

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор акционерного общества
"Научно-исследовательский институт
конструкционных материалов на основе
графита «НИИГрафит»

Маянов Е. П.

2018 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Ожерелкова Дмитрия Юрьевича

«Вязкость разрушения углерод-углеродных композиционных материалов фрикционного назначения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Диссертационная работа Ожерелкова Д.Ю. посвящена комплексному исследованию сопротивляемости разрушению углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ): оценке напряженно-деформированного состояния при распространении трещин, а также оценке влияния циклического нагружения, имитирующего условия реальной эксплуатации УУКМ на вязкость разрушения и межслоевую прочность. Благодаря комплексу высоких удельных механических характеристик, а также способности УУКМ упрочняться при повышении температуры эксплуатации до 2500-2800°C они широко применяются в качестве высокотемпературных материалов в авиационной технике. Однако, несмотря на ряд преимуществ, их существенным недостатком являются невысокие значения вязкости разрушения, что негативно сказывается на работоспособности изделий из данного класса материалов. Повышение сопротивляемости распространению трещин позволит значительно повысить ресурс изделий из УУКМ. Повышение вязкости разрушения УУКМ является весьма *актуальной задачей*.

Диссертационная работа Ожерелкова Д.Ю. состоит из введения, 5 глав, общих выводов и списка литературы из 198 источников.

Целью диссертационной работы Ожерелкова Д.Ю. являлось выявление взаимосвязи между структурой, технологией изготовления, особенностями процессов деформирования и разрушения УУКМ фрикционного назначения для прогнозирования работоспособности в реальных условиях эксплуатации. Для достижения цели достигались поставленные задачи, а именно: оценка напряженно-деформированного состояния у вершины трещины, подбор оптимальных критериев оценки вязкости разрушения, оценка межслоевой сдвиговой прочности, определение закономерностей влияния циклического разрушения на межслоевую прочность и вязкость разрушения УУКМ.

В первой главе представлен аналитический обзор литературы по теме диссертационной работы. Описана технология изготовления, структура и свойства тормозных дисков авиационных тормозных систем из УУКМ. Приведен анализ напряженного состояния тормозного диска, возникающего в процессе эксплуатации

Во второй главе описаны исследуемые материалы, эксперименты и методики исследований. Описано научное оборудование, с использованием которого проводились испытания.

В третьей главе представлены результаты статических испытаний на сжатие и трехточечный изгиб, определены значения плотности и пористости исследуемых материалов. Основная часть главы посвящена экспериментальному определению критериев вязкости разрушения УУКМ. Описан характер разрушения материалов при испытании на трехточечный изгиб образцов с надрезом, экспериментально обоснован выбор критерия вязкости разрушения для каждого исследуемого материала. Получившиеся результаты подкреплены фрактографическими исследованиями.

В четвертой главе описано изменение напряженно-деформированного состояния при распространении трещины в материале. Представлены результаты экспериментальной оценки полей деформаций и напряжений у вершины трещины в процессе испытания, в том числе и для образцов с дефектами структуры. При помощи цифровой оптической системы продемонстрирована эволюция напряженно-деформированного состояния в УУКМ при продвижении трещины, экспериментально показан механизм распространения трещины, определена геометрия зоны концентрации напряжений.

В пятой главе представлены результаты определения межслоевой сдвиговой прочности УУКМ, а также исследовано влияния циклических нагрузок на вязкость разрушения и межслоевую прочность. Предварительное усталостное нагружение проводилось с целью моделирования условий эксплуатации материала в конструкции авиационных тормозных систем. В результате получены зависимости изменения значений вязкости разрушения и межслоевой прочности от уровня усталостного нагружения и

количества циклов нагружения. Показано различие характера накопления повреждений и изменения вязкости разрушения в зависимости от уровня максимальных напряжений цикла. Результаты подтверждаются фрактографическими исследованиями.

Каждая глава диссертации сопровождается кратким заключением. В конце диссертации сформулированы общие выводы, которые отражают наиболее важные результаты работы.

Научную новизну диссертационной работы составляют следующие результаты. Исследованы поля напряжений и деформаций у вершины трещины в углерод-углеродных композиционных материалах фрикционного назначения с использованием современных оптических систем. Установлено, что у вершины трещины в УУКМ независимо от схемы армирования и типа армирующего наполнителя реализуется плоско-деформированное напряженное состояние. Экспериментально определены размеры зоны концентрации и уровень напряжений у вершины трещины в момент ее старта в УУКМ с различными схемами армирования. Показаны границы применимости критериев K_{Ic} , J_{Ic} , J_c , COD для оценки вязкости разрушения УУКМ фрикционного назначения с различными схемами армирования. Исследовано изменение вязкости разрушения и межслоевой сдвиговой прочности УУКМ фрикционного назначения типа ТЕРМАР в процессе циклического нагружения, имитирующего условия эксплуатации в АТС. Предложена модель связывающая изменение вязкости разрушения и межслоевой сдвиговой прочности с изменениями структуры в процессе циклического нагружения.

Практическая значимость диссертационной работы Ожерелкова Д.Ю. заключается в том, что на основе полученных результатов работы определены пути повышения вязкости разрушения УУКМ фрикционного назначения. Даны рекомендации по корректировке методик прочностного расчета тормозных дисков из УУКМ с учетом характера плоско-деформированного напряженного состояния, формы и размеров областей концентрации напряжений, действующих величин напряжений в областях, содержащих дефекты с учетом их эволюции под действием эксплуатационных нагрузок. Соответствующий Акт использования результатов диссертационной работы в опытно-конструкторских работах ОАО АК «Рубин» прилагается в приложении.

Диссертационная работа содержит большое количество иллюстративного материала хорошего качества, что позволяет оценить объем выполненных исследований.

Достоверность результатов и обоснованность выводов обеспечивается хорошим соответствием результатов исследований, полученных различными взаимно дополняющими современными методами, использованием апробированных современных

экспериментальных методик, использованием современного высокоточного оборудования и средств измерений.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации и соответствует основным ее положениям.

Основные результаты, полученные в рамках решения задач диссертационной работы, представлены в 3 статьях изданий, включенных в перечень журналов, рекомендованных ВАК, и в 13 работах сборников трудов научных конференций. Представление основных результатов на российских и международных научных конференциях повышает обоснованность сделанных в работе выводов.

К *недостаткам и замечаниям* по диссертационной работе следует отнести следующие:

1. Полученные результаты получены в процессе испытаний при комнатной температуре. Остаётся открытым вопрос о зависимости критериев K_{1c} , J_{1c} , J_c , COD для оценки вязкости разрушения фрикционных материалов при повышенных температурах, близких к условиям эксплуатации тормозных дисков.

2. Параметры вязкости разрушения определялись при испытаниях образцов с использованием датчика раскрытия трещины консольного типа. Из описания методики не ясно, какова начальная база измерения.

3. По тексту встречаются погрешности стиля изложения и оформления, наличие опечаток, пропуск знаков препинания. Например, в тексте автореферата на странице 9 коэффициент Пуассона в формуле (3) и (5) обозначен символом « ν ». На той же странице, в формуле (6) коэффициент Пуассона обозначен символом « ν ». В некоторых таблицах наблюдается несоответствие количества знаков после запятой для приводимых величин.

4. Для материала ТЕРМАР-АДФ наблюдается слишком большой разброс значений межслоевой прочности (таблица 10, страница 100).

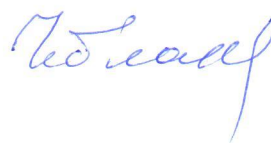
Сделанные замечания не уменьшают ценности работы и не влияют на ее основные выводы и защищаемые положения.

Рассмотренная диссертация является законченной научно-квалификационной работой. По своей актуальности, новизне, степени обоснования научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, их достоверности и новизне, диссертационная работа Ожерелкова Д. Ю. «Вязкость разрушения углерод-углеродных композиционных материалов фрикционного назначения» удовлетворяет требованиям ВАК, соответствует шифру специальности 05.16.01 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и критериям «Положения о порядке присуждения ученых

степеней» Постановления Правительства Российской Федерации № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Ожерелков Дмитрий Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Настоящий отзыв рассмотрен и утвержден после обсуждения диссертационной работы Ожерелкова Дмитрия Юрьевича на заседании Испытательного Центра АО «НИИГрафит» 25.04.2018 года. Протокол заседания № 3/4/2018 ИЦ.

Начальник Испытательного Центра
АО «НИИГрафит», к.т.н.



Чеблакова Е. Г.

Ведущий научный сотрудник
Испытательного Центра
АО «НИИГрафит», к.т.н.



Мостовой Г. Е

gmostovoy@niigrafit.org

М.т.: 8 903 009 30 79