

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Сенатова Фёдора Святославовича «Микроструктура и физико-механические свойства полимерных композиционных материалов с эффектом памяти формы T_m - и T_g -типа и биомиметических структур на их основе», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния» и состоявшейся в НИТУ МИСИС 13.09.2024.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 20.05.2024, протокол №20.

Диссертация выполнена в НИЦ Композиционных материалов, НОЦ Биомедицинской инженерии и на кафедре физической химии НИТУ МИСИС.

Научный консультант - Калошкин Сергей Дмитриевич, д.ф.-м.н. по специальности 01.04.07 – «Физика твердого тела», профессор, директор Института новых материалов НИТУ МИСИС.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол № 20 от 20.05.2024) в составе:

1. Прокошкин Сергей Дмитриевич, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник кафедры обработки металлов давлением НИТУ МИСИС - председатель комиссии;
2. Ховайло Владимир Васильевич, д.ф.-м.н., профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ МИСИС;
3. Панина Лариса Владимировна, д.ф.-м.н., профессор кафедры технологии материалов электроники НИТУ МИСИС;
4. Мухин Сергей Иванович, д.ф.-м.н., заведующий кафедрой теоретической физики и квантовых технологий НИТУ МИСИС;
5. Страумал Борис Борисович, д.ф.-м.н., директор обособленного структурного подразделения «Научный центр в Черноголовке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук»;
6. Панин Сергей Викторович, д.т.н., заведующий лабораторией полимерных композиционных материалов, Институт физики прочности и материаловедения СО РАН;
7. Межуев Ярослав Олегович, д.х.н., заведующий кафедрой биоматериалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

В качестве ведущей организации утверждено федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В.Топчиева Российской академии наук (ИНХС РАН).

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Сформулированы принципы формирования полимерных композиционных материалов с заданной надмолекулярной структурой для достижения максимальных

значений возвращающих напряжений и обратимой деформации при активации эффекта памяти формы.

- Изучены и проанализированы процессы восстановления формы материала с памятью формы T_g -типа и T_m -типа в зависимости от деформированного состояния и принципы «программирования» параметров памяти формы в полимерных композиционных материалах медицинского назначения с памятью формы T_g -типа.

- Доказана возможность применения полимерных композиционных материалов на основе ПЛА и СВМПЭ для создания биомиметических структур, в том числе формируемых методом 3D-печати.

- Сформулированы закономерности формирования структуры композиционных материалов медицинского назначения с памятью формы T_g -типа и T_m -типа при введении твердых биоактивных наполнителей.

- Разработаны биомиметические структуры и имплантаты на их основе с физико-механическими характеристиками и микроструктурой, соответствующими нативной ткани. Впервые разработаны материалы на основе СВМПЭ (ЭПФ T_m -типа) с высокой вязкостью расплава и на основе ПЛА (ЭПФ T_g -типа) со структурой и биомеханикой, подобными присущим трабекулярной кости и кортикальной кости слабонагруженных частей скелета, а также многослойные биомиметические структуры на их основе.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- Изучены взаимосвязи основных параметров ЭПФ и основных характеристик изучаемых полимерных материалов, а также условия формирования полимерных материалов с заданной надмолекулярной структурой и кристалличностью для увеличения возвращающих напряжений и обратимой деформации при активации ЭПФ.

- Продемонстрирована взаимосвязь надмолекулярных, фазовых и структурных характеристик с функциональными свойствами полимеров с ЭПФ T_g - (ПЛА) и T_m -типа (СВМПЭ), что позволило определить влияние надмолекулярных структур в полимерах на свойства ЭПФ.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- Получены и исследованы полимерные материалы с ЭПФ, перспективные для применения в медицине, в частности, в качестве основы самоустанавливаемых костных имплантатов, активируемые прямым нагревом и высокочастотным переменным магнитным полем.

- Разработан композиционный материал на основе полимера с памятью формы T_g -типа для применения в медицине и биомиметические структуры, формируемые методом 3D-печати на его основе и методы их модификации.

- Разработан композиционный материал на основе полимера с памятью формы T_m -типа с ориентированной структурой и способ его обработки с сохранением физико-механических свойств.

- Разработаны биомиметические структуры и имплантаты на их основе с физико-механическими характеристиками и микроструктурой, соответствующими нативной ткани.
- Разработаны способы формирования биомиметических структур на основе высоковязких полимеров, характеризующихся низкой текучестью расплава.
- Изготовлены биомиметические структуры и имплантаты для проведения операций в ветеринарных клиниках в 7 клинических случаях для возмещения расширенных дефектов костной ткани и увеличения дыхательного просвета при коллапсе гортани.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- Достоверность результатов исследования обеспечена научно обоснованным выбором принципов создания композиционных материалов на основе СВМПЭ и ПЛА.
- Использован комплекс современных высокоточных и взаимодополняющих методов анализа и испытаний, проведены корректные математическая обработка результатов экспериментов и их интерпретация.
- Получены положительные результаты апробации в доклинических исследованиях, в том числе в клинических случаях в ветеринарии.

Личный вклад соискателя состоит в:

Постановке задач исследования, выборе путей их решения, обработке данных, анализе результатов, обобщении полученных закономерностей, формулировании выводов, подготовке научных статей, документов по защите результатов интеллектуальной деятельности, технической документации. Все экспериментальные и теоретические результаты, приведенные в диссертации, получены самим автором или при его непосредственном участии. Персональном участии в экспериментах по исследованию физико-механических свойств биомиметических структур полимерных композиционных материалов с памятью формы, а также биосовместимости *in vivo* и остеокондуктивности. Автором лично проведены исследования и расчеты параметров и энергии активации ЭПФ, исследования методом ИК-спектроскопии и ДСК, механические испытания, а также получены образцы методом термопрессования и 3Д-печати.

По диссертации Ф.С. Сенатова опубликовано 46 научных статей в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, и получено 18 патентов на изобретения.

Пункт 2.6 Положения о присуждении ученой степени доктора наук НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Ф.С. Сенатова соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, так как в ней на основании выполненных автором исследований разработаны научно-технологические подходы к созданию структурно-фазовых состояний, обеспечивающих формирование полимерных материалов с памятью формы, проявляющим оптимальные характеристики эффекта памяти формы для использования в биомедицинских приложениях. Фундаментальное понимание механизмов ЭПФ на уровне надмолекулярной структуры позволит целенаправленно разрабатывать материаловедческие решения практических задач по увеличению срока службы имплантируемых и внешних элементов индивидуализированных протезов. Данные

решения прямо способствуют повышению качества жизни пациентов, имеющих показания к операциям по реконструкции костей с использованием самоустанавливающихся имплантатов. Результаты диссертационной работы могут быть положены в основу нового научного направления «Полимерные материалы с эффектом памяти формы медицинского назначения», а полученные результаты могут быть квалифицированы как научное достижение.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Сенатову Фёдору Святославовичу ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

При проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 6 человек, участвовавших в заседании и входящих в состав комиссии, проголосовала: за 6, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Экспертной комиссии



С.Д. Прокошкин

13.09.2024