

ЛИТЕРАТУРА

1. Трефилов В. И., Саввакин Г. И., Скороход В. В. и др. Особенности структуры ультрадисперсных алмазов, полученных высокотемпературным синтезом в условиях взрыва // Докл. АН СССР.— 1978.— 239, № 4.— С. 838—841.
2. Трефилов В. И., Саввакин Г. И., Скороход В. В. и др. Некоторые физико-химические свойства алмазов, полученных взрывом при высоких температурах // Порошковая металлургия.— 1979.— № 1.— С. 32—35.
3. Дробышев В. И. Детонационный синтез сверхтвердых материалов // ФГВ.— 1983.— 19, № 5.— С. 158—160.
4. Ставер А. М., Губарева Н. В., Лямкин А. И. и др. Ультрадисперсные алмазные порошки, полученные с использованием энергии взрыва // Там же.— 1984.— 20, № 5.— С. 100—104.
5. Show M. S., Jonson J. D. Carbon clustering in detonation // J. Appl. Phys.— 1987.— 62, N 5.— P. 2080.
6. Титов В. М., Анисичкин В. Ф., Мальков И. Ю. Исследование процесса синтеза ультрадисперсного алмаза в детонационных волнах // ФГВ.— 1989.— 25, № 3.— С. 117—126.
7. Курдюмов А. В., Бреусов О. Н., Дробышев В. И. и др. О кристаллической структуре алмазов детонационного синтеза // Там же.— С. 126—129.
8. Волков К. В., Даниленко В. В., Елин В. И. Синтез алмаза из углерода продуктов детонации ВВ // Там же.— 1990.— 26, № 3.— С. 123—125.
9. Верещагин А. Л., Сакович Г. В., Петрова Л. А. и др. Исследование химического состава поверхности ультрадисперсного алмаза детонационного синтеза // Докл. АН СССР.— 1990.— 315, № 1.— С. 104—105.

г. Арзамас

Поступила в редакцию 28/VIII 1991

УДК 532.593 : 621.7.044.2

Н. А. Костюков, И. В. Яковлев

ТЕЧЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ВБЛИЗИ ПРИМЕСНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В УСЛОВИЯХ УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ

В [1] обнаружен эффект скоростной неравновесности за фронтом косоугольной ударной волны (УВ), распространяющейся в двухкомпонентной смеси разнородных твердых частиц. Для математического описания эффекта при малом объемном содержании тяжелого (примесного) компонента в [2] предложен подход, в котором легкий компонент представляется вязкой жидкостью с соответствующей ударной сжимаемостью и эффективной вязкостью η . Результаты обработки экспериментальных данных показали, что для порошков С, Al и NaCl значения η находятся в диапазоне $10^2 - 10^3$ Па·с.

Настоящая работа посвящена изучению локальной структуры течения порошковых материалов (ПМ) с размещенными в них примесными частицами. Под локальной структурой понимается течение ПМ за фронтом ударной волны в окрестности примесного включения. Исследования проводились на порошках Mg дисперсностью 10—60 мкм и Si дисперсностью 10—20 мкм. Исходная плотность составляла 0,28—0,34 плотности монолитного состояния. Примесными частицами служили стальные цилиндры диаметром 1,5—2,0 мм и сферические гранулы сплава W/Mo диаметром 1,4 мм. Особенности течения регистрировали импульсным рентгенографированием [1] в процессе ударного нагружения ПМ. Порошковые контакты, сохраненные после нагружения, исследовали металлографически.

Рентгенографические исследования структуры течения порошка показали, что при энергиях нагружения $E \sim 10^2 \div 10^3$ Дж/г имеет место скоростное запаздывание примесных включений относительно ПМ. При малых значениях E картина течения аналогична описанной в [1]. Одна-



Рис. 1.

нения фронта волны много меньше скорости основного потока.

О наличии застойных зон можно судить по характерным изменениям геометрии тонких фольг-свидетелей в окрестности обтекаемых частиц. На рис. 1 приведена рентгеновская фотография течения, возникающего за фронтом косої УВ в порошке магния. Здесь $E = 550$ Дж/г, $U = 0,9 \cdot 10^3$ м/с, относительная плотность 0,28, 1 — фронт УВ, 2 — фольга-свидетель, 3 и 4 — цилиндрические и сферические примесные частицы.

В пользу существования застойных зон свидетельствует также наличие бугров деформации на поверхностях металлических мишеней, находившихся в момент нагружения в контакте с тыльной поверхностью ПМ. Бугры появлялись на участках поверхностей, расположенных под застойными зонами. Их возникновение связано с пластическим течением материала мишеней, вызванным различием давлений торможения низкоскоростных течений в застойных зонах и высокоскоростного обтекающего потока. При замене магниевого порошка на дистиллированную воду возникновение застойных зон наблюдалось при меньших скоростях обтекания и меньших размерах примесных частиц.

Полученный результат позволяет предположить, что возникновение застойных зон обусловлено проявлением вязких свойств магниевого порошка в ударно-сжатом состоянии и, в частности, вследствие увеличения числа Рейнольдса Re при больших энергиях нагружения. Причем эффективный коэффициент вязкости ударно-сжатого порошка довольно высок по сравнению с вязкостью воды.

Высокая вязкость в принципе не меняет существа дела. Важно, что в макроскопическом плане поведение примесных частиц за фронтом УВ может подчиняться законам движения в вязкой жидкости. Принимая во внимание, что возникновение застойных зон за сферическими частицами наблюдается при $Re \geq 24$ [3], можно показать, что в наших экспериментах $\eta_{Mg} \leq 10^2$ Па·с. Отметим, что это меньше значений вязкости, полученных в [2] для порошков графита, алюминия и хлорида натрия. Одной из возможных причин может быть потеря прочности магниевых частиц при больших энергиях ударного сжатия.

Дополнительная информация о структуре совместного течения частиц ПМ и примесных включений может быть получена на основе металлографических исследований шлифов порошковых компактов, сохраненных после нагружения. Эта методика позволяет отчетливо выделить траектории уплотняющих перемещений частиц ПМ в области сжатия.

На рис. 2 приведена фотография фрагмента шлифа медного компакта с примесными включениями из стальных цилиндров. Направление потока ПМ слева направо, $U = 10^2 \div 10^3$ м/с, относительная плотность 0,34, 1 — периферийная область, 2 — застойная зона, АВ — линия тока, касательная к поверхности обтекаемой частицы 3. В области ABC структура компакта отлична от структуры областей 1 и 2. Характер границы между областя-

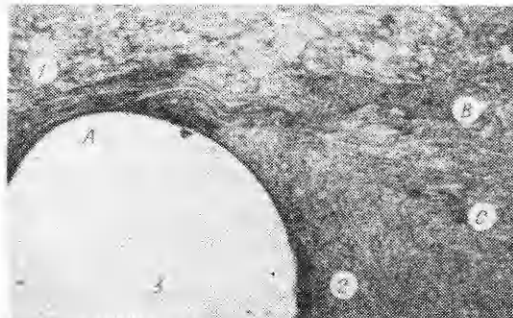


Рис. 2.

ми 1 и 2 можно трактовать как результат неустойчивости Кельвина — Гельмгольца, возникающей на границе раздела вязких жидкостей. Следует отметить, что если размеры частиц ПМ и примесных включений соизмеримы, наблюдаемая картина турбулентного течения частиц ПМ в окрестности примесных частиц отсутствует. Оценивая ширину вязкого следа за обтекаемым телом [4], можно показать, что в рассматриваемом случае $\eta_{\text{сн}} - \rho U(BC)^2/AB = 10^2 \div 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Таким образом, приведенные результаты исследований дают основание считать, что в макроскопическом плане поведение примесных частиц за фронтом УВ может подчиняться законам движения в вязкой жидкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костюков Н. А. Структура течения бинарных смесей твердых частиц в условиях двумерного ударно-волнового нагружения // ПИМФ.— 1988.— № 3.— С. 54—59.
2. Kostyukov N. A., Kupershtokh A. L., Mochalov I. V. Modelling of shock-wave flows in binary mixtures of Solid particles // Mater. of Int. conf. on high energy rate fabrication, Ljubljana (Yugoslavia), 1989.— P. 856—860.
3. Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред.— М.: Наука, 1987.— Ч. 1.— 464 с.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика.— М.: Наука, 1986.— 736 с.

г. Новосибирск

Поступила в редакцию 16/VI 1991

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В связи с постоянно ухудшающимся финансовым положением, резким удорожанием материалов и полиграфических затрат, изготовление и доставка авторских оттисков будет прекращена с февраля 1992 г.