**Солохова Кира Сергеевна. Углекомпозиты на основе дисперсно-наполненного эластомера с высокой термической и окислительной стойкостью;[Место защиты: ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»], 2023**

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**

**высшего образования «Московский государственный технический**

**университет имени Н.Э. Баумана**

**(национальный исследовательский университет)»**

**Г осударственная корпорация по атомной энергии «Росатом»**

**Акционерное общество**

**«Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на**

**основе графита «НИИграфит»**

**Панина Кира Сергеевна**

**УГЛЕКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННОГО**

**ЭЛАСТОМЕРА С ВЫСОКОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ**

**СТОЙКОСТЬЮ**

**Специальность 2.6.17. Материаловедение**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

**на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук**

**Научные руководители**

**доктор технических наук, доцент**

**Ю. А. Курганова**

**кандидат химических наук Е. А. Данилов**

**Москва 2024**

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ 4**

**ВВЕДЕНИЕ 6**

**Глава I. Состояние вопроса и постановка задач исследования 14**

**1.1 Общие сведения о полимерных композиционных материалах с высокой**

**термической и окислительной стойкостью 14**

**1.2 Силоксановые каучуки 19**

**1.3 Основные подходы к повышению теплофизических свойств силоксановых**

**эластомеров 27**

**1.3.1 Армирование волокнами 28**

**1.3.2 Введение дисперсных наполнителей 35**

**1.4 Фенолформальдегидные смолы 40**

**Заключение по литературному обзору и постановка задач исследования 43**

**Глава II. Материалы и методики исследований 46**

**2.1 Материалы исследований 46**

**2.1.1 Силоксановый каучук 46**

**2.1.2 Фенолформальдегидная смола 47**

**2.1.3 Углеродная ткань 48**

**2.1.4 Дисперсные наполнители 48**

**2.2 Технология изготовления экспериментальных образцов 49**

**2.3 Методики исследований 51**

**Выводы к главе 2 60**

**Г лава III. Выбор основных составляющих полимерной матрицы 62**

**3.1 Выбор соотношения эластомера и порошка отвержденной**

**фенолформальдегидной смолы 62**

**3.1 Выбор дисперсных наполнителей 70**

**3.1.1 Выбор типа микросфер 70**

**3.2.2 Выбор инертных керамических наполнителей 74**

**Выводы к главе 3 80**

**Глава IV. Основные физико-механические и теплофизические свойства**

**углекомпозитов, особенности микроструктуры 81**

**4.1 Исследование микроструктуры 81**

**4.2 Исследование физико-механических свойств 83**

**4.3 Исследование теплофизических характеристик 85**

**Выводы к главе 4 91**

**Глава V. Исследования функциональных свойств углекомпозитов 92**

**5.1 Определение кинетических параметров и энергии активации 92**

**5.2 Исследование огнестойкости 95**

**5.3 Исследование абляционной стойкости 97**

**5.4 Исследование воздействия лучистого теплового потока 103**

**5.5 Воздействие плазменного потока и оценка предельной нагрузки 105**

**5.6 Исследование поведения разрабатываемых материалов и определение их**

**характеристик в условиях горения 107**

**5.7 Оценка гибкости и способов закрепления углекомпозитов 110**

**Выводы к главе 5 113**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 115**

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 117**

**Приложение А 137**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. В настоящей работе разработаны двумерно армированные углекомпозиты на основе дисперсно-наполненного силоксанового эластомера с высокой термической и окислительной стойкостью, исследованы их физико-механические и теплофизические свойства, стойкость к воздействию высокотемпературных газовых потоков.
2. На основании экспериментальных данных выбрано соотношение силоксанового каучука и порошка отвержденной фенолформальдегидной смолы - 2:1 массовых частей, обеспечивающее высокую абляционную устойчивость углекомпозитов на их основе при воздействии пламени.
3. Установлено, что слоистая структура двумерно армированных углекомпозитов обеспечивает высокий уровень теплозащитных свойств. Гибкость и прочность обеспечиваются за счет эластомерной матрицы и углеродных тканей соответственно. Введение тугоплавких частиц приводит к повышению теплофизических свойств, причем наибольший эффект достигается для углекомпозитов с комплексной добавкой (5 % SiC + 5 % ZrB2 + 5 % КМС).
4. Введение дисперсных частиц отвержденной фенолформальдегидной смолы в силоксановую матрицу углекомпозитов приводит к формированию защитного пористого коксового слоя под слоем керамических соединений при воздействии направленных газовых, плазменных и лучистого потоков, а также при горении. За счет этого увеличивается термическая и окислительная стойкость углекомпозитов: повышается огнестойкость и эрозионная стойкость, прочность коксового слоя, кислородный индекс, категория стойкости к горению.
5. Определены кинетические параметры окислительной термодеструкции углекомпозитов и установлено, что введение порошков отвержденной фенолформальдегидной смолы приводит к повышению энергии активации углекомпозитов при горении со 141 520 Дж/моль до 159 936 Дж/моль. Введение комбинации дисперсных частиц (5 % SiC + 5 % ZrB2 + 5 % КМС) позволяет дополнительно повысить энергию активации до 164 858 Дж/моль.

Углекомпозиты на основе дисперсно-наполненного эластомера характеризуются высокой гибкостью с возможностью закрепления клеевым соединением на различных криволинейных поверхностях