

УДК 678.043.53

Исследование механических свойств кремнийорганического связующего, используемого в жидкоструйной технологии 3D-печати

Чаплина Екатерина Сергеевна

chaplina03@bk.ru

SPIN-код: 9525-1496

Макагонов Иван Александрович

makagonov.iv.a@bmstu.ru

SPIN-код: 1300-8082

Шакирова Альбина Рафаэлевна

shakirovaar@bmstu.ru

SPIN-код: 2291-3919

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Исследованы физико-механические свойства кремнийорганического связующего марки EpoxyPrint с помощью методов ИК-спектроскопии, ДСК, ТГА и реологических измерений вязкости исходных компонентов. Оптимизированы режимы отверждения материала при различных температурах, а также технологические параметры изготовления образцов методом жидкоструйной аддитивной печати. На основе отработанных режимов изготовлены образцы, для которых проведены механические испытания на растяжение, сжатие и изгиб.

Ключевые слова: кремнийорганическое связующее, полимеры, реактопласт, аддитивная печать, технология RDM

Investigation of Mechanical Properties of Organosilicon Binder Used in Liquid Jet 3D Printing Technology

Chaplina Ekaterina Sergeevna

chaplina03@bk.ru

SPIN-code: 9525-1496

Makagonov Ivan Alexanderovich

makagonov.iv.a@bmstu.ru

SPIN-code: 1300-8082

Shakirova Albina Rafaelefna

shakirovaar@bmstu.ru

SPIN-code: 2291-3919

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The physical and mechanical properties of the EpoxyPrint organosilicon binder are studied using IR spectroscopy, DSC, TGA, and rheological measurements of the viscosity of the initial components. The curing modes of the material at various temperatures are optimized, as well as the technological parameters for manufacturing samples using the liquid-jet additive printing method. Based on the optimized modes, samples are manufactured, and mechanical tests are conducted for tensile, compression, and bending.

Keywords: organosilicon binder, polymers, reactoplast, additive printing, RDM technology

Введение. Кремнийорганические полимеры характеризуются высокой стабильностью при повышенных температурах и в условиях воздействия агрессивных сред. Благодаря длительному успешному применению в различных областях эти материалы заняли ключевое место в современной биоинженерии и медицины [1–3]. Они служат основой для создания высокотехнологичных имплантатов, способных воспроизводить механические характеристики естественных тканей организма, такие как эластичность хрящей, прочность сухожилий и гибкость кровеносных сосудов [1].

Особую значимость данные полимеры имеют при протезировании анатомически сложных участков тела, например, ушных раковин, хрящей носа или челюстно-лицевых структур, где требуется высокая точность изготовления [2]. Широкое применение кремнийорганических материалов в медицине обусловлено их комплексом физико-химических свойств, включая биосовместимость, которая минимизирует риск отторжения имплантата, устойчивость к деградации в физиологических средах и технологичность, позволяющую формировать изделия сложной конфигурации.

Перспективным направлением является интеграция данных материалов в аддитивные технологии. Однако их использование, в частности, в жидкоструйной печати, сопряжено с рядом трудностей, таких как высокая вязкость компонентов, недостаточное качество поверхности и отсутствие термопластичности, что осложняет печать термореактивными полимерами [3].

Цель данной работы — оптимизация процесса изготовления изделий из кремнийорганических полимерных материалов методом жидкоструйной печати за счет отработки режимов отверждения.

Материалы и методы. Исследование посвящено комплексному анализу физико-механических и технологических свойств кремнийорганического связующего марки ЕрохуPrint, предназначенного для использования в аддитивных технологиях.

На первом этапе проведена характеристика свойств исходного материала. Химическая структура связующего подтверждена методом ИК-спектроскопии. Термическая стабильность, температура стеклования и поведение при нагреве изучены с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрического анализа (ТГА). Для оценки пригодности материала в жидкоструйной печати выполнены реологические исследования по измерению вязкости компонентов, также было измерено гелеобразование.

На втором этапе оптимизированы режимы получения готовых изделий. Подобраны температурно-временные параметры процесса отверждения (вулканизации) материала, определяющие его эксплуатационные свойства. Проведена калибровка технологических параметров жидкоструйной печати, включая скорость подачи материала, давление и температуру в печатающем узле, для обеспечения точности послойного формирования и стабильности геометрии объектов.

Результаты и обсуждение. С использованием отработанных оптимальных режимов изготовлена серия опытных образцов. Для полученных образ-

цов определены ключевые прочностные характеристики путем механических испытаний на растяжение, сжатие и статический изгиб. Результаты испытаний демонстрируют влияние выбранных технологических параметров на реализацию потенциала материала ЕрохуPrint.

Заключение. В ходе работы реализован полный цикл исследований — от изучения свойств сырья до испытания готовых изделий. Полученные результаты подтверждают принципиальную возможность применения кремнийорганического связующего ЕрохуPrint в технологии жидкоструйной 3D-печати и устанавливают рациональные условия его переработки.

Работа выполнена в рамках программы государственной поддержки центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций (Центр НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества» при МГТУ им. Н.Э. Баумана).

Список источников

- [1] Bakanov K.K., Ardabevskaia S.N., Bezlepina Ks.A. et al. PDMS-based copolymers with polyurea blocks and 1,2,3-triazole blocks obtained by CuAAC polymerization for 3D printing. *Reactive and Functional Polymers*, 2024, vol. 202, art. no. 106005. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2024.106005>
- [2] Bezlepina K.A., Milenin S.A., Muzafarov A.M. Azide-alkyne cycloaddition for polydimethylsiloxane chemistry. *Polymer Chemistry*, 2024, vol. 15, pp. 4917–4946. <https://doi.org/10.1039/D4PY01052C>
- [3] Vasilyeva A.A., Ryzhkov A.I., Cherkaev G.V., Drozdov F.V., Muzafarov A.M. Silicone films with azo dyes moieties based on eugenol with response to Cu²⁺ metal ions. *Materials Chemistry and Physics*, 2024, vol. 318, art. no. 129248. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2024.129248>