**Применение метода конечных элементов для прогнозирования свойств УФ-отверждаемых полимерных композитов на основе смол для 3D печати**

***Юдин А.В.1, Чебаненко В.А.2***

*Младший научный сотрудник1, старший научный сотрудник2*

*Южный научный центр Российской академии наук, лаборатория прикладного научного приборостроения, Ростов-на-Дону, Россия1*

*Южный научный центр Российской академии наук, лаборатория транспорта, композиционных материалов и конструкций, Ростов-на-Дону, Россия2*

*E-mail:* [*andryudin1997@gmail.com*](mailto:andryudin1997@gmail.com)

Методы аддитивного формования полимеров (3D печать) находят все больше практических применений в современной науке и технике. В частности, технология фотополимеризации в ванне, основанная на послойном отверждении УФ-чувствительных жидких смол, позволяет добиться высокой точности геометрии и структурной однородности формируемых изделий [1]. Одним из перспективных направлений ее дальнейшего усовершенствования является разработка и практическое внедрение композитных составов, содержащих функциональные добавки, в значительной степени изменяющие эксплуатационные свойства основы. Таковыми могут считаться порошки керамик, например Al2O3 [2], BaTio3 [3] и системы ЦТС [4], которые широко используются в электронике в качестве материалов для пассивных и активных компонентов систем. Получаемые при этом композиты способны, при сохранении необходимых параметров технологичности, обладать повышенными эксплуатационными свойствами, такими как теплопроводность, диэлектрическая стойкость, или приобретать новые качества, например, пьезоэлектрический эффект [5].

С целью экономии материальных и временных затрат на исследование свойств разрабатываемых композитов может быть использован метод конечных элементов. Так, в рамках описываемого исследования в среде программного пакета COMSOL проводится разработка модели, предназначенной для описания комплекса эффективных свойств двухкомпонентных составов на основе УФ-отверждаемых смол с добавками керамики в широком диапазоне концентраций. Для численной реализации подхода используется концепция представительного объема, позволяющая рассматривать небольшую типовую структуру с целью дальнейшей экстраполяции данных на весь материал. При этом допускается, что отверженный композит представляет собой периодическую решетку, состоящую из кубических ячеек, в центре которых расположены керамические сферы. Диаметр последних принимается равным среднему размеру частиц в реальных образцах, а сторона куба варьируется в зависимости от объемной доли добавки в составе. Для определения эффективных свойств состава используется интегрирование по объему, что позволяет нивелировать эффект разницы геометрических размеров моделей для разных концентраций.

Рассмотренная схема корректно работает в диапазоне долей добавки от 0 до 52 об. %. С ее помощью получены концентрационные зависимости теплопроводности и статической диэлектрической проницаемости композитов на основе акриловых смол с добавками α-оксида алюминия, которые на данный момент проходят экспериментальную верификацию. В дальнейшем планируется расширить функционал модели для численной имитации метода температурной и частотной диэлектрической спектроскопии полимерных композитов, для чего собираются эмпирические данные о комбинируемых материалах.

**Литература**

1. Maines E. M. et al. Sustainable advances in SLA/DLP 3D printing materials and processes //Green Chemistry. – 2021. – Т. 23. – №. 18. – С. 6863-6897.
2. Xu X. et al. Study of alumina ceramic parts fabricated via DLP stereolithography using powders with different sizes and morphologies //International Journal of Applied Ceramic Technology. – 2023. – Т. 20. – №. 2. – С. 1167-1193.
3. Sotov A. et al. LCD-SLA 3D printing of BaTiO3 piezoelectric ceramics //Ceramics International. – 2021. – Т. 47. – №. 21. – С. 30358-30366.
4. Mitkus R. et al. Investigation and attempt to 3D print piezoelectric 0-3 composites made of photopolymer resins and PZT //Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems. – American Society of Mechanical Engineers, 2020. – Т. 84027. – С. V001T04A017.
5. Юдин А. В. и др. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМОЛ ДЛЯ DLP 3D ПЕЧАТИ С ДОБАВКАМИ ПОРОШКОВ AL2O3 И ЦТС-19 //Известия ЮФУ. Технические науки. – 2024. – №. 6.