

УДК 620.22:621.79.01:678:615.473.92

**П.В. Ключко**

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы  
Гродно, Беларусь

## **КОМПОЗИЦИОННЫЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Аннотация.* Рассмотрены направления создания композиционных функциональных материалов на основе термопластичных полимеров для изготовления изделий специального назначения современными технологиями, включая технологию 3D-прототипирования.

**P.V. Klochko**

Yanka Kupala State University of Grodno  
Grodno, Belarus

## **COMPOSITE THERMOPLASTIC MATERIALS FOR THE MANUFACTURE OF SPECIAL PURPOSE PRODUCTS**

*Abstract.* The directions for creating composite functional materials based on thermoplastic polymers for the manufacture of special-purpose products using modern technologies, including 3D prototyping technology, are considered.

Практическая реализация инновационной стратегии функционирования экономических систем различного уровня предполагает расширение номенклатуры отечественных композиционных полимерных материалов для изготовления элементов конструкций различного функционального назначения. Особое место в полимерных и металлополимерных конструкциях занимают изделия специального назначения, используемые в технологиях лечения, обеспечения жизнедеятельности в экстремальных ситуациях и при проведении специальных действий. Для изготовления используют композиционные материалы, обладающие особым комплексом характеристик, удовлетворяющим специфическим эксплуатационным требованиям, и высокой технологичностью к переработке на современном оборудовании [1–3].

В последние десятилетия интенсивно развиваются технологии изготовления функциональных изделий методом 3D-прототипирования, которые предполагают использование для их реализации материалов с особыми параметрами характеристик, обеспечивающими необходимые эксплуатационные параметры в

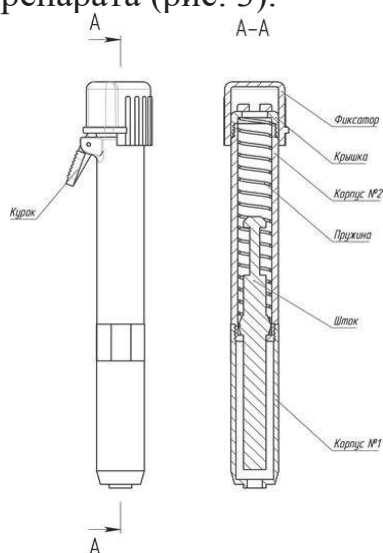
условиях специального применения. Перспективным направлением создания таких материалов является реализация концепта многоуровневого модифицирования промышленных полимеров, предложенного в работах сотрудников ГрГУ им. Янки Купалы и реализованного в машиностроительных конструкциях – карданных валах, автомобильных амортизаторах и др. Расширение композиционных материалов на основе отечественных термопластов, разработанных на базе этого концепта, позволит в значительной степени обеспечить импортозамещение и будет способствовать инновационному развитию хозяйственного комплекса.

В номенклатуре изделий специального назначения особое место занимают инжекторы для ввода функциональных компонентов в экстремальных условиях. Для обоснованного выбора полимерных материалов для изготовления конструкции инжектора были проведены модельные исследования, которые позволили оптимизировать конструкционное решение (рис. 1) и технологию изготовления элементов современными способами – литьем под давлением и 3D-прототипированием. Конструктивное исполнение инжектора предполагает наличие корпуса, штока, фиксатора, размещенных в определенной последовательности. Наличие пружины позволяет с помощью штока вводить содержимое ампулы со специальным препаратом в необходимых условиях применения. Для изготовления элементов инжектора методом литья под давлением были осуществлены модельные исследования по оценке параметров крышки корпуса с целью их оптимизации (рис. 2). Это позволило установить оптимальные размерные параметры элементов и реологические характеристики расплава, необходимые для переработки методом литья под давлением.

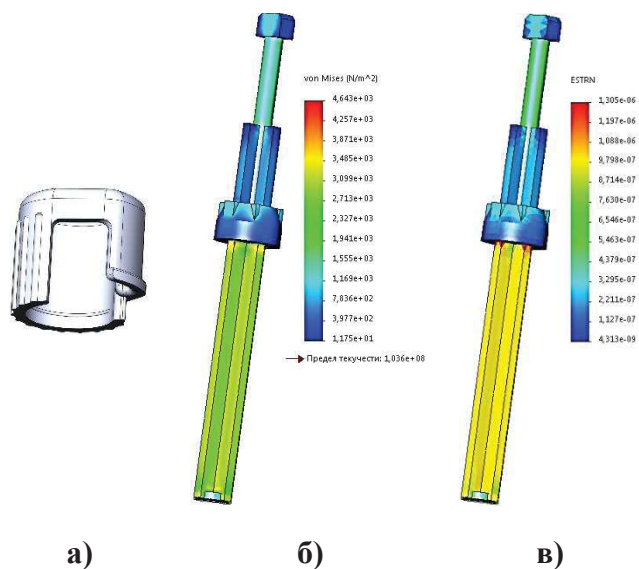
Модельные эксперименты по оптимизации элементов конструкции инжектора, проведенные с использованием интегрированных САМ/САЕ-модулей конечно-элементного анализа в программной САД-среде SolidWorks 2022 – Plastics и Simulation, позволили разработать конструкцию, соответствующую техническим требованиям специального применения и обосновать технологические режимы изготовления элементов высокопроизводительными технологиями с использованием композиционных материалов на основе термопластов с заданными параметрами реологических характеристик.

Проведены модельные исследования конструкции насадки для гидровакуумаспирации при изготовлении ее с помощью технологий литья под давлением и 3D-прототипирования. Разработана конструкция

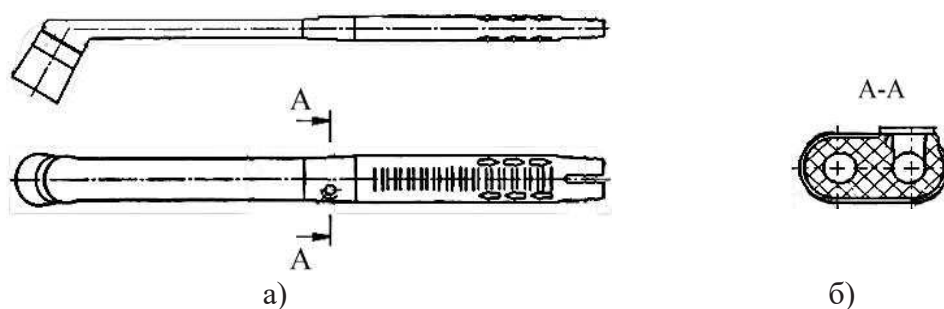
насадки, позволяющая изготавливать конструктивные элементы насадки методом литья под давлением, особенностью которой является наличие двух элементов, соединенных уплотнительным элементом, и канала для ручного управления потоком лекарственного препарата (рис. 3).



**Рис. 1 - Разработанная конструкция иньектора для введения функциональных компонентов в экстремальных условиях**



**Рис. 2 - Модель фиксатора (а) и результаты анализа напряженно-деформированного состояния модели штока при оценке напряжений по Von Mises (б) и деформаций (в)**



а) – общий вид; б) – сечение

**Рис. 3 - Конструктивное исполнение насадки для гидровакуумаспирации**

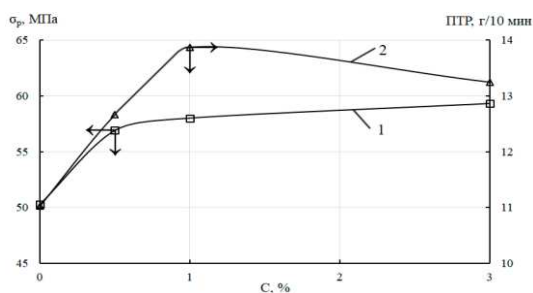
Для обеспечения технологии изготовления насадок методом литья под давлением или 3D-прототипирования необходима разработка композиционного материала с заданными реологическими параметрами или определенным уровнем взаимодействия на границе раздела фрагментов, образующихся при укладке филаментов в вязко-текучем состоянии.

Для разработки составов композиционных материалов для изготовления элементов инжектора и насадки для гидровакуумаспирации лакун небных миндалин использовали термопластичные материалы отечественного производства, обладающие необходимыми параметрами деформационно-прочностных и технологических характеристик (полиамиды, полиолефины).

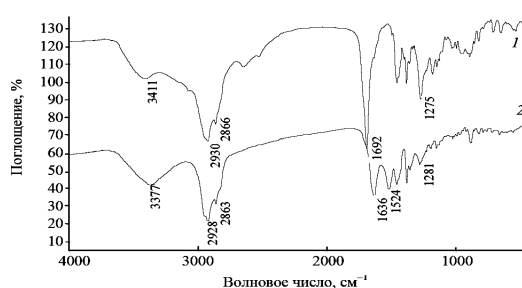
Для модифицирования базовых связующих применяли компоненты с различным механизмом действия – полиамидную смолу на основе талловой канифоли (ПС) и компоненты, относящиеся к наноразмерным (органоглина) (ОГ).

Близкое молекулярное строение ПС и промышленных полиамидов (ПА6, ПА6.6) обеспечивают совместимость матрицы и модификатора при изменении комплекса параметров характеристик (рис. 4). Модифицированные композиты на основе ПА6 обладают более высокими параметрами прочностных и реологических характеристик (рис. 4). Очевидно, эффект обусловлен действием ПС как высокомолекулярного пластификатора, который способствует формированию равновесной структуры и снижению вязкости расплава вследствие особенностей структуры ПС.

Как следует из работ Флейшера В. Л., Черной Н. В., Андрюховой М.В., полиамидная смола на основе талловой канифоли (ПС) характеризуется наличием функциональных групп — NH — CO —, которые вступают в адсорбционное взаимодействие, образуя продукт термически устойчивый до 503 К (рис. 5). Наличие слоя из этой смолы на поверхности гранул промышленного полиамида (ПА6.6) обеспечивает распределение наноразмерных частиц в объеме композита.



**Рис. 4 - Зависимость прочности при растяжении (1) и показателя ПТР (2) полиамида 6 от содержания ПС**



**Рис. 5 - ИК-спектр полиамидной смолы (ПС) исходной (1) и термообработанной при температуре 573 К в течение 0,5 ч (2)**

Технология 3D-прототипирования является одной из технологий для изготовления конструкционных элементов со сложной

геометрической формой, предназначенных для обеспечения функционирования различных устройств, в том числе специального применения.

Для разработки составов филаментов использовали композиционные материалы на основе промышленных термопластов класса алифатических полиамидов, полиэфиров (ПЭ) и полиолефинов: 1) ПА6.6 + ПА6(10 мас. %) + ПА12 (5 мас. %) + Irganox 1010 (1 мас. %); 2) ПА6 + ПЭТФ (10 мас. %) + Irganox 1010 (1 мас. %); 3) ПА6 + ПЭВД (10 мас. %) + Irganox 1010 (1 мас. %). Получение модельных образцов осуществляли на двухшнековом экструдере Rondol. Реологические характеристики расплавов композиционных материалов находятся в пределах значений ПТР от 12,4 до 15,8 г/10 мин, что позволяет применять метод послойного наплавления филаментов. При введении в состав высокоплавкого полиамида ПА6.6 более низкоплавких полиамидов ПА6, ПА12 удается получить структуру без выраженного разделения компонентов.

Проведенные исследования позволили разработать составы композиционных материалов на основе полимеров отечественного производства для изготовления изделий специального назначения методом литья под давлением и методом 3D-прототипирования.

### **Список использованных источников**

1. The nanostate factor in the technology of polymer nanocomposites / S. Avdeychik, V. Goldade, A. Antonov, V. Struk, P. Klochko // *Machines. Technologies. Materials.* – 2021. – Year XV, Iss. 7. – P. 275–278.
2. Nanocomposite materials based on thermoplastics and layered organosilicates for medical devices / P. Klochko, D. Nakhvat, Wan Xuemin, A. Antonov, V. Struk // *Theoretical & Applied Science.* – 2022. – Iss. 10. – Vol. 114. – P. 138–144.
3. Ключко, П. В. Композиционные материалы для изготовления функциональных конструкций / П. В. Ключко, С. Вань, А. Н. Лесун // *Актуальные вопросы физики и техники : материалы X Республ. науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 22 апр. 2021 г. : в 2 ч. Ч. 1 / М-во образования Республики Беларусь, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины; редкол. : Д.Л. Коваленко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2021. – С. 104–107.*