

что придает таким материалам противомикробные свойства.

Иммобилизация кластерных комплексов на натуральных или синтетических тканях также приводит к формированию самостерилизующихся тканей, способных бороться с бактериями, грибами и вирусами при их контакте.

Включение таких фотоактивных кластерных комплексов в наноразмерные частицы, такие как SiO_2 или полиуретаны, открывает возможность их исследования в иной области. Такие наноразмерные объекты, способные продуцировать синглетный кислород могут стать новым классом фотосенсибилизаторов для фотодинамической терапии онкозаболеваний. Исследования их темновой и фотоиндуцированной цитотоксичностей показали их высокий потенциал в данной области.

С другой стороны, наличие тяжелых элементов таких как металлы и галогены (Br, I) или халькогены (Se, Te) в составе кластерных комплексов позволяет создать на их основе новый класс рентгеноконтрастных препаратов

для ангиографии и компьютерной томографии. К примеру, было показано, некоторые кластерные комплексы с фосфиновыми лигандами (трис-(2-карбоксиэтил)-фосфин и его производные) обладают высокой электронной плотностью и, как следствие, высокой рентгеновской контрастностью, низкой цитотоксичностью, и низкой острой токсичностью для мелких лабораторных животных (мыши, крысы). Контрастные среды на основе таких кластерных комплексов были применены для контрастирования внутренних органов лабораторных крыс.

Таким образом, кластерные комплексы $[\{M_6X_8\}L_6]^n$ являются чрезвычайно интересными и разносторонними объектами, обладающими набором свойств, которые позволяют рассматривать их как потенциальные агенты для разработки препаратов для биологии и медицины.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 19-73-20109.

СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ СМОЛ ДЛЯ ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ ВК 94-1

Е. А. Шпанич

Научный руководитель – к.т.н., м.н.с. Ш. М. Шарафеев

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

eas95@tpu.ru

Перспективным направлением в технологии керамики является формирование изделий путём 3D печати фотополимерными связующими с последующим обжигом и спеканием [1]. Данный метод позволяет достичь более высокой геометрической сложности форм изделий по сравнению с традиционными методами формования, а также избежать затрат, связанных с изготовлением дорогостоящей формовочной оснастки и механообработкой изделий после обжига. Преимущества данного метода особенно актуальны в технологии корундовой керамики, широко используемой при изготовлении диэлектриков для микроэлектроники. Недостатком метода являются сложность получения устойчивых суспензий с заданными свойствами и подбора оптимальных параметров 3D печати.

Цель работы заключается в исследовании реологических свойств суспензий на основе фотополимерной смолы с корундовым наполнителем и подбор оптимальных параметров их 3D печати.

В качестве наполнителя использован молотый спек корундовой керамики ВК 94-1 (94 мас. % Al_2O_3 , 2,76 мас. % SiO_2 , 0,49 мас. % Cr_2O_3 и 2,35 мас. % MnO) с плотностью 3,75 г/см³ и удельной поверхностью 4700 см²/г, в качестве связующего – фотополимерная смола AnyCubic WaterWash Resin+ с пикнометрической плотностью 1,10 г/см³, отверждаемая в диапазоне длин волн от 365 до 405 нм. Выбор данной смолы обусловлен её растворимостью в воде, что облегчает процесс удаления остатков смолы с изделий после печати.

Смешение смолы с наполнителем в количестве от 10 до 50 об. % проводилось с помощью мешалки ES-8400. Определение реологических характеристик фотополимерной смолы и суспензий на её основе производилось на ротационном вискозиметре RVDV-II+ Pro. Обработка экспериментальных данных производилась согласно уравнению (1) степенной модели.

$$\tau = K\gamma^n, \quad (1)$$

где τ – напряжение сдвига, Па; K – коэффициент консистенции, Па·сⁿ; γ – скорость сдвига, с⁻¹; n – индекс поведения потока.

Индекс поведения потока указывает на ньютоновский ($n = 1$), дилатантный ($n > 1$) или псевдопластичный ($n < 1$) характер течения, а коэффициент консистенции характеризует вязкость жидкости.

По характеру течения чистая фотополимерная смола является псевдопластичной жидкостью ($n = 0,96$), при введении наполнителя характер течения суспензии становится слабодилатантным ($n = 1,03 \div 1,13$) и усиливается при увеличении концентрации наполнителя, что может вызвать затруднения при печати. При увеличении содержания наполнителя с 10 до 50 об. % также наблюдается экспоненциальный рост значения K с 0,1 до 9,8 Па·сⁿ.

Для 3D печати изделий методом DLP использовался 3D принтер Anycubic Photon D2. Напечатанные образцы представляли собой кубы (10×10×10 мм) и цилиндры (10×10 мм). Для печати были выбраны чистая фотополимерная смола (в качестве эталона) и суспензия с содержанием наполнителя 20 об. %, поскольку

при более высокой его концентрации суспензия седиментационно неустойчива, что требует подбора специальных поверхностно-активных веществ, обеспечивающих лучшую адгезию компонентов.

Для отверждения первых слоев изделий достаточно минимального времени засветки 30 с. Необходимое время засветки основных слоев для полного отверждения образцов при печати суспензией составило 6 с, что вдвое больше времени засветки в случае чистой смолы. Средний размер образцов-кубов на основе чистой смолы после печати составил 9,98×9,98×9,87 мм, на основе суспензии – 10,04×10,06×11,69 мм, а при увеличении времени засветки нижних слоев до 50 с – 10,40×10,34×12,27 мм. Наибольшее отклонение от заданных размеров наблюдается в направлении оси, перпендикулярной плоскости печати, что связано с оседанием наиболее крупных частиц керамического порошка.

Предел прочности при сжатии образцов на основе суспензии при минимальном времени засветки нижнего слоя составил 112±17 МПа, при максимальном – 123±16 МПа, что практически не отличается от прочности образцов на основе чистой смолы (119±6 МПа).

Запланированное продолжение исследований в данном направлении включает в себя изучение влияния дисперсности наполнителя на свойства композиций на основе фотополимерных смол; повышение седиментационной устойчивости суспензий для печати за счет введения поверхностно-активных веществ и применения ультразвуковой обработки суспензий.

Список литературы

1. Hussain M.I. // *Int. J. Adv. Man. Tech.* – 2023. – V. 130. – P. 2241–2267.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИНКФОСФАТНОГО СВЯЗУЮЩЕГО В ВАРИСТОРНОЙ КЕРАМИКЕ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦИНКА

Н. С. Шургая

Научный руководитель – к.т.н., доцент Д. И. Вершинин

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева»

shurgaya.nikita@yandex.ru

Варисторы используются в приборах и устройствах для защиты от импульсных напряжений за счет образования барьера Шоттки. При этом их электрофизические свойства ре-

гулируются за счет введения оксидов-модификаторов, которые образуют твердые растворы либо вторичные фазы по границам кристаллов ZnO [1, 2]. Представляет интерес возможность