

венному отклонению значений деформаций от средних, характерных для гладкой части камеры. Во всех точках цилиндрической оболочки окружные напряжения в ~ 2 раза превышают осевые. Ни в одной точке эквивалентные напряжения не превышают максимальных в окружном направлении. Сдвиговые напряжения в 3—5 раз меньше окружных.

Определен спектр собственных частот для установки КВГ-16. Подавляющий вклад в наблюдаемую деформацию вносят низкочастотные колебания с частотой ~ 80 —450 Гц, которые, предположительно, связаны с продольными осесимметричными колебаниями (200—450 Гц) и неосесимметричной формой колебаний с частотой ~ 84 Гц, обусловленной наличием массивного предметного стола.

Оценена скорость затухания отдельных гармоник. Показано, что разные моды затухают с различной скоростью. Значения декремента составили от 5 до 27 % на период, что существенно выше характерных значений, получаемых при ультразвуковых измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nemeček J., Nykl F. A contribution to studies regarding the explosion chambers // Proc. of 2 Symp. "Explosive working of metals". — Marianske Lasne. — 1973. — V. 2. — P. 413—421.
2. Бузуков А.А. Особенности поведения стенок взрывных камер под воздействием импульсной нагрузки // ФГВ. — 1976. — 12, № 4. — С. 605—610.
3. Корпеев В.М., Адишев В.В. и др. Экспериментальные исследования и анализ колебаний оболочки взрывной камеры // Там же. — 1979. — 12, № 6. — С. 155—157.
4. Белов А.И., Клаповский В.Е. и др. Динамика сферической оболочки при несимметричном внутреннем импульсном нагружении // Там же. — 1984. — 20, № 3. — С. 71—74.
5. Володина Л.В., Зотов В.Е. и др. Динамика вязкоупругих сферических оболочек при внутреннем взрывном нагружении // Там же. — 1992. — 28, № 4. — С. 91—95.
6. Демчук А.Ф. Металлические взрывные камеры: Дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск, 1971.
7. Сухарев И.П. Экспериментальные методы исследования деформации и прочности. — М.: Машиностроение, 1987.
8. Сильвестров В.В., Пластинин А.В., Горшков Н.Н. Влияние окружающей заряд ВВ среды на реакцию оболочки взрывной камеры // ФГВ. — 1994. — 30, № 2.
9. Бендат Дж., Пирсон А. Прикладной анализ случайных данных. — М.: Мир, 1989.
10. Nemeček J., Nykl F. Определение параметров и воздействия взрыва плоских зарядов ВВ при их детонации в замкнутой цилиндрической камере // Proc. of 3 Symp. "Explosive working of metals". — Marianske Lasne. — 1976. — V. 2. — P. 495—510.
11. Белл Дж. Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. — М.: Наука, 1984. — Ч. 1.

630090, г. Новосибирск,
ИГиЛ СО РАН

Поступила в редакцию 27/IV 1993

УДК 534.222.2 + 666.223

С.В. Першин, Е.А. Петров, Д.Н. Цаплин

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ МОЛЕКУЛЫ ВВ НА СКОРОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ, ВЫХОД И СВОЙСТВА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ АЛМАЗОВ

Зарегистрированы зависимости скорости детонации и электросопротивления продуктов детонации от начальной плотности 2,4-динитро-2,4-диазапентана. Исследования твердых продуктов детонации ДНП и его сплавов с гексогеном показали, что содержание в них алмаза, размер его частиц и микрокристаллитов значительно меньше, чем в случае сплавов тротила с гексогеном.

Детонационный синтез ультрадисперсных алмазов (УДА) входит в промышленное производство. Актуальным становится поиск новых эффективных взрывчатых веществ (ВВ). До последнего времени исследовались ВВ ароматического ряда [1]. Представляло интерес сравнить результаты этих работ

© С.В. Першин, Е.А. Петров, Д.Н. Цаплин, 1994.

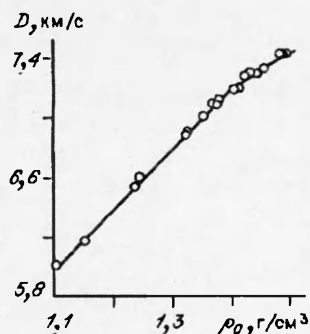


Рис. 1. Зависимость скорости детонации от начальной плотности ДНП.

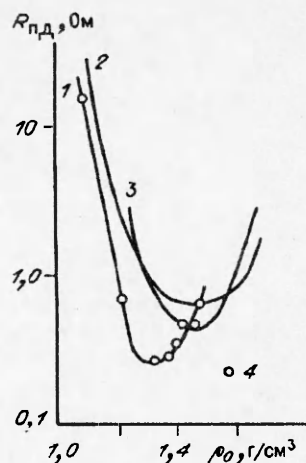


Рис. 2. Влияние ρ_0 на $R_{пд}$

1 — ДНП; 2 — пикриновая кислота; 3 — тетрил; 4 — экспериментальные значения для ДНП.

с теми, что дадут исследования детонационного синтеза алмаза из неароматических ВВ. Влияние молекулярной структуры ВВ на результаты детонационного синтеза УДА впервые отмечалось в работах [2, 3]. В [4] высказано предположение, что зародыши алмазной фазы в ударных и детонационных волнах в ароматических соединениях и ВВ благодаря наличию в них компактных групп атомов углерода (бензольных колец) зарождаются значительно быстрее, чем в неароматических соединениях, не содержащих таких групп.

Цель настоящей работы — выяснение различий в скорости образования, выходе, дисперсности и дефектности кристаллической структуры УДА при его детонационном синтезе из ароматических и неароматических ВВ. В настоящей публикации естественным образом объединены и более полно представлены результаты работ [5, 6].

Объектом этих сравнительных исследований был выбран 2,4-динитро-2,4-диазапентан (ДНП), в линейной молекуле которого атомы углерода не только не образуют сколь-нибудь компактной группы, но и разделены атомами азота [7]. Монокристаллическая плотность ДНП — $1,49 \text{ г/см}^3$, температура плавления — $54\text{--}55 \text{ }^\circ\text{C}$, кислородный баланс — $58,5 \%$. Достоинство ДНП в качестве объекта исследований состоит в его сравнимости по кислородному балансу и детонационным характеристикам с ранее использованными ароматическими ВВ.

В проведенных ранее динамических экспериментах по образованию алмаза из углерода молекул ВВ ароматического ряда (тротил, тетрил, пикриновая кислота [1], гексанитростильбен [8]) показано, что алмаз образуется в зоне химической реакции детонационной волны. Об этом свидетельствуют изломы, зарегистрированные на зависимостях скорости детонации D от начальной плотности ρ_0 , возрастание электросопротивления продуктов детонации $R_{пд}$ на зависимости от ρ_0 и ускорение спада электросопротивления на профилях $R_{пд}(t)$ в районе изломов зависимостей $D(\rho_0)$. Аналогичные опыты проведены и на ДНП. Одновременно в Бийском НПО «Алтай» исследованы извлеченные из взрывной камеры твердые продукты детонации.

Динамические исследования

Зависимость $D(\rho_0)$ (рис. 1) регистрировалась с помощью ионизационных датчиков на прессованных зарядах диаметром $d = 40 \text{ мм}$ и $\rho_0 = 1,150 \div 1,487 \text{ г/см}^3$. Установлено, что режим детонации близок к идеальному: при $\rho_0 = 1,15 \div 1,37 \text{ г/см}^3$ значения D в зарядах с $d = 40$ и 60 мм отличались всего на 30 м/с . В диапазоне $\rho_0 = 1,150 \div 1,382 \text{ г/см}^3$ (6 опытов) зависимость

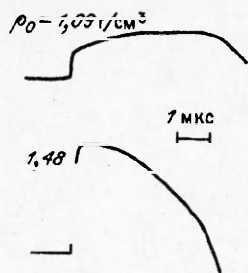


Рис. 3. Осциллограммы электропроводности ДНП.

линейна и описывается уравнением D (км/с) = $1,558 + 4,022\rho_0$ (г/см³) со среднеквадратичной дисперсией 7 м/с. При $\rho_0 = 1,382 \div 1,487$ г/см³ (9 опытов) зависимость отклоняется в сторону меньших D . Аппроксимация прямой дает уравнение $D = 2,952 + 3,021\rho_0$ со среднеквадратичной дисперсией 25 м/с.

Существование излома зависимости $D(\rho_0)$, согласно [1, 8], свидетельствует о том, что алмаз образуется в зоне химической реакции. Давление Чепмена — Жуге, рассчитанное по результату измерения массовой скорости, при $\rho_0 = 1,39$ г/см³ составляет 17 ± 1 ГПа, что близко к давлениям в изломах зависимостей $D(\rho_0)$ для ароматических ВВ [1].

Электросопротивление продуктов детонации между электродами, впрессованными в ВВ на глубину 3 мм на расстоянии 6 мм друг от друга, определялось методом, описанным в [9], для момента выхода детонационной волны на торец заряда. Зависимость $R_{\text{пд}}(\rho_0)$ (рис. 2) определена при $\rho_0 = 1,09 \div 1,48$ г/см³ и описывается формулой $\lg R_{\text{пд}}(\text{Ом}) = 104,91 - 157,00\rho_0 + 57,99\rho_0^2$; она имеет минимум при $\rho_0 \approx 1,35$ г/см³. Как и в случае ароматических ВВ, при низких плотностях зарядов $R_{\text{пд}}$ падает с ростом ρ_0 , а при значениях ρ_0 более высоких, чем в изломе зависимости $D(\rho_0)$, наблюдается обусловленный образованием алмаза рост $R_{\text{пд}}$.

При низких ρ_0 за время измерения не отмечено заметного спада электропроводности ПД (рис. 3). При ρ_0 выше, чем в изломе зависимости $D(\rho_0)$, спад электропроводности в e раз происходит за 2—3 мкс. В случае ароматических ВВ с близким к ДНП кислородным балансом (−45,4 % у пикриновой кислоты, −47,4 % у тетрила и −74,0 % у тротила) это время составляет 0,6—1,2 мкс. Отсюда следует, что при максимальных ρ_0 в продуктах ДНП остается довольно много проводящего углерода.

Максимальное отклонение зависимости $D(\rho_0)$ ДНП от первоначального прямолинейного хода составляет ~ 100 м/с. В случае перечисленных выше ароматических ВВ это отклонение значительно больше и равно 200—300 м/с.

Таким образом, скорость образования алмаза в продуктах детонации ДНП, как и в случае ароматических ВВ, сравнима со скоростью разложения ВВ. Однако при детонации ДНП алмаз, по-видимому, образуется несколько медленнее, чем при детонации ароматических ВВ.

Исследования твердых продуктов детонации

В экспериментах по детонационному синтезу ультрадисперсного алмаза использовались литые заряды ДНП и его смесей с гексогеном. Цилин-

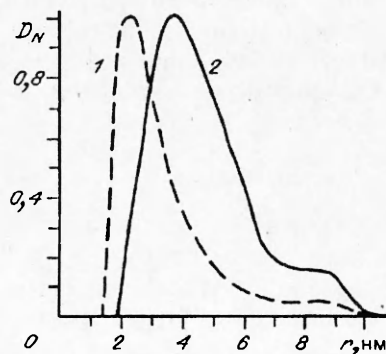


Рис. 4. Распределение по размеру частиц порошка алмаза, полученного из смесей ДНП/гексоген (60/40) (1) и ТНТ/гексоген (60/40) (2) (r — размер частиц, D_N — относительное содержание частиц данного размера).

Состав взрывчатой смеси	m , г	ρ_0 , г/см ³	КУ, %	УДА, %	УДА/КУ, %	БЭТ, м ² /г	МУР, нм	ОКР, нм
ДНП	100	1,46	2,3	0,2	8,7			
ДНП/Г 60/40	100	1,60	7,3	1,9	26,0			
ДНП/Г 60/40	300	1,56	7,3	1,9	26,0	427,5	2,5	0,52
ДНП/Г 50/50	100	1,62	6,3	2,0	31,7			
ДНП/Г 50/50	300	1,60	6,6	2,1	31,8	390,8	2,6	
ТНТ/Г 60/40	300	1,65	11,2	6,4	57,1	295,1	3,8	3,15

Примечание. Г — гексоген, КУ — конденсированный углерод, МУР — малоугловое рассеяние рентгеновских лучей, ОКР — область когерентного рассеяния.

дрические заряды ($d = 40$ мм) массой $m = 80 \div 100$ г взрывали в герметичной камере объемом $0,175$ м³ в среде азота с давлением $0,8$ МПа, а заряды с $d = 60$ мм и $m = 300$ г — в камере объемом $2,14$ м³ в среде азота с давлением $0,3$ МПа. Условия эксперимента соответствовали требованиям для достижения наиболее полного сохранения образовавшихся в детонационной волне алмазов в процессе их последующего разлета в камере [10].

В исследованиях оценивался выход конденсированного углерода и ультрадисперсного алмаза из соответствующей массы ВВ, удельная поверхность определялась методом БЭТ, размер частиц УДА — методом малоуглового рассеяния рентгеновских лучей по положению максимума кривой распределения и находилась область когерентного рассеяния.

Количество конденсированного углерода, образовавшегося при взрыве, определялось по количеству двуокиси углерода, полученной в результате сжигания твердых ПД в токе кислорода. УДА из конденсированного углерода выделяли кипячением в смеси серной и хлорной кислот с последующей отмывкой и сушкой.

Результаты исследований сведены в таблицу, где приведены также данные для сплава ТНТ/гексоген 60/40, полученные в идентичных условиях эксперимента. Распределение частиц алмаза по размерам представлено на рис. 4. Из таблицы видно, что выход конденсированного углерода и УДА из ДНП, как и в случае ТНТ, возрастает при переходе от индивидуального вещества к его смеси с более мощным гексогеном. Экспериментальный выход конденсированного углерода, содержание УДА в конденсированном углероде, размеры частиц и микрокристаллитов УДА в случае ДНП заметно меньше, чем в случае ТНТ.

Таким образом, изучение профилей электропроводности продуктов детонации ароматических ВВ, молекулы которых содержат компактные группы атомов углерода, и ДНП, в линейной молекуле которого атомы углерода разделены атомами азота, показало, что скорость образования алмаза в последнем случае существенно меньше, но в обоих случаях соизмерима со скоростью взрывчатого превращения. При максимальной начальной плотности доля алмаза в углеродной фракции продуктов детонации ДНП в зоне химической реакции значительно меньше, чем в ПД ароматических ВВ. Более медленное образование алмаза в ПД ДНП приводит к уменьшению размера и выхода частиц алмаза по сравнению с ТНТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Першин С.В., Цаплин Д.Н. // Докл. 5-го Всесоюз. совещ. по детонации. — Красноярск, 1991. — Т. 2. — С. 237.
2. Анисичкин В.Ф., Мальков И.Ю., Титов В.М. // Докл. АН СССР. — 1988. — 303, № 3. — С. 625.
3. Петров Е.А. // Дис. ... канд. техн. наук. — Бийск, 1988.
4. Анисичкин В.Ф. // Докл. 5-го Всесоюз. совещ. по детонации. — Красноярск, 1991. — Т. 1. — С. 20.
5. Першин С.В., Петров Е.А., Цаплин Д.Н. // Тез. докл. X Всесоюз. симпозиума по горению и взрыву: Детонация. — Черногоровка, 1992. — С. 117—119.
6. Петров Е.А. // Там же. — С. 114—115.
7. Патент США 4469888. Заявлен 26.06.82, № 391902, опубл. 04.09.84, МКИ С07С 111/00, НКИ 564/109 // РЖ Химия. — 1985, 10Н96П.

8. Акимов Л.Н., Губин С.А., Одинцов В.В. и др. // Докл. 5-го Всесоюз. совещ. по детонации. — Красноярск, 1991. — Т. 1. — С. 14.
9. Антипенко А.Г., Дремин А.Н., Якушев В.В. // Докл. АН СССР. — 1975. — 225, № 5. — С. 1086.
10. Петров Е.А., Сакович Г.В., Брыляков П.М. // Там же. — 1990. — 314, № 4. — С. 862.

142432, пос. Черноголовка,
ИХФ в Черноголовке

Поступила в редакцию 28/VI 1993,
после доработки — 27/VIII 1993

УДК 542.51

А.В. Чернай, В.В. Соболев, М.А. Илюшин,
Н.Е. Житник

О МЕТОДЕ ПОЛУЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ НАГРУЖЕНИЯ, ОСНОВАННОМ НА ЛАЗЕРНОМ ПОДРЫВЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ВЗРЫВЧАТЫХ СОСТАВОВ

Для испытания прочности материалов и конструкций предложен метод создания на большой площади ($\approx 1 \text{ м}^2$) механических импульсов, основанный на лазерном подрыве покрытий из взрывчатых составов. Разработаны составы, обладающие рекордно высокой чувствительностью ($4 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/см}^2$) к действию лазерного моноимпульса, а также технология получения на их основе покрытий на различных материалах. Предложенный метод позволяет получать нагрузки субмикросекундной длительности в диапазоне плотностей импульса (0,08—1,0) кПа·с.

Исследования прочности материалов и устойчивости конструкций, воспринимающих нагрузки ударного и взрывного типа, относятся к числу наиболее сложных задач механики. Быстрое изменение параметров процесса во времени, наличие волновых фронтов, возникновение пластических зон в материале конструкции — все это существенно затрудняет исследование и вынуждает прибегать к ряду упрощающих предположений и гипотез, подлежащих экспериментальной проверке. В связи с этим возрастает роль экспериментальных исследований, на основе которых можно получить необходимые данные о поведении материала и конструкции в условиях импульсного нагружения.

Особенно большие трудности возникают в исследованиях, связанных с изучением процесса воздействия на конструкции субмикросекундных импульсов умеренной интенсивности — (0,1—1,0) кПа·с, так как отсутствуют экспериментальные методы создания на больших площадях ($\sim 1 \text{ м}^2$) таких импульсов. Традиционные методы нагружения, такие, как гидроудар [1], воздушный [2] и подводный взрыв [3], электрический взрыв фольги [4], подрыв листовых ВВ [5], нагружение с помощью ударных труб взрывного действия [6] и т.д., не позволяют реализовать такого рода воздействия.

Для решения этой проблемы в настоящей работе предлагается метод нагружения, основанный на лазерном подрыве покрытий из взрывчатых материалов. Сущность метода заключается в нанесении на исследуемый объект взрывчатого состава в виде покрытия заданной толщины и последующем облучении (инициировании) всей его поверхности лазерным импульсом.

Для обоснования предлагаемого метода создания механических импульсов необходимо прежде всего оценить возможность достижения требуемых параметров нагружения. Для этого рассматривается плоский слой ВВ толщиной l , находящийся в контакте с преградой. В зависимости от типа используемого ВВ, дисперсности, длины волны инициирующего излучения, толщины слоя возможно объемное или поверхностное зажигание ВВ. В первом

© А.В. Чернай, В.В. Соболев, М.А. Илюшин, Н.Е. Житник, 1994.