

СРОЧНОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 534.411:666.233

ДИНАМИЧЕСКОЕ КОМПАКТИРОВАНИЕ
УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ АЛМАЗОВ *Э. Э. Лин, С. А. Новиков, В. Г. Куропаткин,
В. А. Медведкин, В. И. СухаренкоВНИИ экспериментальной физики,
607200 Кремлев

Экспериментально установлено, что при воздействии на порошок ультрадисперсных алмазов слабых ударных нагрузок с длительностью $\sim 10^{-5}$ с средний размер алмазных частиц возрастает на несколько порядков.

В научно-технической литературе большое внимание уделяется вопросам получения ультрадисперсных алмазов (УДА) во взрывных экспериментах (см., например, [1–4]). Размеры частиц УДА $l \approx 2 \div 20$ нм. Для прессования и спекания поликристаллов с высокими механическими свойствами требуется алмазный порошок с размерами частиц ≥ 1 мкм [5]. Авторами данной работы предпринята попытка осуществить динамическое компактирование УДА до этих размеров.

Работы [6, 7] по динамическому (ударному) прессованию алмазного порошка связаны с созданием в исходном образце сравнительно больших импульсных давлений $p \approx 100$ ГПа с временем действия $t_i \approx 1$ мкс. Это обусловлено распространенным представлением о сцеплении между собой частиц порошка в результате пластического деформирования и плавления материала на границах их соприкосновения [8].

Следуя [9, 10], можно полагать, что из-за аномально высокого значения дебаевской температуры $\Theta \approx 2000$ К [11] фононные возбуждения алмазных частиц в ударной волне (УВ) играют главную роль в коллективных эффектах в замкнутой системе кластеров УДА, подвергнутой ударному воздействию. Если длительность воздействия τ много больше масштаба времени t_0 , характерного для одного акта колебательного воздействия двух кластеров ($\tau \gg t_0$), то число N таких актов взаимодействий будет очень велико: $N \sim \tau/t_0 \gg 1$. Следовательно, велика вероятность того, что в области контакта кластеров произойдет «сцепление» их кристаллических скелетов. Это означает, что при сравнительно слабых динамических нагрузках большой длительности возможно образование микроскопических поликристаллов из ультрадисперсных частиц.

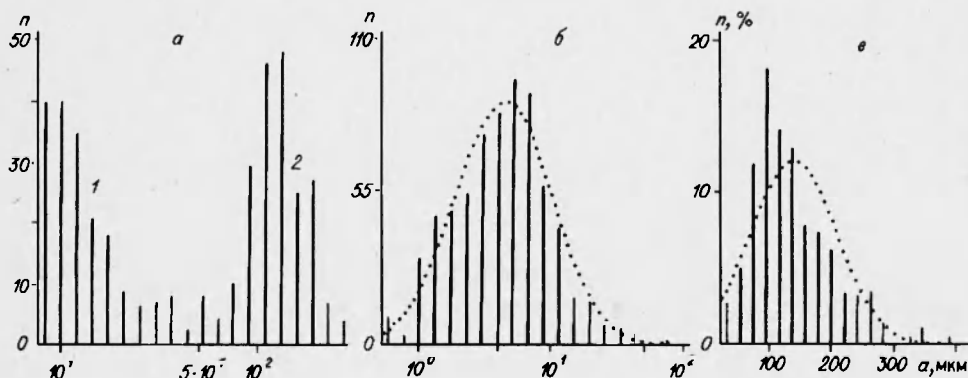
В свете приведенных качественных рассуждений наиболее предпочтительным из известных способов динамического нагружения порошков [12–15] представляется ударное сжатие образца массивным ударником (снарядом), разгоняемым до скоростей в несколько сотен метров в секунду. Варьирование скорости снаряда v , а также его длины L и калибра d позволяет осуществить масштабирование давления p_{\max} , длительности τ и площади s воздействия на порошок УДА, помещенный в металлический

* Число публикаций, посвященных ударному компактированию алмазных порошков, не ограничивается указанными в данной работе. Кроме [6, 7] следует упомянуть также работы D. Potter, T. Ahrens // J. Appl. Phys. 1989. V. 6, N 3. P. 910–914; K. Kondo, S. Sawai // J. Amer. Ceram. Soc. 1990. V. 73, N 3. P. 1983–1991; и др. (Прим. редколлегии).
© Э. Э. Лин, С. А. Новиков, В. Г. Куропаткин, В. А. Медведкин, В. И. Сухаренко, 1995

контейнер (ампулу). Оценки показали, что при $v \approx 400 \div 1000$ м/с и $L = 50 \div 500$ мм диапазон параметров ударного сжатия УДА $p_{\max} \approx 8 \div 20$ ГПа, $\tau \approx 10^{-5} \div 10^{-4}$ с. При характерном времени колебательного взаимодействия двух кластеров $t_0 \approx 2\langle l \rangle / c_d \approx 10^{-12}$ с ($\langle l \rangle = 6$ нм — средний размер УДА, $c_d \approx 10^4$ м/с — эффективная скорость звука в алмазе, оцененная в дебаевском приближении [16]) получаем оценку $N \approx 10^7 - 10^8$. Такое количество «попыток» может оказаться вполне достаточным для сцепления между собой большого числа кластеров, т. е. для динамического компактирования УДА. В результате диффузии и перекристаллизации вещества в областях контакта образовавшихся частиц может произойти их дальнейшее укрупнение и появление второй фракции алмазного микропорошка.

В проведенных экспериментах ампулы с порошком УДА нагружали стальным ударником с $d = 29,3$ мм, $l = 50$ мм, разогнанным до скорости $v = 500 \pm 50$ м/с с помощью взрывной баллистической установки ствольного типа. Конструкция и материал ампулы позволяли сохранять алмазный порошок в ходе взрывного эксперимента.

Анализы исследуемых образцов, проведенные методами аналитической химии, электронной и оптической микроскопии, а также рентгеновской диагностики, позволили заключить, что после ударного нагружения порошок состоит в основном из поликристаллических алмазных частиц с кубической модификацией кристаллической решетки. Массовая примесь аморфного углерода (сажи) составляет 10–30%. После нагружения алмазного порошка размеры частиц $a \approx 0,5 \div 600$ мкм, заметная их доля ($\sim 50\%$ от общего количества) имеет размеры $1 \div 50$ мкм. Средние размеры алмазных частиц во фракциях $\langle a \rangle_1 \approx 4 \div 10$ мкм, $\langle a \rangle_2 \approx 10^2$ мкм. Величина области когерентного рассеяния рентгеновского излучения на полученных частицах равна 6 нм, т. е. соответствует среднему размеру УДА до нагружения. Гистограмма частиц алмазного порошка первой фракции может быть аппроксимирована с помощью логарифмически нормального распределения (рисунок). Плотность зерен составляет $3,2$ г/см³.



Распределение алмазных частиц по размерам. Сплошные прямые — экспериментальная гистограмма, полученная с помощью микроанализатора IBAS-2000:

a — обзорная гистограмма (общее число частиц в выборке $n_{\Sigma} = 395$); 1 — первая фракция, 2 — вторая фракция; б — распределение частиц в первой фракции ($n_{\Sigma} = 687$); штриховая кривая — логарифмически нормальное распределение; в — распределение частиц во второй фракции ($n_{\Sigma} = 192$); штриховая кривая — нормальное распределение.

Представленные данные свидетельствуют о том, что полученные частицы образовались в результате сцепления алмазных кластеров в слабой УВ. Таким образом, при воздействии на порошок УДА слабых динамических нагрузок с длительностью $\approx 10^{-5}$ с средний размер алмазных частиц возрастает на несколько порядков.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаменталь-

ных исследований (код проекта 93-01-16504).

ЛИТЕРАТУРА

1. Титов В. М., Анисичкин В. Ф., Мальков И. Ю. Исследование процесса синтеза ультрадисперсного алмаза в детонационных волнах // Физика горения и взрыва. 1989. Т. 25, № 3. С. 117-126.
2. Волков К. В., Даниленко В. В., Елин В. И. Синтез алмаза из углерода продуктов детонации ВВ // Физика горения и взрыва. 1990. Т. 26, № 3. С. 123-125.
3. Ставер А. М., Лямкин А. И. Получение ультрадисперсных алмазов из взрывчатых веществ // Ультрадисперсные материалы. Получение и свойства: Сб. тр. / Под ред. А. М. Ставера. Красноярск, 1990. С. 3-22.
4. Выскубенко Б. А., Даниленко В. В., Лин Э. Э. и др. Влияние масштабных факторов на размеры и выход алмазов при детонационном синтезе // Физика горения и взрыва. 1992. Т. 28, № 2. С. 108-109.
5. Алешин В. Г., Смехнов А. А., Чудинов М. Г. и др. Влияние химического состава поверхности микропорошков синтетического алмаза на свойства спеченных из них поликристаллов // Сверхтвердые материалы. 1991. № 1. С. 37-41.
6. Sawaoka A., Akashi T. Dynamic compaction of diamond and cubic boron nitride utilising exothermal chemical reaction // Chemistry of Shock Waves: Proc. Int. Symp. Krasnoyarsk, 1991.
7. Бацанов С. С., Вазюлин В. А., Копанева Л. И. и др. Ударное пресование алмазного порошка // Физика горения и взрыва. 1991. Т. 27, № 4. С. 139.
8. Гегузин Я. Е. Физика спекания. М.: Наука, 1984.
9. Лин Э. Э. Агрегация кристаллических кластеров во фронте ударных волн в конденсированных веществах // Хим. физика. 1993. Т. 12, № 3. С. 299-302.
10. Анисичкин В. Ф. Явление резонансной твердофазной коалесценции малых частиц алмаза в продуктах взрыва // Хим. физика. 1993. Т. 12, № 5. С. 605-608.
11. Лившиц Л. Д. Алмаз // Физический энциклопедический словарь. М.: Сов. энцикл. 1960. Т. 1. С. 40-41.
12. Garrett D. R. Method for Marking Diamond // United States Patent Office 3,499,732 Patented Mar. 10, 1970.
13. Balchan A. S., Cowan G. R. Method of Treating Solids with High-Dynamic Pressure // United States Patent Office 3,667,911 Patented June 6, 1972.
14. Заявка Японии № 57-17841, МКИ С01 В 31/06. Способ спекания мелких алмазных зерен // Изобрет. стран мира. 1982. Вып. 51, № 11. С. 44.
15. Долгова И. Ю., Рогозин В. Д., Писарев С. П., Аксенов А. А. Ударное сжатие порошка ВТСП керамики с предварительным нагревом // Прогрессивные технологии производства, структура и свойства порошковых изделий, композиционных материалов и покрытий: Сб. тез. докл. Рос. респ. науч.-техн. конф. Волгоград, 1992. С. 63-64.
16. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. М.: Наука, 1976. Ч. 1.

Поступила в редакцию 8/II 1995 г.