

7. Pat. 3973499 USA, IC² F42C19/09. Safe rocket motor igniter using sequenced initiation to and explosive logic network /M.A. Anderson, F.L. Menz. — Publ. 10.08.76.
8. Букреев И.Н., Горячев В.И., Мансуров Б.М. Микроэлектронные схемы цифровых устройств. — М.: Радио и связь, 1990. — 416 с.

107005, г. Москва
НИИСпецмаш, МГТУ им. Н.Э. Баумана

Поступила в редакцию 14/VII 1993,
после доработки — 4/II 1994

УДК 539.3:621.7

В.Ф. Нестеренко, Я.Л. Лукьянов, М.П. Бондарь

ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИКОНТАКТНОЙ ЗОНЫ В РЕЖИМЕ ОБРАЗОВАНИЯ “ХОЛОДНОГО” ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

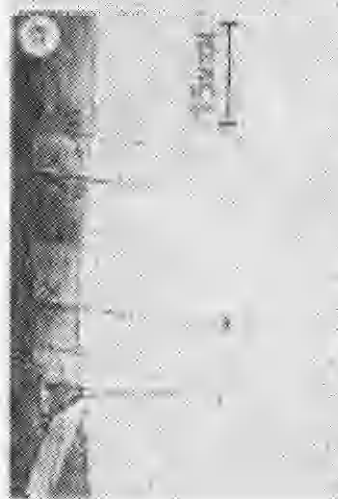
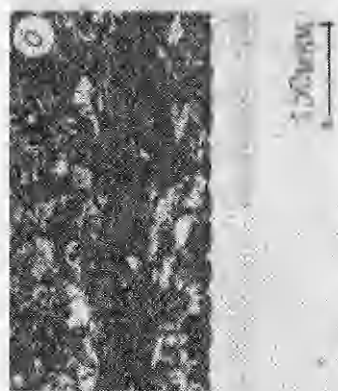
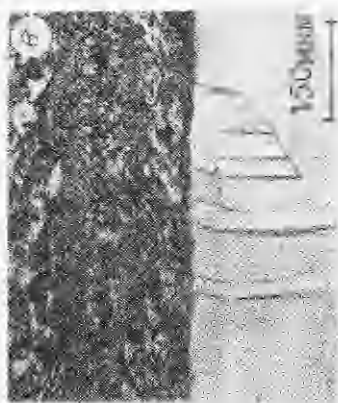
В работах [1—4] экспериментально обнаружены качественно новые режимы регулярного и нерегулярного отражений ударной волны от контакта пористой среды и монолитного материала на примере порошка меди (нержавеющей стали) и монолитной меди в цилиндрической геометрии. Их новизна определяется наличием “холодного” пограничного слоя в порошке, примыкающем к монолитному центральному стержню [1—4], и образованием дополнительного, нетрадиционного контактного разрыва, отходящего от физической границы монолита и порошка и ограничивающего “холодный” пограничный слой с внешней стороны [2, 3].

Рассматриваемое явление (“холодный” слой и дополнительный контактный разрыв) экспериментально обнаружено также и на примере других пористых и монолитных материалов [5, 6]. Его механизмы рассматривались в работах [1—8].

Авторы работ [1—8] указывают на определяющую роль отраженных от контакта импульсов сжатия, приводящих к отличию истории нагружения порошка, примыкающего к центральному стержню, от его поведения в условиях стационарного однократного ударно-волнового сжатия. Это и приводит к уменьшению запасаемой внутренней энергии в порошке “холодного” слоя по отношению к более удаленным от контакта областям и к отходу контактного разрыва от физической границы порошок — монолит.

В то же время в подходе авторов [1—4, 7] и [5, 6, 8] имеется и важное различие. Оно состоит в том, что особенность процесса сжатия порошка в “холодном” слое в [1—4, 7] связывается с конечной шириной фронта ударной волны, в связи с чем невозможно интерпретировать процесс его образования с помощью отраженных ударных волн, где состояние за фронтом рассчитывается с помощью ударной адиабаты, а в [5, 6, 8] рассматриваемое явление объясняется воздействием на порошок волн сжатия, вызванных “бугром” пластической деформации, предшествующим основному сжатию в падающей волне.

По нашему мнению, в настоящее время отсутствуют надежные экспериментальные или теоретические доказательства в пользу разделения роли первого и второго механизмов. Так, остаются неясными основные характеристики “бугра” деформации — скорость его распространения, высота, амплитуда массовой скорости. Использование скорости звука для объемных возмущений в материале преграды для разделения режимов отражения не вполне корректно, так как поверхностные пластические возмущения являются качественно другим процессом. Направление асимметричной деформации отдельных гранул [6] не может служить способом определения направления распространения фронта волны в порошке, так как это можно с уверенностью сделать только при коллективном характере деформации многих гранул. Более того, близость характерных размеров “холодно-



го" слоя и частиц порошка делают по крайней мере проблематичным использование континуальных понятий для характеристики отраженных импульсов, таких как фронт волны, ударная адиабата, как впрочем и сам профиль "бугра" с высотой и шириной, сравнимой с размером "холодного" слоя и частиц порошка [6, 8].

В настоящей работе сделана попытка экспериментального определения величины пластической деформации в медном центральном стержне вблизи его контакта с порошком в режиме образования "холодного" пограничного слоя на масштабе ~ 100 мкм. Для этого центральный стержень изготавливали из сплава Cu—Al (0,2 % по массе), а затем проводили его кратковременное внутреннее окисление, что вызвало образование цилиндрической поверхности раздела между окисленным и неокисленным материалом (рис., а — поперечный шлиф стержня), служившей меткой для оценки степени пластической деформации. Толщина окисленного слоя выбиралась равной ~ 100 мкм, что сравнимо с размером "холодного" пограничного слоя (рис., б, в — продольный шлиф капсулы). Режим взрывного нагружения аналогичен [1], скорость детонации 3,6 км/с, диаметр заряда ВВ (аммонит — селитра, 1:1 по объему) — 66 мм, внешний и внутренний диаметры стальной капсулы 16 и 14 мм, диаметр медного стержня 8 мм. Использовался медный порошок с фракцией 40—90 мкм, начальная плотность 5,5 г/см³. Как и в работе [9], для оценки деформации вблизи контактной зоны использовались двойники отжига, примыкающие к поверхности контакта. По их искажению, учитывая исходное параллельное прямолинейное расположение границ, можно судить о пластической деформации на масштабах $10 \div 100$ мкм. Как видно из представленных рисунков б, в, только в одном месте (рис., в) имелся слабый изгиб двойников, согласованный характер которого говорит о том, что он скорее всего вызван трением высокоскоростного потока о внешнюю границу "холодного" слоя и увлечением поверхностного слоя монолитного стержня в направлении данного потока. Типичную картину представляет рис. б, где практически отсутствуют следы пластической деформации, которые можно ожидать на основе сопоставимых размеров "бугра" и "холодного" пограничного слоя [6, 8]. Отметим, что толщина окисленной зоны на стержне не изменилась, как и осталась цилиндрической симметричной ее граница с неокисленным медным сплавом.

Для сравнения приведем картину деформации в контактной зоне при сварке взрывом (рис., г, д). Отметим, что рис. г соответствует скорости точки контакта $v_k = 1530$ м/с, ($v_0 = 400$ м/с), а рис. д — $v_k = 900$ м/с ($v_0 = 300$ м/с). Видно, что образование "бугра" сопровождается значительной деформацией двойников, связанной с деформацией удлинения и изгиба, а превышение объемной скорости звука над скоростью точки контакта не всегда приводит к опережению точки контакта волной поверхностной пластической деформацией.

Таким образом, экспериментально показано, что образование «холодного» пограничного слоя в исследуемом режиме происходит без заметной пластической деформации прилегающих к контакту слоев монолитного материала на масштабе, сравнимом (или значительно меньшем) толщины "холодного" пограничного слоя. Причина возникновения последнего, как и отход тангенциального разрыва от контакта с монолитом, требует дальнейших исследований.

Помимо обсуждавшихся ранее механизмов данного явления, следует отметить, что на его образование может оказывать влияние и неоднородность в исходной плотности порошка вблизи центрального стержня на масштабе порядка нескольких размеров частиц. Это может быть обусловлено упорядочиванием прилегающих к стержню слоев порошка за счет репродуцирования в его глубину относительно плотной упаковки гранул (вплоть до $0,74 \rho_0$, где ρ_0 — плотность Cu), обусловленной двумерной геометрией поверхности. Относительно большая исходная плотность пограничного слоя гранул, естественно, приведет к его меньшему нагреву по сравнению с более удаленными слоями. В этой связи образование "холодного" пограничного слоя может быть аналогично особенностям на контакте двух порций порош-

ков, если они были последовательно уплотнены набивками с плоскими торцами. Как хорошо известно экспериментаторам, после взрывного компактирования в этом случае наблюдается распад прессовки на элементы, соответствующие исходным порциям порошка.

Авторы благодарят Международный научный фонд за поддержку данного исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kusubov A.S., Nesterenko V.F., Wilkins V.L. et al Dynamic deformation of powdered materials as a function of particle size. — Livermore, 1985. — p. 11. — (Preprint / Lawrence Livermore Lab.; UCID — 20349).
2. Нестеренко В.Ф. Особенности микромеханики порошков при сильном импульсном воздействии // Материалы X Всесоюз. конф. "Численные методы решения задач теории упругости и пластичности". — Новосибирск: ИТПМ СО АН СССР, 1988. — С. 212—220.
3. Нестеренко В.Ф. Влияние на процесс взрывного компактирования структурных параметров порошков // Sbornik prednasek Vyuziti Energie Vybuchu. III dil. — Pardubice, 1983. — P. 410—417.
4. Kusubov A.S., Nesterenko V.F., Wilkins M.L. et al. Dynamic deformation of powdered materials as a function of particle size // Proc. Intern. Seminar of High Energy Working of Rapidly Solidified and High Temperature Superconducting Materials. — Novosibirsk, 1989. — P. 139—156.
5. Костюков Н.А. Двумерные ударно-волновые течения и структуры порошковых компактов вблизи раздела с деформируемой преградой // Моделирование в механике. — Новосибирск, 1990. — Т. 4 (21), № 6. — С. 76—102.
6. Костюков Н.А. Физические причины и механизмы образования пограничных зон при двумерном взрывном компактировании порошковых материалов // ПМТФ. — 1991. — № 6. — С. 154—161.
7. Нестеренко В.Ф. Импульсное нагружение гетерогенных материалов. — Новосибирск: Наука, 1992. — С. 42—50.
8. Киселев С.П., Руев Г.А., Трунев А.П. и др. Ударно-волновые процессы в двухкомпонентных и двухфазных средах. — Новосибирск: Наука, 1992. — С. 233—237.
9. Бондарь М.П., Оголихин В.М. О пластической деформации в зоне соединения при плакировании взрывом // ФГВ. — 1982. — № 2. — С. 147—151.

630090, Новосибирск,
ИГиЛ СО РАН

Поступила в редакцию 30/IV 1994

УДК 533.95

В.В. Светцов

ВЗРЫВЫ В НИЖНЕЙ И СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЕ — СФЕРИЧЕСКИ СИММЕТРИЧНАЯ СТАДИЯ

Исследуются закономерности развития сферически-симметричных взрывов с высокой начальной концентрацией энергии в атмосфере на высоте от 0 до 90 км. Процессы начального энерговыделения не рассматриваются, взрыв считается безмассовым — начальные данные задаются в виде равномерно нагретой сферы с постоянной плотностью воздуха. Результаты получены путем радиационно-газодинамических численных расчетов в диапазоне энергий взрывов от $4,2 \cdot 10^{12}$ до $4,2 \cdot 10^{16}$ Дж.

Введение

Мощные взрывы в атмосфере могут возникать вследствие выделения энергии ядерных зарядов, а также в результате торможения и быстрой дезинтеграции крупных космических тел. Процессы, происходящие при выделении энергии заряда, могут быть различными в зависимости от взрывного устройства. Однако после торможения продуктов взрыва и поглощения рентгеновского излучения в атмосфере распространяется тепло при почти постоянной плотности воздуха [1]. Поэтому начальное энерговыделение ядерного взрыва можно аппроксимировать областью воздуха с постоянной плотностью и достаточно высокой температурой. Точность такой аппрок-

© В.В. Светцов, 1994