

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ДАВЛЕНИЯ КОНСОЛИДАЦИИ ПРИ ИСКРОВО-ПЛАЗМЕННОМ СПЕКАНИИ НАНОПОРОШКОВ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Геворкян Э.С.<sup>1</sup>, Гуцаленко Ю.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, <sup>2</sup>Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков

Рассматривается проблема физико-математического прогнозирования оптимального давления ( $P_{opt}$ ) в процессах искрово-плазменного спекания нанопорошков диоксида циркония. Определены физические аспекты этой проблемы и представлен подход к расчету давлений в цикле прессования на стадии подготовки и экспериментальной разработки производства. Расчет основан на использовании закона Пашена применительно к рассматриваемой модели искрово-плазменной консолидации нанопорошков под давлением. Результаты расчета сопоставлены с практическим опытом энергосберегающего скоростного искрово-плазменного спекания тонкодисперсной высокоплотной керамики из нанопорошка ( $Zr_{0,94}Y_{0,06}O_{1,88}$ ).

Согласно используемой гипотезе об оптимизации давления в цикле консолидации и спекания нанопорошков по методу ИПС

$$P_{opt} = k \cdot (P \cdot h)_{opt} / h, \quad (1)$$

где  $(P \cdot h)_{opt}$  – характеристика минимума потенциала зажигания разряда в газе, Па·м;  $h$  – размерная характеристика нанопорошка, эквивалентная ожиданию наибольшей поры как наибольшего разрядного промежутка (диаметр зерна в сферической модели), м;  $k$  – поправочный коэффициент (в общем случае  $0 < k < 1$ ); в рассмотрении в первом приближении среды как чисто воздушной и притом сухой  $(P \cdot h)_{opt} = 0,8$  Па·м и  $k = 1$ .

Путем просвечивающей электронной микроскопии установлено, что используемый порошок  $ZrO_2(Y)$  состоит из частиц близкой к сферической формы со средним размером  $\sim 3-15$  нм, образующих слабосвязанные агломераты со средним размером  $\sim 100-500$  нм. Перед предшествующим компактированию и спеканию помолом в шаровой мельнице исходный порошок  $ZrO_2(Y)$  имел подобные размерные характеристики, соответственно 5-10 нм и 100-200 нм. Помолом в шаровой мельнице основная фракция порошка была приведена к размерности от 1,5 нм до примерно 50 нм.

Из (1) следует, что основной мишенью в подавлении пористости ( $P_{opt} = 30$  МПа) следует рассматривать нанополости со средним размером 25-30 нм, что точно соответствует модальной области нормально распределенных размеров зерен исходного порошка.

Учитывая вышеизложенное, конкурентоспособный результат спекания, полученный при давлении 30 МПа со временем выдержки 5 мин. при максимальной температуре 1200 °С, соответствует рассмотренному представлению о механизме электрофизических процессов подавления пористости в массиве спекаемого консолидата и выполненному по (1) расчету.