

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт физики  
прочности и материаловедения Сибирского  
отделения Российской академии наук

д.т.н.

Е.А. Колубаев

2021 г.



## **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу

Кожановой Марии Юрьевны

"Влияние облучения электронами высоких энергий

на структуру и механические свойства

полимерного материала полидициклопентадиена",

представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук

по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Учитывая возрастающее значение полимеров норборненового ряда в различных областях материаловедения, исследования влияния ионизирующего излучения на физико-механические свойства термореактопласта полидициклопентадиена (ПДЦПД) являются актуальными.

В этой связи определение закономерностей изменения прочностных и структурных параметров от поглощенной дозы для различных видов излучения (электроны высоких энергий и  $\gamma$ -излучение) и особенно влияние радиационной и механической нагрузки на макро- и микроструктуру

материала, а также влияние молекулярных факторов являются актуальными научными задачами, имеющими практическое значение в области физики радиационных явлений, физики радиационного материаловедения и химии высокомолекулярных соединений. Решению этих задач и посвящена диссертационная работа Кожановой М.Ю.

Полученные сведения необходимы для использования материалов на основе полидициклопентадиена в областях с повышенным радиационным фоном (авиация, космос, горячие камеры) с целью обоснования возможности их применения в полях ионизирующих излучений, поэтому они представляют большой научный и практический интерес.

Решение подобных задач требует применения системного материаловедческого подхода, заключающегося в определении технологических параметров получения высокопористого композита, а также изучении закономерностей формирования структур при различных видах и дозах облучения. Особого внимания заслуживает влияние радиационной и механической нагрузки на макро- и микроструктуру материала, влияние молекулярных факторов, имеющих практическое значение в области физики радиационных явлений, физики радиационного материаловедения и химии высокомолекулярных соединений, что является предметом исследований в представленной диссертационной работе.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- Впервые предложен способ формирования радиационно-модифицированного ПДЦПД.
- С использованием сканирующей электронной микроскопии установлена взаимосвязь изменения структуры polyНIРЕ-ПДЦПД от параметров ионизирующего излучения.
- Впервые получена зависимость деформационно-прочностных характеристик polyНIРЕ-ПДЦПД от поглощенной дозы ионизирующего излучения. Предложена теория сшивания трехмерной структуры полимерного материала в результате взаимодействия с ионизирующим излучением.

- Разработана методика определения содержания гель фракции для ПДЦПД, синтезированного по polyHIPE-технологии. Показано, что под действием электронного облучения ПДЦПД, помимо происходящего распада молекулярной цепи, в области малых доз сшивание преобладает над деструкцией.

**Практическая значимость полученных результатов.** В диссертационной работе Кожановой М.Ю. впервые получены данные о степени взаимодействия различных видов ионизирующего излучения на полидициклопентадиен, изготовленный по двум технологиям, и проведен сравнительный анализ по виду проведенного электронного облучения в диапазоне 0-100 кГр для polyHIPE-ПДЦПД и 0-0,7 МГр для технологии RIM. Результаты значительно расширяют существующие представления о структурных и прочностных характеристиках ПДЦПД, модифицированного в результате воздействия облучения, и имеют важное прикладное значение для расчета срока службы изделий из него в поле ионизирующих излучений.

Согласно представленным результатам оценки механических свойств материал способен сохранять свои первоначальные характеристики при серьезных дозовых нагрузках. По этой причине его можно рекомендовать в качестве замены изолирующих материалов, используемых в горячих камерах и боксах для работ с низкой и средней активностью.

**Обоснованность и достоверность** полученных в диссертационной работе результатов обеспечиваются системным подходом к проведению исследований; использованию современных, преимущественно стандартизованных, экспериментально-аналитических методов испытаний; применением в процессе синтеза материалов паспортизованных реагентов. Полученные результаты не противоречат, уточняют и дополняют ранее опубликованные данные по теме диссертации других исследователей.

**Структура диссертации.** Диссертация Кожановой М.Ю. состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографического списка. Диссертационная работа изложена на 114 страницах машинописного текста,

илюстрирована 46 рисунками, 4 таблицами; список цитируемой литературы содержит 107 библиографических наименований.

Во введении раскрыта актуальность выбранного направления исследования, сформулированы цель и задачи работы. Приведены положения, выносимые на защиту, раскрыты научная новизна, практическая и теоретическая значимости диссертационного исследования.

В первой главе представлен литературный обзор по теме диссертационной работы. Проведен анализ существующего уровня исследований по теме диссертации и обозначены нерешенные проблемы. В конце каждого подраздела проведено обобщение, позволяющее проследить логику выбора методов исследования, используемых далее в работе. Описаны существующие методы синтеза и модификации полимерных материалов.

Во второй главе подробно описаны использованные способы синтеза материалов по двум методам, приведено описание технологии получения образцов и последующих этапов работы: облучения, испытания механических характеристик и структурных исследований. Описаны используемые методы исследований образцов. Для оценки воздействия ионизирующего излучения на структуру ПДЦПД разработан способ определения содержания объемной доли гель фракции в полимере. Количество используемых в работе методов исследования является достаточным для объективной оценки свойств радиационно-модифицированных материалов. Методы взаимно дополняют друг друга.

В третьей главе представлено теоретическое описание физических процессов, проходящих в материале в поле ионизирующего излучения нескольких типов. Приведены результаты расчета ионизационных и радиационных потерь для ускоренных электронов с применением разработанного и запатентованного программного комплекса. Обоснован выбор толщины образцов посредством оценки поглощенной энергии излучения атомами с учетом плотности среды.

Четвертая глава посвящена исследованию прочностных и структурных характеристик полидициклопентадиена, изготовленного по двум технологиям RIM и polyHIPE, а также сравнению изменения механических свойств ПДЦПД, подвергнутого воздействию электронного и  $\gamma$ -излучения. Показано, что в результате облучения полимерных материалов в структуре происходят два взаимно противоположных процесса – радиационное сшивание и деструкция молекул полимера. Для каждого вида материала приведены диаграммы растяжения для облученных и необлученных образцов. Для ПДЦПД, изготовленного по технологии RIM, характерно сохранение значения предела прочности в диапазоне доз 0,1-0,7 МГр в пределах погрешности, что закономерно объясняется балансом радиационной сшивки и деструкции. Представлены результаты исследований величины предела прочности при растяжении и содержания золь фракции ПДЦПД, изготовленного по polyHIPE-технологии, от использованной дозы. Показано наличие корреляции между повышением механических свойств и увеличением содержания золь фракции, что свидетельствует о возрастании концентрации связанных в трехмерную сетку молекул ПДЦПД в результате облучения. Результаты РЭМ-исследований ПДЦПД, изготовленного по polyHIPE-технологии, показано различие поровой структуры: наличествуют рваные и ломаные трещины и сколы, характерные для хрупкого разрушения вследствие взаимодействия излучения с веществом, структурные изменения в виде образования «узелков» во всем диапазоне использованных доз. Приведены результаты рентгеноспектрального и элементного анализов. Указано наличие прямой зависимости между степенью окисления и процентом содержания золь фракции.

Наиболее важными результатами настоящего исследования являются:

1. Разработан и применен способ синтеза материала polyHIPE-ПДЦПД с заданными свойствами, относительно высокими значениями прочностных характеристик (не ниже 0,2 МПа) при высокой пористости (от 70%).
2. Разработан способ выделения гель фракции для радиационно-модифицированного polyHIPE-полидициклопентадиена, облученного

различными дозами в широком интервале (до 100 кГр), позволяющий экспериментально определять долю сшитой компоненты в полимерной структуре ПДЦПД.

3. Для материалов, синтезированных по ROMP-технологии, определен интервал доз (0-0,7 МГр), обеспечивающих минимальное снижение предела прочности (радиационная стойкость), что востребовано для материалов, предназначенных для эксплуатации в полях ионизирующего излучения.

**В качестве замечаний** по диссертационной работе можно указать следующее:

1. Традиционно, при написании диссертаций в раздел «Положения, выносимые на защиту» не включают «защищаемые результаты». Последние, в свою очередь, обычно обобщаются в виде выводов по работе. В этой связи защищаемые положения/результаты 3 и 5 сформулированы не совсем удачно, поскольку фактически констатируют полученный результат, но не содержат его физической интерпретации. При этом словосочетание «результат экспериментальных данных зависимости» стилистически сформулирован не совсем удачно.

2. В работе недостаточно полно описана взаимосвязь результатов исследований теоретического раздела в части модели ионизационных и радиационных потерь с экспериментально определяемыми параметрами облученного материала.

3. В плане обобщения полученных результатов было бы весьма целесообразно построить единую схему (функциональную зависимость) а) типа и параметров формирующейся надмолекулярной структуры, б) дозы облучения и в) обеспечиваемых ими прочностных характеристик. Данный результат был бы очень важен для прогнозирования и формулирования рекомендаций по практическому использованию разрабатываемых радиационно устойчивых полимеров.

4. В выводе №5 по диссертационной работе в качестве основного результата теоретической части исследований (разработки математической модели) позиционируется получение Свидетельства о регистрации

программы для ЭВМ. В работе по техническим наукам было бы целесообразно представить суть указанной программы в виде алгоритма (блок-схемы), отражающей функциональную связь входных и выходных параметров, и, одновременно, раскрывающую суть развитой математической модели.

5. В тексте автореферат не указан объем диссертации, количество рисунков и таблиц.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы, которая выполнена на высоком научном уровне.

В целом в диссертации представлен грамотный комплексный подход к решению важной практической задачи – установлению допустимых параметров радиационной модификации полидициклопентадиена для целей практического использования изделий из него в полях ионизирующего излучения. Работа представляет собой самостоятельное целостное научное исследование, а ее результаты имеют широкое прикладное значение и могут быть использованы в отраслях, требующих применения материалов с высокой радиационной стойкостью. Результаты выполненных исследований, составившие диссертацию, опубликованы в российских и международных научных журналах. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

На основании вышеизложенного следует констатировать, что диссертационная работа "Влияние облучения электронами высоких энергий на структуру и механические свойства полимерного материала полидициклопентадиена", является законченным исследованием, отвечает требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от № 842 от 24.09.2013г. предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Кожанова М.Ю. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа и отзыв заслушаны, обсуждены и одобрены на расширенном семинаре лаборатории механики полимерных композиционных материалов Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН) (протокол № 17 от 25.11.2021г.).

Председатель семинара  
заведующий лабораторией механики  
полимерных композиционных материалов  
д.т.н., профессор  
(специальность 01.02.04 –  
механика деформируемого твердого тела)

Сергей Викторович Панин

Секретарь семинара  
с.н.с. лаб. МПКМ,  
к.ф.-м.н.  
(специальность 01.04.07) –  
физика конденсированного состояния)

Людмила Александровна Корниенко

Я, Панин Сергей Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

С.В. Панин

Я, Корниенко Людмила Александровна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Л.А. Корниенко

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН, 634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4, телефон: +7 (3822) 49-18-81, факс: +7 (3822) 49-25-76, e-mail: root@ispms.tomsk.ru, сайт организации: <http://www.ispms.ru>)