

п сопровождается формированием соответствующих типов структуры на различном удалении от ее центра. Это позволяет рекомендовать осесимметричное нагружение при ГВП в качестве экспресс-метода для определения типа структур, которые могут быть получены в широком температурном диапазоне при импульсном воздействии на исследуемый материал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ferreira A. Compaction of rapidly solidified titanium aluminide powders by explosively generated shock waves.— New Mexico: Inst. Mining Technol., 1989.
2. Li-Hging Yu. Chemically-induced shock synthesis and consolidation of aluminides and silicides.— New Mexico: Inst. Mining Technol., 1989.
3. Нестеренко В. Ф. Нелинейные явления при импульсном нагружении гетерогенных конденсированных сред: Дис. ... докт. физ.-маг. наук.— Новосибирск, 1988.— 370 с.
4. Дерibas А. А., Нестеренко В. Ф., Ставер А. М. Сепарация компонент при взрывном прессовании многокомпонентных материалов. Матер. III Междунар. симп. по обработке металлов взрывом.— Маршанские Лазни, ЧССР, 1976.— Т. 2.— С. 367—372.
5. Бондарь М. П., Нестеренко В. Ф. Деформации на контактах и критерии образования соединения при импульсных воздействиях // ФГВ.— 1991.— 27, № 3.

гг. Новосибирск, Москва

Поступила в редакцию 4/IV 1990

УДК 621.7.044.2

М. Адамец, Б. С. Злобин, А. А. Штерцер

ОТРАЖЕНИЕ КОСЫХ ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛН ОТ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК

Проводилась оптическая регистрация взаимодействия наклонных детонационных волн с подложками из углеродистой стали и алюминиевых сплавов. Наклонные фронты получали, используя комбинированные двухслойные и однородные заряды криволинейной формы. Получены данные режимов, в которых возникает нерегулярное отражение ДВ от подложки.

В некоторых случаях обработки материалов взрывом применяются двухслойные заряды ВВ [1—3]. Взаимодействие возникающих при этом косых детонационных волн (ДВ) с подложкой может реализовываться в виде регулярного или нерегулярного (маховского) отражения. Если для подложки используется какой-либо порошок насыпной или близкой к ней плотности, имеет место только регулярное отражение косой ДВ [4]. Если же подложка выполнена из монолитного материала, по свойствам близкого к идеальной несжимаемой среде, возможно возникновение как одного, так и другого типа отражения аналогично ситуации сталкивающихся ДВ [5].

В настоящей работе проводилась оптическая регистрация конфигурации детонационных фронтов при детонации двухслойных зарядов на стальных и алюминиевых подложках, а также при детонации криволинейного U-образного однородного заряда на алюминиевой подложке. Для этой цели использовалась четырехкадровая фоторегистрирующая установка СНЕФ-4, основными элементами которой являются ЭОП и схема включения выдержек на криотронах. Время экспозиции кадра — 50 нс. Установка разработана и изготавливается в ИФНиЛМ им. Калиского (Варшава, Польша). СНЕФ-4 позволяет получать 4 кадра на регистрируемый быстропротекающий процесс с задаваемыми временными интервалами между кадрами.

Во всех опытах низкоскоростной заряд располагался между слоем высокоскоростного ВВ и подложкой. Съемка детонационных фронтов велась без подсветки за счет их самосвечения. Использовалась методика покадровой съемки, применявшаяся в [6, 7] для изучения метания металлических пластин и пористых слоев. Результаты опытов по регистрации детонации двухслойных зарядов приведены в таблице. На рисунке

Номер опыта	Высокоскоростной заряд			Низкоскоростной заряд				Подложка	Режим отражения
	Тип ВВ	$\delta_{ВВ}$, мм	D , км/с	Тип ВВ	$\delta_{ВВ}$, мм	α , град	D , км/с		
1	Гексоген	4—5	6,3	Аммонит	25	39	4,0	РА-6	Регулярный
2	Пластик	6	7,7	»	24—25	33	4,2	»	»
3	Гексоген	4—5	6,5	А/С — 1/2	20	24	2,6	РА-2	»
4		4—5	6,4	Аммонит	24—25	39	4,0	Углеродистая сталь	Нерегулярный
5		4	6,4	А/С — 1/2	24	24	2,6	РА-6	Регулярный
6		4	6,4	А/С — 1/1	25	37	3,8	Углеродистая сталь	»
7		4	6,4	Аммонит	15	41	4,2	РА-6	Нерегулярный
8		3—4	5,3	»	10—11	45	3,7	РА-6	»
9		4—5	6,2	А/С — 1/1	10	36	3,6	Углеродистая сталь	Регулярный
10		5	6,4	»	6	38	3,9	»	Нерегулярный

Примечания. Использовался скальный аммонит 15GN3 в патронированном виде. А/С — смесь аммонита с аммиачной селитрой с указанием массовых пропорций, РА-6 — алюминиевый сплав твердости $\geq 100 H_v$, РА-2 — алюминиевый сплав твердости $\sim 45 H_v$. В опыте 2 использовался гексопласт РМВ-8.

показаны регулярное (опыт 2) и нерегулярное (опыт 8) отражения ДВ соответственно.

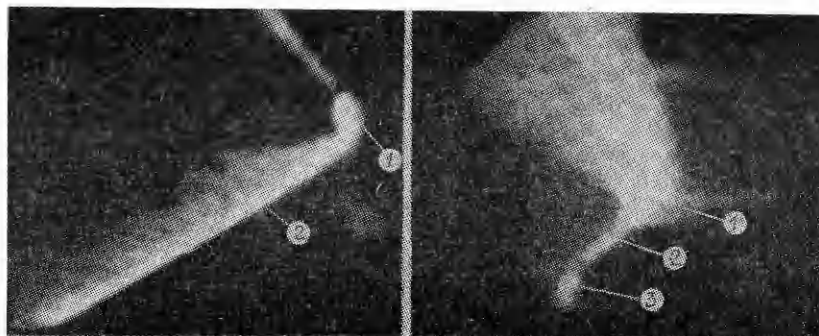
Данные таблицы позволяют сделать следующие выводы.

1. При использовании в качестве низкоскоростного ВВ смеси скального аммонита с аммиачной селитрой (А/С) в пропорциях 1/1 и 1/2 всегда имеет место регулярный режим отражения косо́й ДВ от подложки из алюминиевых сплавов, аммонит толщиной менее 15 мм дает нерегулярный режим отражения от подложки из алюминиевого сплава.

2. В случаях стальной подложки нерегулярное отражение имеет место при любых толщах низкоскоростного заряда, если используется аммонит, и при толщинах менее 6 мм, если используется смесь А/С — 1/1.

Отметим, что здесь имеются в виду, естественно, не все возможные углы падения α , а лишь те, которые отмечаются при параллельном расположении слоев ВВ и поверхности подложки.

Кроме того, выводы касаются легко реализуемых на практике ситуаций, когда в качестве высокоскоростного инициирующего слоя ВВ используется гексоген или пластик. Это ограничивает возможные углы падения косо́й ДВ в аммоните и его смесях в пределах между некоторым минимальным углом α_{\min} и максимальным α_{\max} . Причем $\alpha_{\min} = \arcsin(D_n/D_v)$, где D_n — скорость стационарной детонации низкоско-



Регулярное (а) и нерегулярное (б) отражение косо́й детонационной волны от подложки.

Волна движется слева направо: 1 — фронт высокоскоростного заряда; 2 — фронт низкоскоростного заряда; 3 — маховская ножка.

ростного ВВ (по Чепмену — Жуге); D_v — скорость детонации высокоскоростного ВВ; $\alpha_{\max} = \arcsin(D_n/D_v)$; D_n — скорость пересечной детонации низкоскоростного ВВ в окрестности высокоскоростного слоя.

На снимках, полученных в опытах 3—5, 9, четко наблюдается искривление фронта ДВ в низкоскоростном слое с уменьшением α при удалении от высокоскоростного слоя¹. Экспериментальные углы, указанные в таблице, измерялись либо у подложки, либо около излома ДВ (маховской ножки). Криволинейность фронта косой ДВ обуславливает наличие того или иного режима ее отражения от толщины заряда, что и отражено в выводах. Например, из опытов 1, 7, 8 видно, что с уменьшением толщины заряда аммонита растет угол α и это приводит к появлению маховской ножки. К увеличению α также приводит и снижение скорости детонации высокоскоростного заряда (это следует из формул для α_{\min} и α_{\max} и видно на опыте 8, где $D_v = 5,3$ км/с, т. е. ниже чем в остальных опытах).

Отдельный вопрос представляет точность измерений α , представленных в таблице. Этот вопрос подробно рассмотрен в [7], где показано, что указанная точность составляет $\pm 1^\circ$.

Эксперименты по оптической регистрации детонации криволинейных U-образных однородных зарядов из аммонита 6ЖВ, расположенных на внутренней поверхности U-образно выгнутой полосы из алюминия, показали появление маховской ножки на фронте детонации. Нерегулярное отражение происходит в нижней части заряда, где кривизна подложки обеспечивает наклонное падение скользящей ДВ (иницирование детонации проводилось сверху с одного из торцов изогнутого заряда). По всей видимости, при последующем переходе криволинейной поверхности отражения ДВ в прямолинейную должна происходить постепенная эволюция нерегулярной конфигурации ДВ в обычную скользящую ДВ, фронт которой перпендикулярен подложке.

Результаты, представленные в таблице, находятся в согласии с экспериментальными значениями, полученными с помощью импульсной рентгеновской съемки [8]. В [8] для аммонита 6ЖВ критический угол столкновения ДВ, что соответствует отражению ДВ от абсолютно жесткой стенки, оказался равным $32 \pm 2^\circ$, а при отражении ДВ от алюминия $40 \pm 2^\circ$.

Полученные данные необходимо учитывать при выборе материала контейнера для взрывного прессования порошковых материалов, при упрочнении металлов взрывом и других операциях материалообработки взрывом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Соболев В. В.** Приближенная оценка величины давления на преграду в случае использования бислойных зарядов взрывчатых веществ // Физика и техника высоких давлений.— 1985.— Вып. 19.— С. 38—40.
2. **Wilkins M. N.** Computer Simulations of Dynamic Compaction Experiments // Высокоэнергетическая обработка быстрозакаленных материалов и высокотемпературных сверхпроводников: Сб. тр. Междунар. семина.— Новосибирск, 1989.— С. 56—61.
3. **Штерцер А. А., Пятин С. А.** Нанесение покрытий из быстрозакаленных гранул с использованием комбинированных зарядов // Там же.— С. 66—70.
4. **Штерцер А. А.** О передаче давления в пористые среды при взрывном нагружении // ФГВ.— 1988.— 24, № 5.— С. 113—119.
5. **Дерибас А. А., Ставер А. М., Костюков Н. А.** Столкновение плоских детонационных волн в аммоните 6ЖВ // Там же.— 1975.— 11, № 3.— С. 456—462.
6. **Дерибас А. А.** Физика упрочнения и сварки взрывом.— Новосибирск: Наука, 1980.
7. **Павлов Ю. А., Ставер А. М., Штерцер А. А.** Метание плоских пористых слоев скользящей детонационной волной // ФГВ.— 1984.— 20, № 6.— С. 142—145.
8. **Костюков Н. А.** Наклонное отражение ударных и детонационных волн в пористых средах: Дис. ... канд. физ.-мат. наук.— Новосибирск, 1977.— 136 с.

гг. Варшава, Новосибирск

Поступила в редакцию 15/III 1990,
после доработки — 22/VIII 1990

¹ Снимки не приведены в целях экономии места, поскольку факт существования пересечной детонации в окрестности мощного инициирующего ВВ общеизвестен.