

ПРИМЕНЕНИЕ НЕКАВИТАЦИОННОГО МОЩНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ СУХИХ НАНО– И МИКРО–ДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ

Хасанов О.Л., Двилис Э.С., Соколов В.М.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
г. Томск, Россия, E-mail: khasanov@tpu.ru

Для формования и спекания из нано– и микро–дисперсных порошков изделий с заданными формой, размерами и допусками на типоразмеры требуется решить проблему влияния существенных сил внутреннего (межчастичного) и внешнего (пристенного) трения на распределение плотности в порошковых прессовках сложной геометрии. Особенно важно влияние таких сил трения для нанопорошков, имеющих высокую удельную поверхность.

Обычно указанная проблема решается применением связок, пластификаторов. Однако технологические операции подготовки порошковой суспензии (шликера), а затем удаления связки отжигом требуют применения комплекса специального оборудования и могут приводить к формированию дефектов в изделиях – остаточной закрытой пористости, трещин, короблений и т.п.

Кроме того, для создания наноструктурных изделий в процессе консолидации нанопорошков необходимо предотвращать рост зёрен.

Для решения указанных проблем нами предложены методы формования нано– и микро–дисперсных порошков в изделия требуемой геометрии без использования связок, пластификаторов, которые основаны на применении ультразвукового (УЗ) воздействия в процессе прессования сухих порошков (рис.1) и на способах перераспределения сил трения при прессовании в пресс–формах «коллекторной» конструкции [1–3] (рис.2).

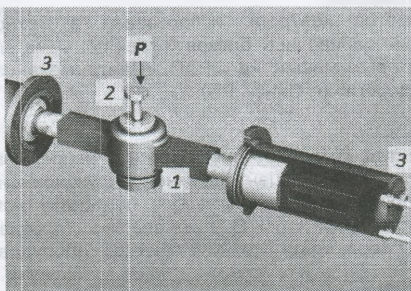


Рисунок 1 – Пресс–форма для прессования сухих порошков под УЗ–воздействием.

1 – акустический волновод – матрица пресс–формы; 2 – пуансон; 3 – магнитострикционные преобразователи; P – давление прессования

Особенностью способа прессования под действием некавитационного ультразвука является применение специальной матрицы пресс–формы, которая конструируется как акустический волновод с фиксированной резонансной частотой, соответствующей частоте коммерческих УЗ–генераторов (около 20 кГц).

Такая матрица является составной. Внутренняя вставка, куда засыпается порошок, обеспечивает требуемую форму изделия. Эта вставка может иметь «коллекторную» конструкцию, и таким образом, прессование осуществляется комбинированным способом – под действием ультразвука и в «коллекторной» пресс–форме. Для формования прессовок с равномерной плотностью из порошков с заданным составом и дисперсностью требуется оптимизировать условия прессования (давление, мощность и длительность УЗ–воздействия), последующего спекания (температура, длительность спекания, скорость нагрева и охлаждения).

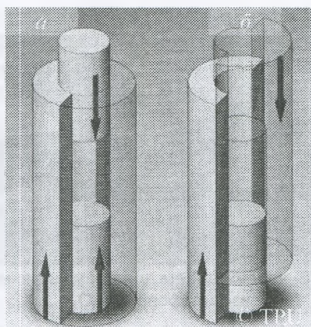


Рисунок 2 – а – традиционная пресс-форма для одноосного статического прессования; б – коллекторная пресс-форма [2]

Методы успешно апробированы для изготовления многих типов керамических материалов из нанопорошков: конструкционных [4–6] $ZrO_2-Y_2O_3$, Al_2O_3 , ZrB_2 , B_4C , SiC ; оптически прозрачных [7, 8] $Nd-Y_2O_3$, $Nd:Y_3Al_5O_{12}$, $Yb:[Lu_xY_{(1-x)}O_3]$, $MgAl_2O_4$; сегнето-, пьезо-электрических $(Ba,Sr)TiO_3$, $Pb(Zr,Ti)O_3$, диэлектрических [9] $BaTiO_3-WTiO_3$, полупроводниковых ZnO , $In-Sn-O$; композитных [10] $Al/Mg-B_4C-W$.

Показано, что разработанные методы в оптимальных условиях их применения обеспечивают:

- заданные форму и типоразмеры порошковых изделий без дополнительной механообработки (рис. 3) [9];
- повышение эксплуатационных свойств конструкционных и функциональных изделий, сохранение наноструктуры;
- исключение из технологии связующих веществ и пластификаторов;
- сокращение технологического цикла;
- регулирование плотности (пористости) спеченных изделий.

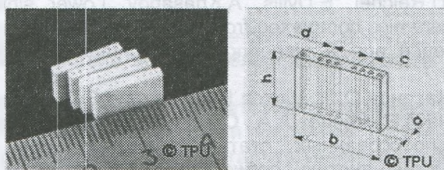


Рисунок 3 – Керамические корпуса СВЧ-смесителей состава $BaTiO_3-WTiO_3$ для средств сотовой связи. $a * b * h = 1,85 \text{ мм} * 12,70 \text{ мм} * 8,35 \text{ мм}$; 8 отверстий диаметром 0,6 мм; допуски на типоразмеры и позиционирование отверстий $\pm 5 \text{ мкм}$

Технологии, разработанные с применением методов УЗ-прессования и коллекторного прессования применены в промышленности в результате выполнения комплексного проекта «Создание промышленного производства изделий из функциональной и конструкционной наноструктурированной керамики для высокотехнологичных отраслей» в рамках исполнения постановления Правительства РФ от 09.04.2010 №218. (рис. 4).

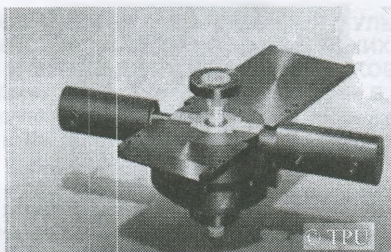


Рисунок 4 – Пресс-форма с УЗ-воздействием для промышленного производства кольцевых изоляторов из Al_2O_3

Список литературы:

1. Хасанов О.Л., Соколов В.М., Двилис Э.С., Похолков Ю.П. Ультразвуковая технология изготовления конструкционной и функциональной нанокерамики // Перспективные материалы, 2002. – №1. – с. 76 – 83.
2. Khasanov O.L., Dvilis E.S. Net-shaping nanopowders with powerful ultrasonic action and methods of the density distribution control // *Advances in Applied Ceramics*, 2008. – V.107, No.3. – p.135–141.
3. Хасанов О.Л., Двилис Э.С., Бикбаева З.Г., Качаев А.А., Полисадова В.В. Методы компактирования и консолидации наноструктурных материалов и изделий // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 269 с.
4. Khasanov O.L., Pokholkov Yu.P., Ivanov Yu.F., Ljubimova L.L., Makeev A.A. Effect of Ultrasonic Compaction of Nanopowder on Structure and Fracture Character of Zirconia Nanoceramics. // In: *Fracture Mechanics of Ceramics*. V.13. Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002. – p. 503 – 512.
5. Khasanov O.L., Dvilis E.S., Sokolov V.M. Compressibility of the structural and functional ceramic nanopowders // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2007. – V.27, №2–3. –p.749–752.
6. O.Khasanov, U.Reichel, E.Dvilis, A.Khasanov. Lower sintering temperature of nanostructured dense ceramics compacted from dry nanopowders using powerful ultrasonic action // *Materials Science and Engineering*. IOP Conference Series, 2011. – V.18. – P.082004.
7. Осипов В.В., Хасанов О.Л., Шитов В.А., Двилис Э.С., Иванов М.Г., Орлов А.Н., Платонов В.В., Вьюхина И.В., Качаев А.А., Соколов В.М. Оптическая $\text{Nd}^{3+}\text{Y}_2\text{O}_3$ керамика из нанопорошков, спрессованных статическим давлением с ультразвуковым воздействием // *Российские нанотехнологии*, 2008. – Т.3, №7–8. – с.98–104.
8. Хасанов О.Л., Копылов Ю.Л., Кравченко В.Б. и др. Проблемы компактирования нанопорошков для получения высокоплотных, высокопрозрачных оксидных керамик // *Нанотехника*, 2008. – №2(14). – с.3–9.
9. Karban O.V., Kanunnikova O.M., Khazanov E.N., Salamatov E.I., Khasanov O.L., Taranov A.V. Effect of ultrasonic vibration on the structure and composition of the interface regions in Ba–W–Ti–O ceramics // *Ceramics International*, 2013. – V.39. – p.497–502.
10. E.S.Dvilis, O.L.Khasanov, V.N.Gulbin, M.S.Petyukevich, A.O.Khasanov, E.A.Olevsky. Spark Plasma Sintering of Aluminum–Magnesium–Matrix Composites with Boron Carbide and Tungsten Nano–Powder Inclusions: Modeling and Experimentation // *JOM*, 2016. – V.68 – №3. – p.908 – 919.