

стной массовой скорости и ударной адиабате. В целом проведенное исследование является хорошей базой для перехода к расчетам более сложных задач деформирования пористых сред на основе оригинальной модели максвелловского типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Херрман В. Определяющие уравнения уплотняющихся пористых материалов // В. сб. Проблемы теории пластичности. — М.: Мир, 1976. — С. 178—216.
2. Carroll M.M., Holt A.C. Static and dynamic pore-collapse relations for ductile porous materials // J. Appl. Phys. — 1972. — 43, N 4. — P. 1626—1635.
3. Киселев С.П., Фомин В.М. О модели пористого материала с учетом пластической зоны, возникающей в окрестности поры // ПМТФ. — 1993. — № 6. — С. 125—133.
4. Кузьмин Г.Е. О кинематике сжатия порошкообразных материалов ударными волнами // ФГВ. — 1974. — 5, № 5. — С. 746—752.
5. Роменский Е.И. Релаксационная модель для описания деформирования пористых материалов // ПМТФ. — 1988. — № 5. — С. 145—149.
6. Годунов С.К. Элементы механики сплошной среды. — М.: Наука, 1978. — 304 с.
7. Годунов С.К., Козин Н.С., Роменский Е.И. Уравнение состояния упругой энергии металлов при нешаровом тензоре деформаций // ПМТФ. — 1974. — № 2. — С. 123—128.
8. Мержиевский Л.А., Шамонин С.А. Построение зависимости времени релаксации касательных напряжений от параметров состояния среды // Там же. — 1980. — № 5. — С. 170—179.
9. Степанов Г.В., Зубов В.И. Расчет уплотнения пористого железа при сжатии. Сообщение 3. Динамическое уплотнение пористого железа // Проблемы прочности. — 1993. — № 6. — С. 24—29.
10. Маккуин Р., Марш С., Тейлор Дж. и др. Уравнение состояния твердых тел по результатам исследований ударных волн // В кн.: Высокоскоростные ударные явления. — М.: Мир, 1973. — С. 299—427.
11. Дианов М.Д., Златин Н.А., Мочалов С.М. и др. Ударная сжимаемость сухого и водонасыщенного песка // Письма в ЖТФ. — 1976. — 2, вып. 12. — С. 529—532.

630090, г. Новосибирск,
ИГиЛ СО РАН

Поступила в редакцию
16/II 1994

УДК 534.222.2

*А.В. Аттетков, М.М. Бойко, Н.А. Волдаев,
А.В. Левантовский*

ДИНАМИЧЕСКАЯ СЖИМАЕМОСТЬ ПОРОШКООБРАЗНОГО НТФА ПРИ НИЗКОАМПЛИТУДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Исследована реология волновой деформации порошкообразного термостойкого ВВ НТФА при низкоамплитудных динамических воздействиях. Изучены закономерности эволюции волнового профиля, определены характеристики динамической сжимаемости исследуемого термостойкого ВВ.

Поведение пористых материалов при низкопараметрических динамических воздействиях обладает рядом специфических особенностей, обусловленных структурной неоднородностью исходного состояния вещества. Влияние начальной пористости на динамическую сжимаемость веществ различных классов изучено в настоящее время достаточно подробно. Отмечена [1, 2] нелинейность кривой динамического сжатия в D , u -плоскости, причем отклонение зависимости $D-u$ от линейной тем больше, чем меньше начальная плотность вещества [1]. Аналогичные закономерности в поведении наблюдаются и при низкоамплитудных динамических воздействиях на энергетические материалы насыпной плотности: пороховые составы [3], порошкообразные взрывчатые вещества (ВВ) [4].

© А.В. Аттетков, М.М. Бойко, Н.А. Волдаев, А.В. Левантовский, 1994.

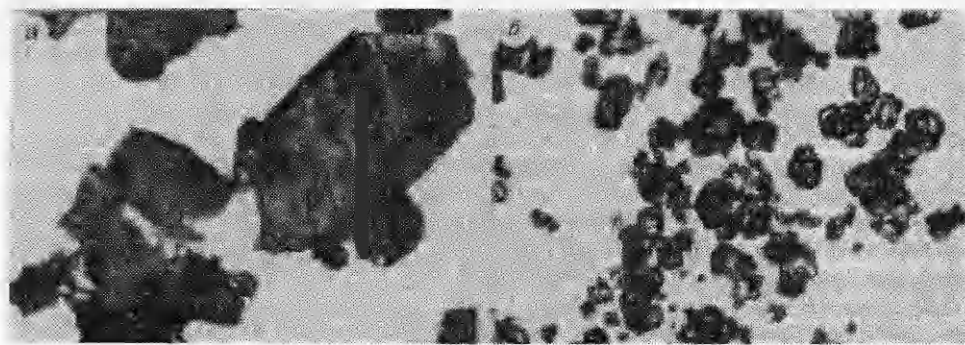


Рис. 1. Распределение частиц порошкообразного ВВ по размерам ($\times 126$).

а — НТФА; б — октанит.

В последние годы основное внимание уделяется исследованиям по определению влияния реальной микроструктуры пористого вещества на реологию его волновой деформации. В [5] представлены результаты экспериментального анализа скорости распространения волн разрежения в пористых материалах насыпной плотности. Показано, что скорость распространения слабых возмущений в подобных системах зависит от размера и практически не зависит от материала частиц изучаемого вещества. Влияние дисперсности исходных фракций порошкообразного материала на его динамическую сжимаемость отмечалось в [6].

Настоящая работа продолжает работы [3, 4], посвященные изучению реологии волновой деформации энергетических материалов при низкоамплитудных динамических воздействиях. В качестве объекта исследования выбрано порошкообразное термостойкое ВВ НТФА [7] с начальной плотностью $\rho_0 = 0,82 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ($m_0 = 1 - \rho_0/\rho_s = 0,54$, $\rho_s = 1,77 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ — плотность НТФА в монолитном состоянии). Микрофотография исходных фракций НТФА, позволяющая оценить характерный размер и геометрическую форму отдельных зерен порошкообразного ВВ, показана на рис. 1, а. Для сравнения на рис. 1, б в том же масштабе представлена микрофотография исходных фракций октанита [4]. Структура свободной засыпки НТФА, согласно результатам микроструктурного анализа, выглядит однородной, образуя при этом достаточно плотную хаотическую упаковку.

Методика экспериментальных исследований и конструкция экспериментальной сборки, используемые для определения характеристик динамической сжимаемости НТФА, подробно описаны в работах [2, 4]. Измерения проводились электромагнитными датчиками массовой скорости. Непосредственно по результатам измерений определялись волновая D и массовая u скорости, по значениям которых рассчитывались давление динамического сжатия $p = \rho_0 u D$ и степень сжатия $\rho_0/\rho = 1 - u/D$.

Результаты измерений эволюции профиля массовой скорости $u(t)$ при различных скоростях ударника представлены на рис. 2, кривая динамической сжимаемости порошкообразного НТФА в плоскости $p, \rho_0/\rho$ — на рис. 3, 1. Вертикальная штриховая на рис. 3 определяет предельную степень уплотнения НТФА $\sigma = \rho_0/\rho_s = 0,46$, ассоциируемую с процессом

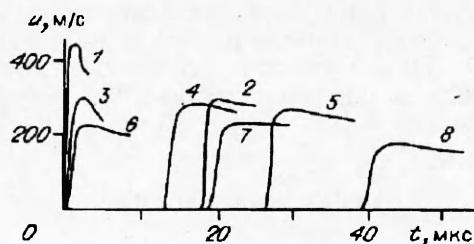


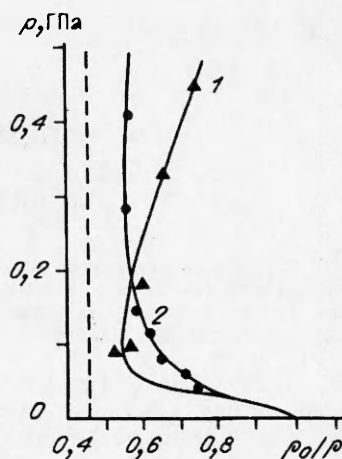
Рис. 2. Эволюция волнового профиля при различных начальных скоростях ударника.

u_0 , м/с: 1, 2 — 591, 3–5 — 480, 6–8 — 337; x , мм: 1, 3, 6 — 0, 4, 7 — 10, 2, 5, 8 — 20.

Рис. 3. Кривые динамической сжимаемости порошкообразного НТФА и октанита.

гомогенизации вещества вследствие выборки порового пространства. Здесь же для сравнения показана кривая динамической сжимаемости порошкообразного октанита (рис. 3, 2), полученная в работе [4].

Специфические особенности поведения порошкообразного НТФА, связанные с аномальностью хода кривой его динамической сжимаемости вследствие химического разложения ВВ, проявляются уже при $p = 0,1$ ГПа, т.е. при существенно более низких давлениях, чем в случае динамического сжатия мелкодисперсного порошкообразного октанита ($p_{\text{гн}} = 0,4$ ГПа). При этом аномалии в поведении НТФА наблюдаются уже на начальных стадиях его динамического уплотнения, при степенях уплотнения, значительно меньших предельной величины σ . Предельное уплотнение во фронте волны, экспериментально наблюдаемое в плоскости $p, \rho_0/\rho$ на кривых динамической сжимаемости порошкообразного октанита [4] и аминопласта [2], в данном случае не достигается. Последнее, по-видимому, связано с влиянием реальной микроструктуры, прочностных и морфологических характеристик полидисперсного порошкообразного НТФА на реологию его волновой деформации при низкоамплитудных динамических воздействиях. Проявление реальной микроструктуры вещества приводит к термически неравновесным состояниям ВВ во фронте волны и предопределяет возможность его фронтального разложения, а наличие крупнодисперсных фракций в порошкообразном ВВ сенсibiliзирует процесс фронтального химического разложения вещества.



ЛИТЕРАТУРА

1. Христофоров Б.Д., Лившиц Л.Д., Белинский И.В. и др. Влияние пористости на параметры динамического сжатия NaCl // Изв. АН. Физика Земли. — 1971. — № 8. — С. 31—40.
2. Аттетков А.В., Бойко М.М., Исаев А.Н. и др. Реология волновой деформации порошкообразных материалов при динамических воздействиях // V Всесоюз. совещание по детонации: Сб. докладов. — Красноярск, 1991. — Т. 1. — С. 31—35.
3. Аттетков А.В., Бойко М.М., Волков В.Г. и др. Реология волновой деформации пороховых составов при динамических воздействиях // Химическая физика процессов горения и взрыва. Детонация: Тезисы докладов X Симпозиума по горению и взрыву. — Черноголовка, 1992. — С. 138—139.
4. Аттетков А.В., Бойко М.М., Волдаев Н.А. и др. Реология волновой деформации порошкообразного октанита при динамических воздействиях // ФГВ. — 1992. — 28, № 6. — С. 74—78.
5. Гельфанд Б.Е., Медведев С.П., Поленов А.Н. и др. Измерение скорости слабых возмущений в пористых средах насыпной плотности // ПМТФ. — 1986. — № 1. — С. 141—144.
6. Хотин В.Г., Бачурин С.П. Исследование влияния размера частиц на результаты динамического сжатия некоторых компонентов промышленных взрывчатых веществ // Тр. МХТИ. — 1980. — Вып. 112. — С. 119—123.
7. Термостойкие взрывчатые вещества в условиях глубоких скважин / Подготовлено Л.А. Шипицыным. — М.: Недра, 1981.

107005, г. Москва,
НИИ Специального машиностроения
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Поступила в редакцию 14/VII 1993,
после доработки — 23/XI 1993