

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Игнатьева Семена Дмитриевича  
«Вязкость разрушения и внутренние напряжения композиционных  
материалов на основе карбонизованных полимерных матриц»,  
представленную на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика  
конденсированного состояния».

Актуальность темы представленной работы заключается в необходимости разработки высокотемпературных полимерных композиционных материалов (ПКМ), которые обладают высокой прочностью и стабильностью при температурах до 300 °С, что делает их пригодными для использования в высоконагруженных конструктивных элементах в различных областях промышленности. Существующие ПКМ часто имеют недостаточно высокие эксплуатационные температуры и низкую ударную вязкость, что ограничивает их применение. В связи с этим возникает потребность в создании материалов с улучшенными характеристиками, которые могли бы производиться экономичными методами и масштабироваться для использования на территории Российской Федерации.

Работа Игнатьева Семена Дмитриевича посвящена исследованию и оценке вязкости разрушения и остаточных напряжений в композиционных материалах на основе карбонизованных полимерных матриц. Основное внимание уделено разработке и анализу полимер-матричных композитов, содержащих углеродные наполнители, которые обеспечивают повышенные физико-механические свойства и устойчивость к высоким температурам. В работе также исследуются процессы карбонизации полимерной матрицы, особенности формирования остаточных напряжений и их влияние на прочность и долговечность материалов.

Научная новизна работы Игнатьева Семена Дмитриевича заключается в разработке комплексного подхода к исследованию и оценке остаточных напряжений и вязкости разрушения в композиционных материалах на основе карбонизованных полимерных матриц. В рамках работы впервые проведено детальное исследование остаточных напряжений как на микро-, так и на макромасштабном уровне, что позволяет глубже понять особенности поведения материалов, наполненных дискретными углеродными частицами. Особенно важно, что в рамках данной работы была установлена взаимосвязь между составом композита, уровнем остаточных напряжений и физико-механическими свойствами, что позволяет точнее оценить влияние этих параметров на прочность и долговечность разработанного материала.

Кроме того, в данной работе был предложен многомасштабный метод оценки остаточных напряжений, что существенно повышает точность и надежность представленных результатов. Автором была детально исследована зависимость вязкости разрушения от предельной температуры карбонизации и состава композита, что позволяет оптимизировать процесс производства материалов, адаптируя их свойства для конкретных условий эксплуатации.



Отдельно стоит отметить внедрение параметрических статистических моделей для анализа экспериментальных данных. Эти модели позволяют учитывать множественные сравнения, что значительно улучшает точность и достоверность анализа результатов.

Совокупность указанных нововведений вносит весомый вклад в развитие методов создания полимерных композиционных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками и расширяет перспективы их применения в промышленности.

Практическая значимость работы Игнатьева Семена Дмитриевича заключается в разработке комплексного алгоритма для оценки остаточных напряжений в композиционных материалах на основе карбонизованных полимерных матриц. Данный алгоритм включает как разрушающие, так и неразрушающие методы, что позволяет существенно повысить точность анализа напряжений, сравнить друг с другом и оценить их влияние (уровень рассчитанных напряжений) на характеристики материала. Предложенный подход к оценке остаточных напряжений особенно важен для контроля качества промышленных образцов, поскольку он позволяет выявлять и минимизировать внутренние напряжения в материалах, предотвращая деформацию изделий и продлевая срок их эксплуатации.

В рамках данной работы был проведен анализ влияния предельной температуры карбонизации и состава композита на вязкость разрушения. Эти результаты могут быть использованы для оптимизации параметров производства, что позволит получать материалы с заданными прочностными характеристиками, устойчивыми к высоким температурам и агрессивным средам.

Полученные результаты имеют высокую прикладную ценность для таких отраслей, как авиакосмическая и автомобильная промышленности, где требуется производство долговечных, термостойких и механически прочных композитов.

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием современного прецизионного исследовательского оборудования и стандартизированных международных методов оценки свойств материалов. Для проведения экспериментов применялись методы рентгеноструктурного анализа, лазерной спекл-интерферометрии, контурный метод и метод ионного сверления колец с использованием корреляции цифровых изображений, что позволило надежно измерить остаточные напряжения и свойства композиционных материалов.

Кроме того, соблюдалась строгая статистическая обработка данных с использованием программного пакета IBM SPSS, включая однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с критериями Тьюкки и Даннета для учета множественных сравнений, что повысило точность и обоснованность выводов. Все выборки прошли проверку на нормальность распределения, что дало возможность использовать параметрические тесты с уровнем значимости равным 0.05. Этот комплексный подход гарантирует высокую достоверность результатов, представленных в работе.



Во введении автореферата описана структура данной главы диссертационной работы с перечислением ее содержания. Указано, что данная глава содержит обоснование актуальности исследования, сведения о научной новизне, теоретической и практической значимости, положениям, выносимым на защиту и т.д.

В первой главе приводится обзор научных публикаций и исследований, касающихся полимерных композиционных материалов, в частности, высокотемпературных полимеров, и процессов их термохимической обработки. Рассматриваются методологические подходы к оценке остаточных напряжений и вязкости разрушения, включая факторы, влияющие на механические свойства композитов.

Во второй главе описываются материалы, используемые в работе, а также методики изготовления ПКМ на их основе. Также описываются применяемые в работе методы исследования остаточных напряжений и вязкости разрушения.

В третьей главе излагаются результаты измерения плотности, твердости и основных механических характеристик карбонизованных композиционных материалов. Представляются данные, полученные при испытаниях на растяжение, трехточечный изгиб и сжатие, а также анализ их физико-механических свойств. Сформулированы основные выводы по результатам выполнения данных работ.

В четвертой главе представляются результаты экспериментов, направленных на определение вязкости разрушения композитов, и анализ влияния структуры, состава и температуры карбонизации на трещиностойкость материала. Рассматриваются механизмы разрушения композитов, проводится анализ процессов зарождения и распространения трещин. На основании результатов статистической обработки данных построен целый ряд выводов.

Заключительная глава содержит описание применения различных методик оценки остаточных напряжений. Результатом данной главы стали исследование напряженного состояния в композитах, оценка влияния состава и технологии карбонизации на уровень остаточных напряжений и их распределение.

В выводах обобщаются основные результаты исследования, подтверждается их научная и практическая значимость. Подводятся итоги выполненных задач, выделяются научные достижения работы, и формируются рекомендации для дальнейшего применения полученных результатов в промышленности и науке.

Таким образом, автореферат диссертационной работы Игнатьева Семена Дмитриевича демонстрирует полное соответствие требованиям, предъявляемым к научно-квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

В рамках изучения автореферата замечаний выявлено не было. Представленная работа выполнена на высоком научном уровне. Автором показан высокий уровень навыков и компетенций по представленной тематике.

Диссертационная работа «Вязкость разрушения и внутренние напряжения композиционных материалов на основе карбонизованных полимерных матриц», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния», соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней



в НИТУ МИСИС», а ее автор, Игнатьев Семен Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 «Физика конденсированного состояния».

*Инженер-исследователь центра системного проектирования  
Автономная некоммерческая образовательная организация высшего  
профессионального образования «Сколковский институт науки и технологий»  
PhD, Статник Евгений Сергеевич*

22.11.2024

*Статник*

Адрес: 121205, Москва, Большой бульвар д. 30, стр. 1

Телефон: +7 495 280-14-81

Адрес электронной почты: [eugene.statnik@skoltech.ru](mailto:eugene.statnik@skoltech.ru)

*Подпись Статника Е.С. подтверждает.*

Руководитель отдела  
Кадрового администрирования  
Гук О.С.

*Гук*

