

## Применение порошковых композиций из нано- и микрочастиц оксида алюминия для аддитивного формования деталей сложной формы экструзионным методом\*

А.И. Сагун<sup>1,2</sup>, Е.И. Сенькина<sup>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

Разработана термопластичная композиция на основе нано- и микрочастиц оксида алюминия для использования в технологии экструзионного аддитивного формования. Исследовано влияние количества наночастиц оксида алюминия на реологические свойства композиций и на прочностные свойства спеченных керамических деталей, полученных методом экструзионного аддитивного формования.

**Ключевые слова:** аддитивное экструзионное формование, корундовая керамика, фидсток, оксид алюминия, бимодальные порошковые композиции.

### Введение

Из-за высокой твердости керамических материалов их обработка является сложным и дорогостоящим процессом. Аддитивные технологии позволяют формировать керамические детали сложной геометрии за относительно короткое время без использования дополнительных форм и постобработки, что существенно снижает затраты производства [1].

Среди методов аддитивного формования керамик обращает на себя внимание способ, основанный на экструзии композиции (Material Extrusion, МЕХ), содержащей керамический порошок и многокомпонентное термопластичное связующее (фидсток). После изготовления так называемой «зеленой детали» связующее удаляется, а деталь спекается в высокотемпературной печи. Способ выделяется своей простотой и относительной дешевизной используемого оборудования, что делает аддитивное формование доступным для большого числа потребителей [1].

Одной из основных проблем экструзионного аддитивного формования является сложность получения монолитных керамических деталей [2]. Фидсток состоит из керамического порошка (обычно около 40–50 об.%) и многокомпонентных полимерных связующих [2, 3]. После удаления связующего остается пористая структура, которая не позволяет получить плотное, монолитное керамическое тело после окончательного обжига. Вероятно, увеличив количество твердого компонента в фидстоке, можно увеличить плотность деталей и улучшить их физико-механические свойства.

Как правило, для изготовления керамических фидстоков используют микронные частицы с размером 0.1–1.0 мкм [2]. Вероятно, повысить физико-механические свойства спеченной детали возможно при использовании порошковых композиций из нано- и микрочастиц. Наночастицы с размерами менее 100 нм, заполняя пространство между микрочастицами, позволят снизить шероховатость, усадку и деформацию детали при ее изготовлении [3]. Практически полное уплотнение материала при использовании бимодальных порошковых композиций показано в работах [4–7].

Цель работы – разработка фидстока на основе композиций из нано- и микрочастиц оксида алюминия и выявление физико-механических свойств деталей, изготовленных методом МЕХ из этого фидстока.

### Материалы и методы исследований

Для разработки фидстоков на основе  $Al_2O_3$  использовались коммерческий порошок, состоящий из микронных частиц оксида алюминия марки Mitalox A95-1.5-LS производства компании Микроинтек (далее М95) и нанопорошок оксида алюминия, полученный электрическим взрывом проволоки (далее ЭВП) производства компании «Передовые порошковые технологии». По данным производителей средний размер частиц порошка М95 составлял 1.5 мкм, нанопорошка ЭВП – 70 нм.

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-30006-П, [hps://rscf.ru/project/21-79-30006/](https://rscf.ru/project/21-79-30006/).