

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Ильиной Влады Николаевны на тему: «Композиты с наночастицами углерода для заделки трещин в стальных конструкциях», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. – «Материаловедение» (технические науки)

### Актуальность темы выполненной работы

Известно, что большинство инновационных решений в современной технике, в том числе в машиностроении, базируется на разработке и внедрении новых материалов и прогрессивных технологий. Принципиально высокий уровень развития современной техники могут обеспечить только конструкционные и функциональные материалы с улучшенными свойствами, а также высокоэффективные и ресурсосберегающие технологии.

Условия работы современной техники, в том числе изделий машиностроения, вызывают необходимость разработки и внедрения прогрессивных и эффективных способов продления сроков их эксплуатации. Следует отметить, что эксплуатация трубопроводов с трещинами увеличивает аварийные риски, приводящие к существенным финансовым потерям. Средний возраст действующих трубопроводов составляет 27-30 лет, что говорит об их износе. Однако полная замена или капитальный ремонт дефектных участков магистральных трубопроводов практически невозможны вследствие большой протяженности трубопроводных сетей и высокой стоимости проведения такого рода работ. В настоящее время активно разрабатываются локальные методы ремонта дефектов. При этом следует отметить, что если длина трещины меньше критической, то объекты с такими трещинами могут оставаться в эксплуатации при определенных условиях, что позволяет продлить срок их службы.

Одним из эффективных способов ремонта является использование полимерных композиционных материалов для заполнения трещиноподобных дефектов. Исследования показывают, что скрепление берегов трещины композитными материалами приводит к исчезновению напряжений в ее вершине. Этот метод позволяет упростить процесс ремонта и предотвратить дальнейшее развитие дефектов. В связи с этим исследования по разработке составов композиционных материалов на основе эпоксидной смолы с наночастицами углерода, обеспечивающих высокую степень восстановления несущей способности стальных конструкций при заделке трещин в металле, являются актуальными как с научной, так и с

практической точки зрения. Кроме того, актуальность данной работы подтверждается ее финансированием в рамках гранта для государственной поддержки молодых ученых из бюджета Республики Башкортостан.

### **Достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Соискателем был изучен широкий круг литературных источников, связанных с темой диссертационной работы и отражающих результаты исследований ведущих отечественных и зарубежных ученых. Достоверность результатов исследования обеспечена использованием современных методов исследования. Эксперименты проводились с использованием современного оборудования, которое позволяет получать воспроизводимые результаты с высокой точностью. Применение соискателем статистической обработки данных для оценки ошибок эксперимента также позволяет считать результаты достоверными.

### **Научная новизна диссертации**

Диссертационная работа Ильиной В.Н. обладает научной новизной. Соискатель создал ряд композиционных материалов на эпоксидной основе с нанокремнеземными наполнителями (фуллеренами, графеном и углеродными нанотрубками) и разбавителем (керосином, содержащим наноразмерные частицы оксида железа). Областью применения данных композитов является заделка трещиноподобных дефектов. Установлена взаимосвязь между твердостью, поверхностной энергией композитов, модифицированных нанокремнеземными наполнителями, и адгезионной прочностью соединения «композит – металл»: чем больше поверхностная энергия композита, тем выше значения его твердости и адгезионной прочности. Полученные соискателем результаты открывают возможность целенаправленной разработки композитов необходимого состава и свойств под конкретные условия эксплуатации, что позволит обеспечить высокую степень восстановления несущей способности стальных конструкций при заделке трещин в металле.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Теоретическая значимость диссертации состоит в том, что соискателем получены результаты исследований, подтверждающих влияние



наноуглеродных наполнителей на строение и физико-механические свойства композиционного материала, модифицированного этими наполнителями. Данный факт позволяет развивать исследования в этом направлении с целью создания уникальных материалов с заданными свойствами. Практическая значимость результатов подтверждается справкой о внедрении, свидетельствующей об использовании разработанного композиционного материала для ремонта станины турбокомпрессора путем заделки трещиноподобных дефектов. Полученные в диссертационной работе результаты используются в учебном процессе в ФГБОУ ВО «УГНТУ» при чтении лекций по дисциплине «Физические основы разрушения конструкционных материалов» при подготовке бакалавров.

### **Оценка содержания диссертации**

Диссертационная работа Ильиной В.Н. изложена на 153 страницах, включает введение, шесть глав, заключение и список использованной литературы, состоящий из 207 наименований. Диссертация имеет последовательную структуру, соответствует поставленным цели и задачам, написана грамотным научным языком. Оформление диссертации соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

**Во введении** приведена актуальность темы диссертации и степень разработанности исследований по данному направлению, сформулированы цель и задачи исследования, определена научная новизна, теоретическая и практическая значимости работы, методология и методы исследования, представлены выносимые на защиту положения, обоснована достоверность научных результатов, приведены сведения о публикациях и апробации работы.

**Первая глава** посвящена анализу существующих методов ремонта стальных конструкций и обзору отечественной и зарубежной литературы в области создания и исследования композиционных материалов на эпоксидной основе с различными наполнителями.

**Вторая глава** посвящена описанию объектов и методов исследования, а также в ней приведено использованное оборудование. Следует отметить, что для достижения цели соискателем использовались разнообразные методики и методы исследований. В качестве объекта исследований были выбраны композиционные материалы, состоящие из эпоксидной смолы ЭД-20, отвердителя ПЭПА, наноуглеродных наполнителей (фуллеренов, углеродных нанотрубок и графена), а также разбавителя (керосина, содержащего наноразмерные частицы оксида железа).

**Третья глава** посвящена разработке оптимального состава композиционного материала, который обеспечивал бы живучесть объекта с заделанной трещиной. С этой целью соискатель использовал полные факторные эксперименты, которые помогли выявить влияние компонентов композиционного материала на адгезионную прочность соединения «композит – металл» при сдвиге. Проанализировав полученные экспериментальные данные и характер разрушения соединения композитов с металлом, были выбраны оптимальные составы, которые обеспечивали баланс адгезионной и когезионной прочности. Свойства данных составов композитов исследовал соискатель в последующих главах.

**В четвертой главе** изложены результаты исследования влияния углеродных наноразмерных наполнителей на структуру эпоксидных связующих. Для этого соискателем были изготовлены образцы из композитов. Изломы образцов, образовавшиеся в результате приложения растягивающей нагрузки, были исследованы с помощью растрового электронного микроскопа. Такое исследование позволило установить механизмы упрочнения композитов при их армировании углеродными наночастицами.

**Пятая глава** посвящена исследованию следующих физико-механических характеристик разработанных композиционных материалов: предела прочности и относительного удлинения при растяжении, твердости, усадки, адгезионной прочности соединения композита с металлом при отрыве, поверхностной энергии и жидкотекучести. Полученные результаты открывают возможность направленного регулирования физико-механических свойств эпоксидных композитов за счет использования разных видов углеродных наноразмерных наполнителей. В главе представлены сведения о заделке трещиноподобных дефектов в материале станины турбокомпрессора, находящегося на одном из предприятий по переработке нефти в Уфе. Ремонт объекта проводили с помощью разработанного состава композиционного материала. Это позволяет отметить практическую ценность диссертационной работы.

**Шестая глава** посвящена исследованию фрагмента трубопровода со стресс-коррозионными трещинами, расположенными вблизи сварного шва. В данной главе представлены результаты исследования поверхностной энергии на данном трубном образце. Приведены исследования, направленные на оценку степени заполнения композитом разветвленной трещины естественного происхождения на исследуемом фрагменте трубопровода. Данная трещина была заделана композитом с фуллеренами с использованием



вакуума. Факт заполнения трещины композитом соискатель подтвердил, применив метод микротвердости.

**В заключении** приведены основные выводы и результаты диссертационной работы.

### **Оценка содержания и оформления автореферата**

Автореферат в полной мере отражает краткое содержание диссертационной работы. Оформление автореферата соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

### **Апробация и публикации по работе**

Результаты проведенных исследований опубликованы в 13 научных работах, в том числе 3 статьи опубликовано в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 2 статьи опубликованы в рецензируемых журналах, включенных в международные базы данных. Апробация материалов диссертационной работы заключается в их представлении соискателем на всероссийских и международных конференциях.

### **Замечания по содержанию диссертационной работы:**

1. В третьей главе, посвященной разработке состава композиционного материала, в качестве факторов, влияющих на адгезионную прочность соединения композиционного материала с металлом при сдвиге, были выбраны: количество отвердителя, количество разбавителя и количество наполнителя, однако диапазоны значений их количества обоснованы не были. Также не были обоснованы различия в содержании наполнителей: количество фуллеренов и графена в составе композитов было принято в количестве 0,5 и 5 мас. %, количество УНТ было принято 0,05 мас. % и 0,5 мас. %.

2. В качестве разбавителя в составе композиционных материалов использовался керосин, содержащий наноразмерные частицы оксида железа  $Fe_2O_3$ , однако в работе не рассматривается их влияние на свойства разработанных композиционных материалов.

3. В пятой главе не все графические зависимости, на которых представлены полученные экспериментальные данные, имеют доверительные интервалы, что затрудняет проведение оценки достоверности полученных результатов.

4. В диссертационной работе сравниваются между собой композиты, модифицированные нанокремнеземными наполнителями, однако в работе не приводятся значения физико-механических характеристик для исходной ненаполненной эпоксидной смолы, что затрудняет оценку эффективности наполнения эпоксидной смолы.

5. Не дано объяснение выбранной линейной аппроксимации характера изменения адгезионной прочности соединения композита с металлом от шероховатости поверхности металла.

6. В диссертационной работе отсутствуют сведения о себестоимости разработанных полимерных составов, а также их сравнение с существующими прототипами. Такие сведения позволили бы автору более наглядно продемонстрировать технико-экономическую эффективность и преимущества предлагаемых в работе решений.

7. По диссертации имеются замечания редакционного характера: в тексте работы встречаются опечатки, смысловые синтаксические погрешности и др. Имеются также замечания по оформлению списка использованной литературы.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

#### **Заключение о соответствии диссертационной работы требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней»**

Диссертация Ильиной Влады Николаевны на тему «Композиты с нанокремнеземными наполнителями для заделки трещин в стальных конструкциях» является завершённой, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащую научные результаты, выводы и рекомендации, отличающиеся новизной. Полученные результаты имеют существенное значение для развития многих отраслей промышленности, в том числе машиностроения, поскольку разработанные композиты с кремнеземными наноразмерными наполнителями позволяют обеспечить высокую степень восстановления несущей способности стальных конструкций при заделке ими трещиноподобных дефектов в металле. Диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.17. – «Материаловедение» (технические науки), пункту 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). По своей актуальности, научной новизне и практической значимости диссертация Ильиной Влады Николаевны соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, согласно п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобрнауки России, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842 (ред. от 20.03.2021), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. – «Материаловедение» (технические науки).

Официальный оппонент, доктор технических наук (специальность: 02.00.16 – Химия и технология композиционных материалов), профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение, сварка и производственная безопасность» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

 Галимов Энгель Рафикович

8 февраля 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10 Тел.: +7 (843) 231-97-60, e-mail: [kstu-material@mail.ru](mailto:kstu-material@mail.ru)

Согласен с включением моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку

Подпись Ильиной В.Н.  
заверяю. Начальник управления  
делопроизводства и контроля



