

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Хакуловой Дианы Мухамедовны

«Разработка композиционных материалов на основе полифениленсульфона для 3D-печати», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 02.00.06-высокомолекулярные соединения

Создание функциональных композиционных материалов с комплексом ценных свойств является перспективным и актуальным направлением исследований, что обусловлено возрастающей потребностью различных отраслей промышленности в новых материалах. Несомненно, это перспективно и для развития высоких технологий, таких как 3D-печать.

Увеличивающаяся доля мирового потребления полифениленсульфона в авиакосмической отрасли, электронике, автомобилестроении, медицине свидетельствует об усилении интереса ученых и технологов к разработке новых прогрессивных материалов на основе этого конструкционного полимера.

Среди множества полимерных материалов для 3D печати именно композитные материалы на основе высокотемпературных термопластичных матриц представляют наибольший интерес. Однако в литературе мало данных о способах получения таких материалов, о свойствах, определяющих возможность их применения в новых методах переработки.

В этой связи диссертационная работа Хакуловой Дианы Мухамедовны, посвященная разработке композиционного материала на основе полифениленсульфона для 3D-печати **является весьма актуальной** как с теоретической, так и с практической точки зрения.

Несомненным доказательством актуальности проведенных исследований служит и то, что они проведены в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 28 ноября 2013 г. №1096 (соглашение № 14.577.21.0278).

Диссертация имеет традиционное построение и изложена на 121 странице машинописного текста, содержит 51 рисунок и 20 таблиц, которые дают

полную информацию об анализируемом материале. Список цитируемой литературы включает 194 наименования.

Во введении отражена актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость результатов, полученных в диссертации.

В главе первой «Литературный обзор» представлен обзор современных литературных данных в области исследований, демонстрирующих результаты исследований способов получения и модификации полифениленсульфона. Рассматриваются полимерные материалы для 3D-печати, обобщен основной круг проблем, связанный с использованием аддитивных технологий при получении изделий из полимерных материалов. В выводах к литературному обзору обоснованы задачи диссертационного исследования.

Глава вторая «Экспериментальная часть» содержит основные характеристики объектов исследования. Приведены методы исследования физико-химических свойств полученных соединений (ИК-спектроскопия, растровая электронная микроскопия (РЭМ), термогравиметрический анализ (ТГА), дифференциально-сканирующий анализ (ДСК)), исследование механических свойств, 3D-печать. Рассмотрение данной главы показывает, серьезное отношение автора к экспериментальной части работы, а привлечение для исследования полимерных композитов современных и информативных методов исследования является убедительным фактом свидетельства достоверности полученных результатов.

В третьей главе, содержащей 6 разделов, представлены основные результаты собственных исследований.

В разделе 3.1 автором изложены результаты исследования влияния различных наполнителей на свойства полифениленсульфона. Подробно рассмотрено влияние различных добавок на свойства полифениленсульфона, установлено, что наиболее оптимальными физико-механическими характеристиками обладают композиционные материалы на основе полифениленсульфона с тальком и с углеродными волокнами. Следует отметить, что термостойкость полученных композитов изучена достаточно подробно, что, несомненно, важно для дальнейшей переработки и эксплуатации материала. Здесь автор констатирует о необходимости повышения ударной

вязкости композитов и логично переходит к решению этой задачи в следующем разделе.

В разделе 3.2 проведено исследование влияния различных модификаторов ударной вязкости. Проведенные исследования показали несовместимость ударопрочного полистирола и акрилонитрилбутадиенстирола с термопластичной матрицей полифениленсульфона. При этом эффективным модификатором ударной вязкости служит поликарбонат, позволяющий получить одновременно жесткий и ударопрочный материал для 3D-печати.

Полученные результаты позволили установить особенности смешения компонентов при получении композитов смешением в расплаве, что, нашло отражение в свойствах получаемых полимерных композитных материалов.

Таким образом, автор не ограничился полученными результатами, полученными при классическом способе получения композитов, а исследовал также возможность получения концентратов и их влияние на свойства конечного материала. Итогом проведенных исследований явилось получение полимерных композитов, отличающихся повышенными физико-механическими характеристиками и ударной вязкостью.

В разделе 3.4 подробно изучены физико-механические и термические свойства трехкомпонентных систем, с использованием углеродного волокна аналогично с тальком, автор приводит доказательства того, что поликарбонат в системе ПФСн/УВ/ПК теряет модифицирующую способность, объясняя это тем, что ПК, в отличие от традиционно используемых для этих целей эластомеров, является жесткоцепным полимером с высокой температурой стеклования. В связи с этим даже незначительные количества наполнителя, попадающие в фазу ПК, приводят к потере его пластичности и лишению возможности модификации ПФСн.

В разделе 3.5 автором приведены исследования по 3D-печати изделий из разработанных композитов на основе полифениленсульфона, в том числе крупногабаритных, что, несомненно, ценно с практической точки зрения. Следует отметить, что, несмотря на содержание наполнителей, предложенные композиции хорошо перерабатываются, что подтверждают проведенные автором исследования.

В разделе 3.6 изучена огнестойкость наиболее эффективных композитов на основе полифениленсульфона и талька.

Выявленные в работе закономерности открывают возможность целенаправленного получения композитов на основе высокотемпературных аморфных термопластичных матриц с направленно регулируемыми свойствами и являются базой для дальнейшего развития материаловедения и практики применения высокотермостойких термопластов в аддитивных технологиях.

Таким образом **научной** новизной работы является разработанный оригинальный подход к получению композиционного материала на основе полифениленсульфона с высокими физико-механическими свойствами, основанный на особенности распределения наполнителя в бинарной системе полифениленсульфон-поликарбонат.

Практическая значимость работы заключается в разработке высокоэффективных композитных полифениленсульфонов, перспективных для авиа-, автомобилестроения, машиностроения, электротехники и других отраслей, не уступающих (а по ряду показателей - превосходящих) лучшие зарубежные аналоги. В ООО «Русская экструзионная компания» успешно проведены испытания разработанных композиций полифениленсульфонов для изготовления опытных партий филаментов и 3Д-печати крупнобаритных сложных тонкостенных изделий.

В заключении сформулированы основные итоги исследования. Достоверность полученных в работе результатов и сделанных выводов обеспечена использованием комплекса современных взаимодополняющих методов исследования с соответствующей обработкой экспериментальных данных.

Материалы работы докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях.

Автореферат диссертационной работы и опубликованные автором статьи полностью отражают содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа Хакуловой Д.М. характеризуется целостностью и завершенностью научного исследования. При этом полученные в работе

композиты обладают значительным потенциалом, что свидетельствует о перспективности продолжения исследований в данном направлении.

Вышесказанное, несомненно, можно отнести к достоинствам работы.

В качестве замечаний по работе следует отметить:

1) Показатель текучести расплава (ПТР) характеризует не реологические свойства композиции, а является технологическим параметром, который качественно коррелирует с вязкостью расплава материала только при низкой скорости сдвига $1,2 \text{ с}^{-1}$, соответствующей условиям определения ПТР. Вместе с тем процессы экструзии и литья под давлением происходят при скоростях сдвига $100 - 1000 \text{ с}^{-1}$. Поэтому необходимо изучить вязкоупругие свойства предлагаемых композиций на капиллярном вискозиметре в широком интервале скоростей сдвига.

2) Известно, что в процессе переработки волокнонаполненной композиции методами экструзии и литья под давлением происходит уменьшение начальной длины волокна и если частицы волокна имеют длину ниже критической, то матрица не будет способна передать нагрузку, достаточную для разрушения волокна, что снизит прочностные характеристики композитов. В этой связи необходимо было рассчитать критическую длину УВ, которая учитывает диаметр волокна, предел прочности волокна и предел текучести матрицы и оценить распределение длины УВ в композитах в зависимости от способа приготовления и условий переработки, т.е. определить процентное содержания волокон с длиной больше и меньше критической.

3) Интересно было бы рассмотреть и четвертый вариант приготовления композиции: (ПК/талък) + (ПФС/талък) на физико-механические и эксплуатационные свойства.

Сделанные замечания не снижают высокий уровень диссертационной работы и носят, отчасти, характер пожелания, которые автор может учесть в последующей работе.

Диссертация соответствует паспорту специальности 02.00.06 по пунктам 9 - «Целенаправленная разработка полимерных материалов с новыми функциями и интеллектуальных структур с их применением, обладающих характеристиками, определяющими области их использования в заинтересованных отраслях науки и техники» и 10 «Решение технологических и

экологических задач, связанных с первичной и вторичной переработкой полимерных материалов».

Диссертационная работа Хакуловой Дианы Мухамедовны представляет собой законченное научное исследование, содержащее решение важной задачи разработки рецептур и технологии получения композиционного материала на основе полифениленсульфона с высокими эксплуатационными свойствами, имеющее важное народно хозяйственное значение.

Считаю, что диссертационная работа по своему объему, научному уровню и конкретным практическим результатам отвечает требованиям п. 9 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, № 842, а ее автор, Хакулова Диана Мухамедовна, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 02.00.06 – высокомолекулярные соединения.

Официальный оппонент

Доктор технических наук, профессор

Заслуженный деятель наук РФ, РТ;

Лауреат Государственной премии РТ

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Заведующий кафедрой

«Химия и технология переработки эластомеров» _____ Вольфсон С.И.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Казанский национальный исследовательский

технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

420015, Российская Федерация, Республика Татарстан, Казань, ул.К.Маркса, 68

E-mail: svolfson@kstu.ru

Internet адрес: <http://www.kstu.ru>



Вольфсона С.И.

удостоверяется.

Заведующий кафедрой ФГБОУ ВО «КНИТУ»

О.А. Перелыгина

«02» 11 2018