

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОПОРОШКОВ КАРБИДА БОРА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОЙ КЕРАМИКИ

Блинков И. В., Аникин В. Н., Елютин А. В., Мягков К. А.

Государственный технологический университет "Московский институт стали и сплавов"

Возможной областью применения нанодисперсных порошков (НДП), полученных в плазме конденсаторного разряда, может быть их использование в качестве исходных компонентов шихты для изготовления компактных порошковых материалов. В этом случае появится возможность сформировать устойчивую высокодисперсную структуру с повышенной плотностью, которая характеризуется высокими значениями твердости и прочности. Это предположение основывается на обратной зависимости прочности материалов от размера зерна, а также на том, что образование и рост трещин критического размера в материалах с мелкозернистой структурой тормозится из-за малого размера структурных фрагментов и наличия большого числа границ. Однако, надо иметь в виду то, что применение НДП при их компактировании методом порошковой металлургии ограничивается их малой насыпной массой, огромной усадкой и процессами рекристаллизации, приводящими к росту зерна при спекании. Поэтому в ряде случаев более целесообразным следует считать использование НДП в качестве модифицирующих добавок, введение которых может изменять процессы структурообразования при компактировании материалов и активировать процесс спекания.

Было исследовано влияние модифицирующих добавок НДП карбида бора, синтезированного в импульсной плазме, на спекаемость и свойства компактов из карбида бора (твердость, пределы прочности при изгибе и сжатии, трещиностойкость).

Исходную шихту получали смешением карбида бора, синтезированного из элементов, ($V_{\text{общ.}}$ - 77,5 % (мас.), $C_{\text{общ.}}$ - 21,1 % (мас.), O - 0,55 % (мас.)) со средним размером частиц около 1 мкм и НДП B_4C в количестве до 10 % (мас.).

НДП B_4C был получен в импульсной плазме и характеризовался следующим составом: $C_{\text{связ.}}$ - 20,6 % (мас.), $C_{\text{своб.}}$ - 0,5 % (мас.), O ~ 1 % (мас.). Средний размер частиц НДП - 0,03 мкм.

Компактирование образцов проводилось на прессе горячего прессования при температуре 2473 К и давлении 30 МПа с выдержкой под давлением в течение 10 минут в вакууме. В процессе нагрева образцов в области температур 1600-1700 К предусмотрена изотермическая выдержка в течение 30 минут. При исследовании кинетики уплотнения в процессе горячего прессования использовали автоматическую запись усадки с помощью

электронного потенциометра, регистрирующего перемещение пуансонов. Плотность полученных образцов определяли методом гидростатического взвешивания в воде.

Испытание на изгиб проводили по схеме трехточечного нагружения. Испытания на сжатие проводили на машине ZD-10/90 (Германия). Средние значения прочности получены в результате испытания 12 образцов. Относительная погрешность составляла $\pm 5\%$.

Для определения трещиностойкости K_{1C} использовали метод микровдавливания с применением пирамиды Виккерса при нагрузке 150 Н. Значение K_{1C} вычисляли по формуле: $K_{1C} = 0,075 \frac{P}{C^{3/2}}$, где P - нагрузка на индентор; $C = (2C_x + 2C_y)/4$. ($2C_x, 2C_y$ - сумма размеров трещин и диагонали отпечатка по соответствующей оси).

Твердость измерялась по Роквеллу и Виккерсу, при этом нагрузка на индентор составляла 100 Н.

Результаты проведенных исследований по изучению процесса усадки образцов свидетельствуют о том, что кинетика уплотнения образцов несколько отличалась друг от друга в зависимости от содержания в них НДП. Так, при содержании НДП до 5 % (мас.) усадка и ее скорость практически не отличались от таковых для образцов, в которые НДП не вводилось. При содержании НДП В₄С 10 % (мас.) эти характеристики примерно на 5 % были больше. Относительная плотность этих образцов составляла $\sim 0,98$, против 0,94 для образцов без добавления НДП.

Микроструктура образцов из шихты с НДП карбида бора, характеризовалась высокой однородностью по зерновому составу. Размер зерен составлял 2-4 мкм. В структуре образцов, не содержащих НДП В₄С, наблюдается неравномерный рост отдельных зерен, размер которых достигает ~ 10 мкм.

Пределы прочности при сжатии ($\sigma_{сж}$) и при изгибе ($\sigma_{из}$), твердость, коэффициент интенсивности напряжений (K_{1C}) для исследованных образцов представлены в таблице.

Из полученных результатов видно заметное повышение физико-механических свойств керамики, полученной из шихты с добавками НДП В₄С, синтезированного в импульсной плазме. Эти результаты связаны, по-видимому, с повышенной плотностью керамики и более мелкозернистой ее структурой.

С позиций представлений о явлениях при спекании и массопереносе в нанодисперсных средах картину по структурообразованию в исследуемой системе можно представить себе следующим образом.

В прессовках, содержащих 10 % (мас.) НДП, наночастицы заполняют пустоты, а также образуют прослойки между частицами низкой дисперсности.

Таблица. Свойства спеченных материалов

Состав компактируемого материала	Относитель- ная плотность	Твер- дость	$\sigma_{изг.}$, МПа	K_{1C} , МПа·м ^{1/2}	$\sigma_{сж.}$, МПа
В ₄ С+10%(мас.) НДП В ₄ С	0,98	98HRA	480	5,9	1640
В ₄ С	0,94	94HRA	380	4,5	1500

Поскольку нанодисперсным системам свойственна зональная плотность, то кластеры НДЧ с наибольшей плотностью могут выступать в роли центров кристаллизации в нанодисперсном объеме. В процессе уплотнения после завершения стадии активированного скольжения по границам зерен начинается стягивание нанодисперсного материала к этим центрам кристаллизации, т.е. наблюдается, так называемое, зональное уплотнение. В результате данного процесса происходит разрыхление границ контактов НДЧ с частицами низкой дисперсности. Тем самым создаются условия, тормозящие процессы массопереноса между НДЧ и частицами низкой дисперсности, что, по-видимому, и затрудняет рост кристаллов из частиц низкой дисперсности и ограничивает максимальный размер кристаллов.

Компакты из промышленно получаемых порошков В₄С с добавками НДП В₄С, синтезированного в импульсной плазме, были использованы для изготовления элементов керамической брони.

Проведенные испытания изделий во ВНИИ Спецтехники и связи МВД России показали перспективность использования полученных НДП В₄С для изготовления ударопрочной керамики повышенной живучести.