется лишь в небольших количествах ($\sim 0,5\%$ от массы заряда), что можно объяснить недостаточным охлаждением алмаза в камере относительно малого объема. Наличие даже тонкой водяной оболочки резко увеличивает количество алмаза n_c . Добавление к воде оболочек из Al, Fe, Pb не оказывает заметного влияния на выход алмаза в опыте. Содержание алмаза в собранном конденсированном углероде растет с увеличением толщины водяной оболочки Δ и содержания гексогена n_r в составе, а также зависит от формы заряда (см. рис. 2).

Для тротила величина n_c в конденсированном углероде составляет 5%, а для ТГ 30/70 $\sim 80\%$. Относительно массы взрываемого заряда выход алмаза составляет: для тротила 0,5%, для ТГ 40/60 8—12%.

Таким образом, существует зависимость между содержанием алмаза в конденсированном углероде и его выходом.

Размеры частиц полученного алмаза по измерениям под электронным микроскопом 0,3—0,06 мкм, форма округлая, размер области когерентного рассеяния 4—6 нм (т. е. получен ультрадисперсный алмаз). Пикнометрическая плотность 3,2 г/см³ и при определении в тяжелых жидкостях 3,48 г/см³. Состав: ~90 % — алмаз, ~10 % — адсорбированные вода, газы, различные радикалы (не удаляются полностью при нагреве до 900 °С в токе аргона), зольность <1 %. Окисление на воздухе начинается при 350 °С, после выдержки 5 ч при $T = 900$ °С в герметичной медной ампуле графитизация — 10 %. В 1986 г. обнаружено, что после 22 лет хранения на воздухе при комнатной температуре УДА графитизировался на 5,7 % (найден по потере массы трех проб после повторной обработки в смеси H₂SO₄ + KNO₃). По-видимому, увеличение поверхностной энергии и энергии дефектов при уменьшении размеров кристаллов снижает термодинамическую метастабильность алмаза, и в наиболее мелких и дефектных кристаллах идет очень медленный процесс поверхностной графитизации даже при комнатной температуре.

В заключение выражаем благодарность С. Е. Саниной за очистку и анализ полученного УДА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лямкин А. И., Петров Е. А., Ершов А. П. и др. Докл. АН СССР, 1988, 302, 3.
2. Creiner Roy N., Philips D. S., Johnson J. D. et al. Prepr.-LA-UR 88-104.— Los Alamos, 1988.
3. Ставер А. М., Губарева Н. В., Лямкин А. И. и др. ФГВ, 1984, 20, 5.
4. Петрунин В. Ф., Погонин В. Я., Саввакин Г. И. и др. Порошковая металлургия, 1984, 2.
5. Саввакин Г. И., Трефилов В. И., Феночка Б. В. Докл. АН СССР, 1985, 282, 5.
6. Мейдер. Численное моделирование детонации.— М.: Мир, 1985.
7. Cato J., Mori N., Sakai H. // The 8th Symp. (Intern.) on Detonation. Prepr.— New Mexico, 1985.
8. Bante J., Chirat R. // Ibid.
9. Губин С. А., Одинцов В. В., Пепекин В. И. Хим. физика, 1986, 5, 1.
10. Van Thiel M., Ree F. N. UCRL-preprint 95839.— Livermore, 1986.

г. Челябинск

Поступила в редакцию 20/XI 1989

УДК 534.222.2 : 621.791.18

В. Ф. Сазонов, А. С. Хромов, В. К. Коробов, С. С. Бацанов

УДАРНО-ДИФфуЗИОННАЯ СВАРКА МЕТАЛЛОВ

Диффузионная сварка металлов широко используется для получения высококачественных сварных соединений, близких по прочности к основному металлу [1]. Для повышения качества сварного шва используют разные физические методы: электромагнитные поля, ультразвуковые колебания и т. д. Однако все они недостаточно интенсифицируют процесс соединения из-за малости собственных эффектов. Метод взрывного воздействия представляется более перспективным по причине значительного воздействия на структуру и свойства металлов, и как результат — на скорость диффузионных процессов [2]. Поэтому взрывное нагружение используется для активации процессов спекания металлических и керамических порошков [3—5].

Динамическое сжатие металла (в данном случае — сталь 50ХФА) проводилось в многослойном цилиндрическом контейнере, составленном из материалов различной плотности. В качестве источника энергии использовалось ПВВ-4. В результате ударного воздействия в металле гене-