

УДК 666.3-4

DOI: 10.17223/00213411/62/5/132

В.В. ПРОМАХОВ<sup>1</sup>, А.С. ЖУКОВ<sup>1</sup>, А.Б. ВОРОЖЦОВ<sup>1</sup>, Н.А. ШУЛЬЦ<sup>1</sup>, С.В. КОВАЛЬЧУК<sup>1</sup>,  
С.В. КОЖЕВНИКОВ<sup>2</sup>, А.В. ОЛИСОВ<sup>1</sup>, В.А. КЛИМЕНКО<sup>1</sup>

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПО АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ\*

Представлены результаты исследований структуры, фазового состава и механических свойств образцов керамики на основе оксида алюминия, полученных с применением аддитивной технологии. Приведено описание методики получения образцов и специфики оригинального оборудования. Показано, что при формировании структуры керамики с применением аддитивных технологий происходит формирование нескольких видов пор и границ поверхностей между слоями. Установлено, что для образцов, полученных при разных стратегиях печати, характерны разные значения механических характеристик, обусловленных анизотропией свойств.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, керамика, структура, свойства.

### Введение

Исследование, разработка и изготовление современной керамики для высокотехнологичных применений, таких, как автомобиле- и авиастроение, оборона, энергетика, водоочистка и биомедицина, являются важными научно-техническими задачами. Примеры существующих и потенциально возможных применений современной керамики описаны в литературе [1]. Многие промышленные применения современных керамических материалов зависят от технологической доступности изготовления трехмерных (3D) керамических изделий, имеющих необходимую геометрию [2, 3]. Это приводит к актуальности применения аддитивных технологий для получения сложно-профильных изделий из керамики.

Тем не менее для аддитивных технологий характерно присутствие ряда особенностей, связанных именно с методикой получения материала. Послойное выращивание приводит к формированию анизотропии свойств образцов, полученных с применением аддитивных технологий [4–6]. Для металлических материалов, получаемых с использованием лазерных аддитивных технологий, установлено, что анизотропия в микроструктуре, пористости и механическом поведении возникает также вследствие уникальной термической истории материала, формирующейся во время обработки [7, 8]. Для керамических материалов применяются многостадийные процессы (также называемые «непрямыми» процессами), в ходе которых детали изготавливаются за две или более операции. Первая стадия (3D-печать), как правило, обеспечивает основные геометрические формы, а следующая операция (спекание) задает изделию основные свойства материала [9–12]. Большинство аддитивных технологий для создания керамики являются многостадийными (непрямыми) процессами. В связи с этим нет необходимости учитывать внутренние напряжения, как для металлов. Однако структурные особенности материалов (поры, границы раздела), наследуемые в результате их получения неизбежно отражаются на механических свойствах. Для керамических материалов практически отсутствуют работы в этом направлении.

При этом понимание анизотропии в аддитивном производстве может привести к уточненным параметрам процесса, новым методам определения характеристик и более детальному пониманию механизмов деформации и разрушения таких материалов. Эти данные крайне важны для построения адекватных прогнозных компьютерных моделей.

В работе поставлена задача – изучить особенности структурно-фазового состояния образцов керамики на основе оксида алюминия, полученных с применением аддитивных технологий, и дать оценку влияния структурной анизотропии материалов на параметры их механического поведения.

\* Работы выполнены за счет средств РНФ (проект № 18-79-00153).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>