

## АДДИТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КЕРАМИКИ

Н. А. Шульц, Н. В. Грунт

Научный руководитель: н. сотр, к. т. н. В. В. Промахов

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: [schulznikita97@gmail.com](mailto:schulznikita97@gmail.com)

## ADDITIVE TECHNOLOGY OF OBTAINING PRODUCTS FROM CERAMICS

N. A. Schulz, N. V. Grunt

Scientific Supervisor: V. V. Promakhov

National research Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: [schulznikita97@gmail.com](mailto:schulznikita97@gmail.com)

***Abstract:** Created an original design of the device, which lets you create samples of thermoplastic ceramic slurry, which after sintering, are obtained ceramics with high strength and hardness parameters.*

**Введение.** В настоящее время в связи с достижениями в области цифровых технологий и оборудования мировая инженерная наука претерпевает революционное развитие аддитивных технологий создания деталей и элементов конструкций [1-3]. Основное отличие аддитивных технологий от традиционных методов получения изделий заключается в том, что модель (деталь или изделие) создается наращиванием тела изделия при точном объемном (3D) воспроизведении формы независимо от сложности ее поверхностей [4-6]. Аддитивные технологии становятся мощным средством сокращения времени технологической подготовки производства, изготовления и повышения качества создаваемых объектов при переходе к производству новых изделий в авиастроении, машино- и приборостроении [7].

**Материалы и методы получения аддитивных керамических структур.** Для объёмной печати сложнопрофильных изделий из керамики была разработана оригинальная конструкция принтера (рисунок 1) и экструдера (рисунок 1, элементы 7-9), обеспечивающего экструзию термопластичных керамических суспензий через сменную фильеру. В качестве материала использовали термопластичную суспензию, предварительно нагретую до температуры в диапазоне (70÷90)°С, подачу нагретой термопластичной суспензии через сопло осуществляли под давлением.

В качестве термопластичной суспензии использовали смесь тугоплавких порошков оксида алюминия с термопластичной связкой – парафин и/или церезин и воск. С учетом анализа данных литературных источников и экспериментальных исследований был выбран диапазона рабочей температуры экструдера в области (70÷90)°С. Выбор диапазона рабочей температуры обусловлен результатами анализа зависимости вязкости от температуры для разных термопластичных суспензий [8].

На рисунке 1 представлено схематическое изображение разработанной конструкции (3D принтера). Устройство состоит из электронного управляющего блока с установленным программным обеспечением – 10, который контролирует перемещение платформы 7 и работу редуктора 2 для регулировки давления в системе подачи воздуха из компрессора 1. Таким образом, редуктор 2 и задвижка 8 обеспечивают контроль давления в системе подачи термопластичной суспензии по тракту

трубопровода. Герметичная ёмкость 3, предназначенная для разогрева термопластичной суспензии до заданной температуры, снабжена манометром для контроля давления, нагревательными элементами и мешалкой, которая приводится в движение электродвигателем 4. Перемешивание расплавленной в емкости 3 термопластичной суспензии необходимо во избежание расслоения.

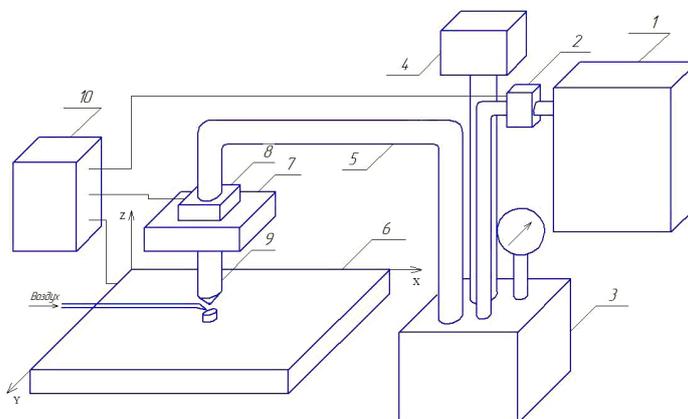


Рис. 1. Схема разработанного 3D принтера для печати керамики

С целью удаления связующих компонент, полученную после печати, заготовку отжигали в воздушной печи при температуре  $1100^{\circ}\text{C}$ . После этого проводили высокотемпературное ( $t=1700^{\circ}\text{C}$ ) спекание образцов. Исследования структуры полученных образцов керамики проводили с использованием растрового электронного микроскопа PHILIPS SEM 515.

**Результаты и их обсуждение.** Установлено, что после высокотемпературного спекания образцов толщина слоя составила порядка 400 мкм что соответствовало заданной высоте слоя при перемещении экструдера. Исследования структурных особенностей полученных образцов показали, что на свободных поверхностях наблюдались отдельные агломераты спеченных частиц (рисунок 2 а), которые, по-видимому, сформировались за счет адгезии порошка оксида алюминия, в котором проводили технологическую операцию предварительного отжига с целью удаления термопластичной связки.. Установлено, что средний размер зерна  $\text{Al}_2\text{O}_3$  составил 3 мкм. При этом максимальный размер зерна не превышал 8 мкм, рисунок 2 б. Исследования элементного состава поверхности образцов, проведенные с использованием энерго-дисперсионного анализа, показали, что материал состоит из оксида алюминия без посторонних примесей. Это свидетельствует о полном удалении термопластичной связки после спекания.

Исследования механических свойств аддитивных керамических структур на основе оксида алюминия показали, что среднее значение предела прочности образцов при испытаниях на трехточечный изгиб составило 270 МПа. Среднее значение микротвердости по Виккерсу составило 22 ГПа, при этом значение модуля упругости составило около 300 ГПа. Данные параметры не уступают прочностным свойствам образцов, полученным по классической технологии литья под давлением [8].

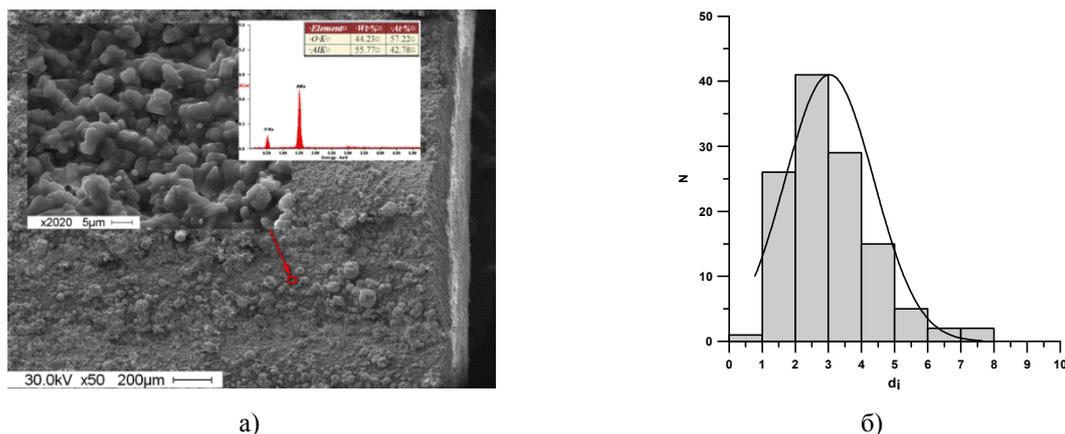


Рис. 2. а) изображение аддитивной структуры керамики б) распределение зерен оксида алюминия по размерам

**Закключение.** Таким образом, показана возможность получения аддитивных керамических структур из термопластичных суспензий с контролируемыми реологическими свойствами. Установлено, что после спекания полученных аддитивных керамических структур высота слоя составила около 400 мкм, средний размер зерна оксида алюминия не превышал 3-4 мкм. Результаты работы свидетельствуют о том, что внутренняя структура керамики представляет собой монолитный керамический каркас без различимых границ между горизонтальными и вертикальными (стенками) слоями материала в образцах. Значения прочности и твердости аддитивных керамических структур не уступают параметрам образцов, полученным по традиционной технологии литья под давлением.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента МК - 2424.2017.8 договор № 14.Y30.17.2424-МК.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. Will, R. Malcher, C. Treul, N. Travitzky, U. Kneser, E. Polykanriotis, R. Horch, P. Greil Porous ceramic bone scaffolds for vascularized bone tissue regeneration // Journal of Materials Science: Materials in Medicine, 2008, 19(8), 2781-2790.
2. U. Kaufmann, U. Harrysson, P. Johander, W. Bauer Free form fabrication of 3D-ceramic parts with inkjet-printing // Industrial ceramics, 2008, 28(1), 45-51.
3. Кингери У.Д. Введение в керамику – М.: Металлургия. 1967. – 495 с.
4. Seung K.L., Moretti J.D., Readey M.J. Thermal shock resistance of silicon nitride using an indentation quench test // J. Am. Ceram. Soc. 2002. V. 85. №1. P. 279 – 281.
5. Robertson G.T. Engineering applications of transformation-toughened magnesia partially stabilized zirconia // Brit. Cerm. Proc., 1990. № 46. P. 151 – 156.
6. Evans A.G. Perspectives on the development of high-toughness ceramics // J. Amer. Ceram. Cos., 1990. Vol. 73. N2. P. 187 – 206.
7. Andrew A. Buchheit, Greg E. Hilmas, William G. Fahrenholtz, and Douglas M. Deason Thermal Shock Resistance of an AlN-BN-SiC Ceramic // J. Amer. Ceram. Soc. 2009. V. 92 [6]. P. 1358-1361.
8. Добровольский А.Г. Шликерное литье – М.: Металлургия, 1977. – 240 с.