

## Влияние наноразмерного оксида алюминия и полимерного связующего на структуру и механические свойства композитов на основе оксида алюминия\*

М.Г. Криницын<sup>1,2</sup>, Е.И. Сенькина<sup>2</sup>, А.И. Сагун<sup>1,2</sup>, Е.Е. Рюмин<sup>1,2</sup>, М.И. Лернер<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup> *Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия*

Исследовано влияние содержания наноразмерного  $Al_2O_3$  (0–20%) и полимерного связующего (0–40%) на спекание, микроструктуру и механические свойства композитов на основе микронного оксида алюминия. Установлено, что синергия добавок позволяет значительно повысить прочность при изгибе (до 33 МПа) даже при остаточной пористости. Оптимальные свойства показали образцы с 30–35% полимера и 10–20% нанофазы, спеченные при 1650–1700 °С.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, фидсток, оксид алюминия, нанокompозиты, полимерное связующее, прочностные свойства.

### Введение

Высокоочищенный оксид алюминия ( $Al_2O_3$ ) является одним из наиболее востребованных керамических материалов благодаря исключительной твердости, химической инертности и стойкости к высоким температурам. Он находит применение в широком спектре областей: от медицины (имплантаты) и машиностроения (режущий инструмент, подшипники) до аэрокосмической отрасли и электроники [1, 2]. Однако широкому распространению монолитной керамики  $Al_2O_3$  препятствует ее основной недостаток – хрупкость и низкая трещиностойкость, что приводит к катастрофическому разрушению под нагрузкой из-за роста критических трещин [3].

Для решения этой проблемы активно разрабатываются композитные материалы на основе оксида алюминия. Одним из наиболее эффективных подходов является наноразмерное модифицирование матрицы микронного  $Al_2O_3$ . Введение наночастиц оксида алюминия ( $n-Al_2O_3$ ) позволяет реализовать механизмы упрочнения на субмикронном уровне: торможение движения дислокаций, измельчение зерна и переход от межзеренного к внутривзеренному разрушению, что в итоге повышает прочность и пластичность материала [4].

Параллельно для улучшения технологических свойств порошковых композиций и управления процессом спекания часто используют полимерные добавки. Они выполняют роль пластификатора и связующего, обеспечивая однородную упаковку частиц и целостность заготовок до спекания, а также могут выгорать, создавая определенную пористую структуру [5]. Современные аддитивные технологии, основанные на экструзии материалов, позволяют получать изделия из наполненного полимера, где полимер выступает в качестве пластификатора.

Однако, как правило, эти два подхода – наноразмерное упрочнение и полимерное связывание – изучаются по отдельности. В то время как их совместное использование может привести к синергетическому эффекту. Вопрос о том, как одновременное варьирование содержания наноразмерной фазы и полимерного связующего влияет на процессы уплотнения, формирования микроструктуры и итоговые механические свойства композита, остается недостаточно изученным.

Цель данной работы – исследование комплексного влияния содержания наноразмерного оксида алюминия и полимерного связующего на процессы спекания, формирование микроструктуры, плотность и механические свойства композиционных материалов на основе микронного порошка оксида алюминия.

В работе была синтезирована серия образцов композитов на основе микронного  $Al_2O_3$  с варьированным содержанием наноразмерного  $Al_2O_3$  и полимерного связующего. Микроструктура и фазовый состав полученных материалов исследованы методами сканирующей электронной микроскопии и рентгенофазового анализа. Проведены механические испытания на трехточечный изгиб

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-30006-П, <https://rscf.ru/project/21-79-30006/>.