

16. *Алюминиевые сплавы (свойства, обработка, применение)/Пер. с нем. под ред. М. Е. Дрица, Л. Х. Райтбарга. — М.: Металлургия, 1979.*
17. Deribas A. A., Staver A. M., Shtertser A. A. Some aspects of explosive compaction of porous layers // Proc. of the HERF '84 Int. Conf., 1984, USA, San-Antonio. — P. 109—111.
18. Штерцер А. А. Нагружение взрывом пористых тел в металлических оболочках.: Дис. ... канд. физ.-мат. наук.— Новосибирск, 1983.— 151 с.

630090, Новосибирск,
Конструкторско-технологический
институт гидроимпульсной
техники СО РАН

Поступила в редакцию 30/III 1993

УДК 541.1.034:666.762.5

А. Г. Белошапко, А. А. Букаемский, Н. В. Губарева,
И. Г. Кузьмин, А. М. Ставер

ДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПОРОШКОВ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Исследован процесс синтеза порошка диоксида циркония при ударно-волновом нагружении пористого металла и последующем разлете. Синтезированный порошок состоит из полых сферических оболочек и высокопористых конгломератов со средним размером 500 мкм. Удельная поверхность порошка не зависит от размера частиц и равна $1,25 \pm 0,35 \text{ м}^2/\text{г}$. При больших размерах преобладает тетрагональная, при малых — моноклинная модификации. Изучена возможность стабилизации окиси в высокотемпературной фазе.

Интерес к керамике из диоксида циркония обусловлен уникальными физико-технологическими свойствами материалов: высокой механической прочностью и вязкостью разрушения, огнеупорностью и коррозионной стойкостью. Вследствие этого керамику из оксида циркония применяют в качестве режущего и абразивного инструмента, как исходное сырье для изготовления деталей адиабатических и газотурбинных двигателей [1].

Качество изделий из керамики определяется физико-механическими характеристиками исходного сырья, которые зависят от метода получения порошков, поэтому разработка новых методов синтеза — актуальная научно-техническая задача.

В [2] описан динамический метод синтеза порошков оксида алюминия, который основан на явлении горения исходного порошка металла при взаимодействии с высокоскоростным потоком газа, содержащим кислород. Начальный нагрев и метание металла осуществляется за счет ударно-волновых процессов в слое исходного порошка, генерируемых от контактного заряда взрывчатого вещества.

В данной работе в качестве исходного вещества использовался порошок циркония марки ПЦрЧ с начальной плотностью $1,76 \text{ г}/\text{см}^3$. С целью изучения влияния параметров нагружения на характеристики синтезированного порошка в экспериментах изменялась величина $r = m_{\text{ВВ}}/m_{\text{пор}}$ от 0,08 до 0,48. Эксперименты проводились в герметичной взрывной камере объемом $0,4 \text{ м}^3$. Начальное давление газа в камере 4 атм обеспечивало значительное превышение количества кислорода, необходимого для полного окисления металла. После подрыва и извлечения из камеры порошок исследовался методами рентгеноструктурного и термографического анализа, изучался на оптическом и растровом микроскопах, определялась удельная свободная поверхность $S_{\text{уд}}$.

Синтезированный продукт — это порошок желтого цвета с незначительным количеством черных включений. При изучении на оптическом и растровом микроскопах обнаружено, что он состоит из полых сферических оболочек и бесформенных конгломератов. Размер наиболее крупных частиц достигает 6 мм.

Более подробно изучались морфологические особенности строения синтезированных частиц. На рис. 1, а, приведен внешний вид крупной полый оболочки, а на рис. 1, б — строение стенки. Видно, что полученные частицы

состоят из блоков размерами до 10 мкм. По-видимому, они образуются вследствие термонапряжений, возникающих при высокоскоростном остывании образований и переходе из жидкого в твердое состояние. Блочную структуру имеют также полые оболочки меньших размеров. На некоторых оболочках наблюдается скол поверхностных слоев (рис. 2), что также может свидетельствовать о влиянии термонапряжений на внутреннюю структуру частиц.

Часть оболочек (размером менее 50 мкм) прозрачны, легко отделялись от основной части порошка и всплывали на поверхность жидкости. При изучении на растровом электронном микроскопе показано, что внешний вид мелких полых сферических оболочек не отличается от более крупных. По результатам обработки фотографий можно утверждать, что величина отношения диаметра D оболочки к ее толщине Δ лежит в пределах 20—70, причем с уменьшением размера частиц отношение D/Δ возрастает.

Бесформенные конгломераты представляют собой образования с внутренним строением типа «пены». На рис. 3 представлен шлиф крупного (~6 мм) конгломерата. Внешний слой частицы более светлый (желтый), внутри черный с характерным металлическим блеском. Такая цветовая структура характерна только для частиц >1 мм. При продолжительном отжиге на воздухе частицы становились желтыми по всему объему, при этом масса навески оставалась постоянной, структура частиц не изменялась. Это свидетельствует об отсутствии металлического циркония в порошке, что подтвердилось также различными химическими методами. В работе [3] сообщалось, что нестехиометрический диоксид циркония при недостатке кислорода имеет черный цвет и металлический оттенок. Разрушением некоторых крупных частиц при сборе продукта из взрывной камеры объясняется наличие в порошке черных включений.

Капли металлического циркония окисляются за счет диффузного проникновения кислорода в объем частицы. Вследствие этого окисление значительных слоев металла затруднено, что подтверждается в [4].

На рис. 4, б приведено определенное методом ситового анализа распределение масс частиц по размерам, где ΔM — масса порошка на сите размером d , M_0 — полная масса. Видно, что характер распределения логарифмически нормальный. В рассматриваемом случае, возможно, процесс синтеза происходит следующим образом. В ударной волне порошок сжимается (начальный размер частиц < 10 мкм) до плотности, близкой к монолитной, металл находится в расплавленном состоянии ($T_{пл} = 1835^\circ\text{C}$). При разлете происходит диспергирование жидкого слоя на капли, сравнимые по размерам с частицами получаемой окиси. Горение происходит по механизму окисления крупных капель металла с «пенообразованием», аналогично описанному в [5]. Образование полых сферических оболочек — предельный вариант, который возможен в случае, если внутренней энергии образовавшихся паров окиси достаточно для преодоления внешнего давления, вязкости жидкого слоя и создания сплошной полости.

При проведении рентгеноструктурных исследований синтезированных порошков обнаружено, что окись циркония получается в моноклинной и тетрагональной модификациях. Содержание фаз слабо зависит от параметров синтеза. Так, при изменении r в 6 раз отношение величин максимальных пиков тетрагональной I_T и моноклинной I_M фаз $\delta = I_T/I_M \cdot 100\% = 7,6 \pm 3,3$. При этом также незначительно изменяется и удельная поверхность ($S_{уд} = 4,1 \pm 1,7 \text{ м}^2/\text{г}$).

Для более детального изучения фазового состава синтезированного порошка проводился рентгеноструктурный анализ каждой ситовой фракции. Результаты приведены на рис. 4, б. Видно, что распределение фаз бимодальное. При больших размерах преобладает тетрагональная фаза, при малых — моноклинная, причем изменение происходит практически на одной ситовой фракции (0,64 — 1,25 мм).

Высокое значение величины α в крупных частицах, по-видимому, связано с наличием нестехиометрической окиси, которая стабилизируется

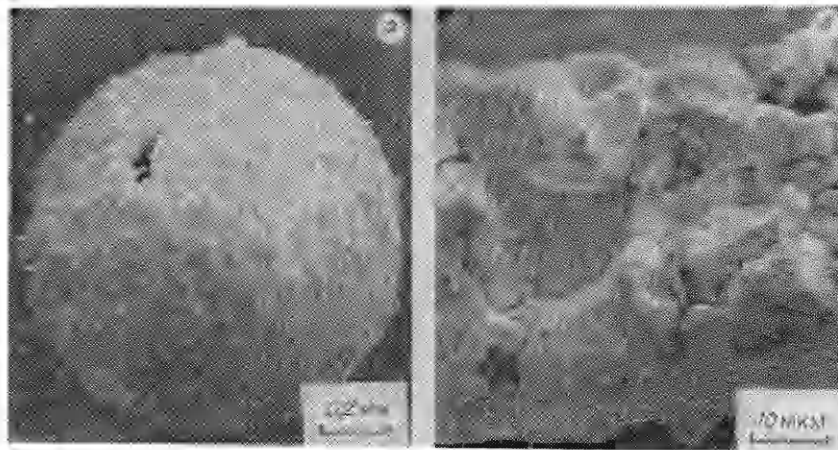


Рис. 1.

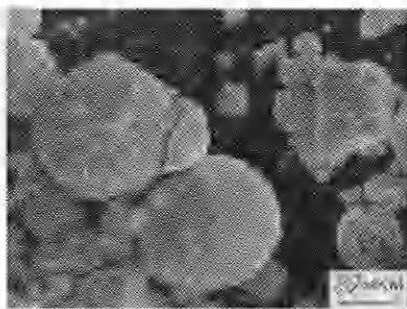


Рис. 2.



Рис. 3.

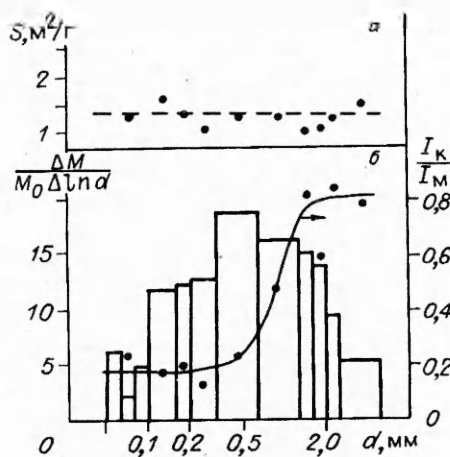


Рис. 4.

преимущественно в более плотных фазах — кубической и тетрагональной [3]. Это подтверждается и фазовым составом полученных порошков до и после отжига. При исследовании на микроскопах порошков различных фракций обнаружено, что при размерах меньших 0,64 мм порошки состоят преимущественно из полых сферических оболочек, а при больших — из вспененных конгломератов. Таким образом, резкое уменьшение величины α связано со значительным уменьшением характерной толщины материала вследствие образования полых сферических оболочек, что улучшает условия окисления по всему объему материала, поэтому в этих фракциях нестехиометрическая окись отсутствует.

На приборе УРС изучался фазовый состав крупных (~ 1 мм) и наиболее мелких (менее 50 мкм) прозрачных сферических оболочек. По-

казано, что в обоих случаях оксид циркония находится в моноклинной модификации.

Измерение удельной поверхности порошков каждой ситовой фракции (рис. 4, а) показало, что $S_{уд} = 1,25 \pm 0,35 \text{ м}^2/\text{г}$ и не зависит от размера частиц, что соответствует характерному средне-поверхностному размеру $d_s \sim 0,5 \text{ мкм}$. По-видимому, это характерный размер образований, из которых состоят синтезированные частицы. Для крупных ($\sim 1 \text{ мм}$) частиц размер видимых блоков достигает 10 мкм , которые, вероятно, в свою очередь состоят из образований с характерным размером d_s .

При термографическом анализе на Q -дериатографе определялись температуры прямого перехода из моноклинной модификации в тетрагональную ($M \rightarrow T$) и обратно ($T \rightarrow M$): $T_{M \rightarrow T} = 1160 \text{ }^\circ\text{C}$ и $T_{T \rightarrow M} = 870 \text{ }^\circ\text{C}$, что совпадает с табличными [6].

Изучалась возможность стабилизации синтезированной окиси в высокотемпературной модификации. С этой целью в исходный порошок циркония добавлялось $12,5 \%$ (по массе) окиси иттрия. По данным рентгеноструктурного анализа находилось отношение величин амплитуд максимальных пиков $\alpha_{ст}$. В контрольном эксперименте без стабилизирующей добавки, вычислялась α_k . Показано, что добавка окиси иттрия приводит к образованию окиси циркония в преимущественно тетрагональной модификации, при этом отношение $\alpha_{ст}/\alpha_k = 78$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Витязь П. А., Ермоленко И. Н. и др. // ПМ.— 1989.— № 12.— С. 45—50.
2. Белошапко А. Г., Букаемский А. А., Ставер А. М. Образование ультрадисперсных соединений при ударно-волновом нагружении пористого алюминия. Исследование полученных частиц // ФГВ.— 1990.— 26, № 4.— С. 93—98.
3. Рутман Д. С. и др. Высокоогнеупорные материалы из диоксида циркония.— М.: Металлургия, 1985.
4. Похил П. Ф. и др. Горение порошкообразных металлов в активных средах.— М.: Наука, 1972.
5. Деревяга М. Е., Стесик Л. И., Федорин Э. А. Режимы горения магния // ФГВ.— 1978.— 26, № 5.— С. 3—10.
6. Андриевский Р. А., Спивак И. И. Прочность тугоплавких соединений и материалов на их основе: Справ. изд.— Челябинск: Металлургия, 1989.

660036, г. Красноярск,
Красноярский научный центр
СО РАН

Поступила в редакцию 17/III 1993

УДК 629.198.624

Л. А. Мержиевский, А. Д. Реснянский

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АНОМАЛИИ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ТОНКОГО ЭКРАНА ПРИ УДАРЕ ПОД УГЛОМ

Для объяснения аномального эффекта, установленного в экспериментах по изучению защитных свойств тонкого экрана при высокоскоростном ударе и различных углах соударения, проводится численное исследование. В модели вязкоупругого тела максвелловского типа с учетом разрушения решены три задачи: об ударе по нормали и под углом 60° к поверхности в плоской двумерной постановке и об ударе по нормали в осесимметричном случае. Анализ показал, что в данных конкретных условиях особенности взаимодействия ударяющего тела с преградой в случае удара под углом приводят к снижению уровня разрушающих нагрузок по сравнению с формирующимися при ударе по нормали и, как следствие,— к меньшему диспергированию ударника. В итоге это снижает защитное действие экрана.

Максимальное внимание исследователей проблема высокоскоростного соударения привлекала в середине — конце 60-х годов. Это было связано с повышенным интересом к вопросам противометеоритной защиты, вызванным бурным прогрессом в исследованиях космического пространства. Постепенно выяснилось, что встреча космического аппарата с метеоритом — явление