

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по инновационной
деятельности ФГБОУ ВО
«Уфимский университет науки и
технологий»,
кандидат технических наук, доцент



Г. К. Агеев

« 12 » февраля 2024 г.

О Т З Ы В ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Ильиной Влады Николаевны
«Композиты с нанокремнеземными наполнителями для заделки трещин в
стальных конструкциях», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17.
Материаловедение (отрасль науки – технические)

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Ильиной Влады Николаевны посвящена решению актуальной проблемы влияния нанокремнеземных наполнителей различной природы и с различным кристаллическим строением на структуру и физико-механические свойства композиционных материалов на основе эпоксидной смолы и разработку перспективных составов, обеспечивающих высокую степень восстановления несущей способности стальных конструкций при заделке трещин в металле. Цель и задачи исследования отвечают требованиям современной техники, их решение позволит повысить эффективность обеспечения надежности и долговечности деталей, изделий, машин и конструкций в различных отраслях промышленности.

Теоретическая значимость

Теоретическая значимость работы состоит в установлении особенностей влияния нанокремнеземных материалов различной природы на строение и физико-механические свойства композиционных материалов на основе эпоксидной смолы, используемых для заделки трещин.

Научная новизна диссертационной работы включает:

1. Разработку составов композиционных материалов на основе эпоксидной смолы с нанокремнеземными наполнителями (фуллеренами, графеном, нанотрубками) и разбавителем (керосином, содержащим наноразмерные частицы оксида железа Fe_2O_3). Автором показано, что композит с фуллеренами имеет высокую жидкотекучесть, что дает возможность рекомендовать его для заделки трещин в стальных конструкциях с небольшой шириной раскрытия, и повышенную

пластичность, которая позволяет компенсировать деформационные сдвиги в локальном объеме при статическом и циклическом нагружении конструкции. Композит, модифицированный нанотрубками сохраняет требуемую жидкотекучесть в среднем около получаса и может быть использован, если локализация трещиноподобного дефекта не позволяет провести его оперативную заделку. Композит с графеном отличается повышенными прочностью и модулем упругости и может быть рекомендован для заделки трещин в конструкциях, работающих при статических нагрузках.

2. Установление взаимосвязи между поверхностной энергией композитов, модифицированных нанотрубками, нанодиаперными наполнителями, твердостью и адгезионной прочностью соединения композиционного материала с металлом: чем выше энергия поверхности, тем больше влияние соответствующей сингонии наполнителя на ее твердость и адгезионную прочность.

Практическая значимость

1. Разработанный состав композиционного материала был использован для заделки трещиноподобных дефектов в материале станины турбокомпрессора в ПАО «Уфаоргсинтез». За время эксплуатации, прошедшее после ремонта, дальнейшего развития трещиноподобных дефектов не выявлено (в работе имеется справка о внедрении данного метода).

2. Основные результаты исследований используются в учебном процессе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» при чтении лекций для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование по дисциплине «Физические основы разрушения конструкционных материалов».

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 207 источника. Объем работы: 153 страниц, 85 рисунков, 19 таблиц и 2 приложения. Информация, приведенная в автореферате, соответствует основному содержанию диссертации и дает полное представление о её научных положениях, результатах и основных выводах.

Полученные результаты работы опубликованы в 13 научных работах, в том числе 3 статьи – в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, 2 статьи – в рецензируемых журналах, включенных в базы данных Scopus и Web of Science, получено 3 патента РФ на изобретение. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных и российских конференциях.

Во **введении** автор обосновывает актуальность темы диссертационной работы, формулирует ее цели и задачи, описывает научную новизну, указывает практическую значимость полученных результатов, приводит основные положения, выносимые на защиту, а также методологию исследований, степень достоверности и апробацию результатов.

В **первой главе** представлен аналитический обзор литературы по теме исследования с анализом российских и зарубежных источников, посвященных технологиям ремонта трубопроводов, обзор исследований в области разработки композитов для заделки трещиноподобных дефектов. Определена проблематика, описаны уровень и достижения современных исследований.

Во **второй главе** изложены известные и оригинальные методы и методики исследований, использованные при выполнении диссертационной работы. Описан объект исследований: композиционные материалы на основе эпоксидной смолы с нанокремнеземными наполнителями (графеном, нанотрубками и фуллеренами) и разбавителем (керосином, содержащим наноразмерные частицы оксида железа Fe_2O_3).

В **третьей главе** представлены исследования, направленные на разработку состава композиционного материала, который обеспечивал бы живучесть объекта с заделанной трещиной. Проведены эксперименты для определения адгезионной прочности соединения «композит - металл» при сдвиге. Проанализировав полученные значения и характер разрушения соединения композитов с металлом, автором выбраны оптимальные составы, обеспечивающие баланс адгезионной и когезионной прочности.

В **четвертой главе** представлены результаты исследования влияния углеродных наноразмерных наполнителей на структуру эпоксидных связующих. На основе анализа изломов отвержденной эпоксидной смолы без наполнителей показано, что разрушение носит преимущественно хрупкий характер, наблюдаются также локальные области, свидетельствующие о течении материала в процессе его разрушения.

Добавление графена в качестве наполнителя приводит к образованию слоистой структуры композита, хрупкий характер разрушения сохраняется. Обсуждается механизм упрочнения такого композита.

Добавление в качестве наполнителя углеродных нанотрубок приводит к получению волокнистого композита. Нанотрубки, закрепившись в стенах трещины, препятствуют раскрытию трещины. Механизмом упрочнения композитов при этом является то, что при раскрытии трещины, энергия рассеивается за счет трения при вытягивании нанотрубок из эпоксидной матрицы.

При добавлении фуллеренов в образцах появляется большая доля пластического разрушения.

В **пятой главе** представлены исследования физико-механических свойств разработанных композиционных материалов.

Наибольшей пластичностью обладает композиционный материал с фуллеренами в качестве наполнителя. Композит с графеном отличается

повышенными прочностью и модулем упругости. Значения твердости не изменяются пропорционально значениям прочности, в связи с чем выдвинуто предположение о влиянии поверхностных структур, образующихся при модифицировании эпоксидной смолы углеродными наполнителями различного кристаллического строения, на твердость композитов. Разработанный состав композита с фуллеренами демонстрирует адгезионную прочность соединения материала с металлом выше, чем материалы с другими рассматриваемыми наполнителями, как при сдвиге, так и при отрыве.

Показана корреляция данных номограмм твердости, поверхностной энергии композитов и адгезионной прочности соединения «композит - металл»: чем больше поверхностная энергия композита, тем выше значения его твердости и адгезионной прочности.

В шестой главе представлены исследования трубного образца, вырезанного из магистрального газопровода, со стресс-коррозионными трещинами, расположенными в области продольного сварного шва. Показана эффективность применения разработанного композиционного материала с фуллереновым наполнителем для заделки разветвленных трещин.

Автореферат диссертации полно и правильно отражает ее содержание. Диссертация является законченной научно-квалифицированной работой, а сформулированные автором основные выводы по работе являются новыми и представляются достоверными и хорошо обоснованными.

Достоверность полученных результатов и их обоснованность обеспечены большим объемом выполненных экспериментов с применением широкого спектра современного оборудования и методов анализа.

Рекомендации по использованию результатов и выводов

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в научно-исследовательских организациях и вузах, занимающихся проблемами материаловедения не только в области транспортировки газа и нефти, но и в более обширной области, включающей различные области машиностроения. В качестве таких организация могут выступить, например ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН), ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», НИЦ «Курчатовский институт», ФГБУН Институт металлургии им. А.А. Байкова РАН, ФГБУН Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, госкорпорация «Ростех», а также предприятия нефтехимической отрасли.

В процессе обсуждения диссертационной работы возникли следующие замечания:

1. Проведение полнофакторных экспериментов позволило автору получить данные по адгезионной прочности соединения композиционного материала с металлом при сдвиге для всех видов наполнителей (фуллерены, графен, углеродные нанотрубки). Оптимальные составы композиционных материалов для проведения исследований были выбраны на основе баланса между адгезионной прочностью его соединения с металлом и когезионной

прочностью самого композита. Что подразумевает автор под этим балансом параметров, ведь для различных целей баланс этих свойств могут различаться и, соответственно, составы композиционных материалов могут сильно отличаться?

2. Добавление нанокремниевых наполнителей (графена, нанотрубок или фуллеренов) в качестве армирующих компонентов в эпоксидное связующее способствует изменению структуры связующего, что приводит к его упрочнению. Разные механизмы упрочнения композиционных материалов при добавлении в них различных нанокремниевых наполнителей, по-видимому, позволит оптимизировать их по назначению (например, одни механизмы действуют для материалов при работе в условиях изгиба, другие – при растягивающих, третьи - при сжимающих напряжениях и т.д.). Однако в работе нет таких данных. А такое обобщение расширило бы практическое применение этих материалов.

3. Автор предлагает разработанные композитные материалы для заделки трещин в стальных конструкциях с небольшой шириной раскрытия. Хотелось бы узнать предельные возможные размеры дефектов для заделки этим методом. А также применимость метода не только к стальным конструкциям, но и к другим материалам (например, для алюминиевых, титановых сплавов, чугунов).

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

По объектам, целям, методам и содержанию диссертация соответствует пункту 1 области исследований, определяемой паспортом специальности 2.6.17. – «Материаловедение» (отрасль наук – технические):

«1 Разработка новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, в том числе капиллярно-пористых, с заданным комплексом свойств путем установления фундаментальных закономерностей влияния дисперсности, состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и иных факторов на функциональные свойства материалов. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры металлических, неметаллических материалов и композитов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности деталей, изделий, машин и конструкций (химической, нефтехимической, энергетической, машиностроительной, легкой, текстильной, строительной)».

Несмотря на представленные замечания, считаем, что основные выводы, сформулированные в диссертационной работе, обоснованы и достоверны. Диссертация представляет собой законченную научную работу, выполнена на высоком научном уровне и соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Ильина Влада Николаевна заслуживает

присвоения искомой ученой степени по научной специальности 2.6.17. Материаловедение (отрасль науки – технические).

Результаты диссертационной работы Ильиной Влады Николаевны были заслушаны и обсуждены на расширенном заседании кафедры материаловедения и физики металлов ФГБОУ ВО "УУНИТ", протокол № 7 от 25 января 2024 г. На заседании присутствовало 37 человек, из них докторов наук – 9 человек, кандидатов наук – 21 человек.

Результаты голосования: «за» - 37 человек, «против» - 0 человек, «воздержались» - 0 человек.

Профессор кафедры
материаловедения и физики металлов,
д. ф.-м. н.

Н.Г.Зарипов

Заведующий кафедрой материаловедения
и физики металлов, д.т.н., доцент

Е.В. Парфенов

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий», почтовый адрес:

450076, Республика Башкортостан, город Уфа, ул. Заки Валиди, д.32,

тел. 8 (347)272-63-70, факс: 8 (347)273-67-78,

e-mail:rector@uust.ru

Подпись <i>Зарипов Н.Г.</i>		Подпись <i>Парфенов Е.В.</i>
Удостоверяю « <i>08</i> <i>02</i> 20 <i>24</i> г.		Удостоверяю « <i>08</i> <i>02</i> 20 <i>24</i> г.
Начальник общего отдела УУНИТ <i>Рахимова Д.Д.</i>		Начальник общего отдела УУНИТ <i>Рахимова Д.Д.</i>