

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Данилова Владимира Алексеевича «Применение конфокальной лазерной сканирующей микроскопии для количественной оценки характеристик коррозии и поверхности разрушения» представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение

Повышение комплекса прочностных и вязко-пластических характеристик металлических материалов является одной из основных задач современного материаловедения. Особое место занимает проблема исследования причин разрушения, анализ повреждённой поверхности материалов вследствие преждевременного выхода из строя и воздействия коррозионных процессов. Для определения причин разрушения и повышения качества продукции необходимо всестороннее понимание и исследование процессов, происходящих при деформации и коррозионном разрушении материалов. С этим связана потребность в количественном описании морфологии повреждённой поверхности металлических материалов. Однако, существующие на сегодняшний день, наблюдения и методы анализа поверхности разрушения носят преимущественно качественный характер, что затрудняет объективную оценку геометрических параметров и выявление критических структурных факторов. Невозможно с высокой точностью провести сравнительный анализ поверхностей. Во многом это объясняется тем, что традиционный инструментарий, применяющийся для исследования структуры и морфологии поверхности изломов, в силу ряда ограничений, не позволяет провести количественные исследования повреждённой поверхности.

Указанные обстоятельства определили актуальность диссертационной работы Данилова В.А., посвященной разработке и развитию количественных методик оценки поверхности разрушения и коррозионных поражений с применением метода конфокальной лазерной сканирующей микроскопии.

## **Структура и основное содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы, содержащего 251 наименование. Диссертация изложена на 164 страницах машинописного текста, включает 65 рисунков, 6 таблиц и 1 приложение.

**Во введении** обоснована актуальность работы, оценена степень разработанности темы, сформулированы цель и задачи исследований, представлены научная новизна и практическая значимость работы, приведены методология и методика, объекты и предмет исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, подтверждена достоверность результатов работы, указан личный вклад автора в выполненных исследованиях, приведены результаты апробации исследований.

**В первой главе** даётся обзор существующих на сегодняшний день основных методик, применяемых при исследовании повреждённой поверхности металлических материалов. Отмечено, что часть методов (световая микроскопия, электронная микроскопия и др.) не позволяет воспроизводить трёхмерный рельеф сформированной поверхности и, как следствие, не применимы для количественного анализа. Другие методы (стереосъёмка, атомно-силовая микроскопия и т.д.) позволяют получать трёхмерный массив данных с поверхности, но имеют существенные ограничения, препятствующие их применению. Показано, что во фрактографическом методе анализа отсутствует регламентированный количественный параметр, характеризующий поверхность разрушения, а при анализе коррозионных повреждений большинство методов ограничиваются измерением только общей коррозии и не учитывают образование локальных поражений.

Результаты анализа литературных данных свидетельствуют о необходимости в разработке методики количественной оценки поверхности разрушения и исследованию локальных повреждений при коррозии.

**Во второй главе** описаны используемые в диссертационном исследовании материалы. При фрактографических исследованиях использовалась низкоуглеродистая сталь 10 и сталь S235JR. Коррозионные испытания проводились на модельных материалах, а именно: монокристалл магния, технически чистый магний, магниевый сплав ZK60 и алюминиевый сплав A95.

Описаны методология и методы исследования, используемые в диссертационной работе. Дается подробное описание конфокального лазерного микроскопа, его устройства, принципа работы и построения 3D изображения.

**В третьей главе** приводятся результаты разработки приёмов для оценки поверхности разрушения по данным, полученным с помощью конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (КЛСМ). Автором достаточно подробно демонстрируется влияние различных параметров съёмки на искомые значения. Отмечается, что в конечном итоге выбор параметров съёмки состоял в получении данных с необходимой точностью при минимальных трудозатратах. Установлено, что предложенный автором новый количественный параметр оценки вязкости поверхности разрушения: характеристическая площадь поверхности  $R_s$ , - демонстрирует хорошую корреляцию с результатами, полученными стандартным методом определения ударной вязкости. Разработанная Даниловым В.А. методика анализа поверхности позволяет перейти к количественной оценке поверхности излома и автоматизировать фрактографический анализ. Кроме того, автором показано, что по данным, полученным с помощью КЛСМ, возможно определение углов разориентировки фасеток скола в хрупком изломе. Установлено, что с увеличением предварительной пластической деформации, средний угол разориентировки увеличивается.

**Четвёртая глава** посвящена разработке методических приёмов для количественной оценки морфологии коррозионных повреждений с помощью КЛСМ.

Показано, что выбор полиэтилена в качестве заливки и образцов круглого сечения диаметром 2 мм, не оказывают влияния на коррозионные процессы и, тем самым, вносят минимальное искажение в конечные результаты.

Показано, что разработанная автором методика с применением КЛСМ, позволяет оценить зарождение и дальнейшее развитие коррозионных поражений на самых ранних стадиях выдержки в коррозионной среде. На примере образцов из алюминия высокой частоты А95 показано, что первые значимые данные о развитии процесса коррозии на образце, могут быть получены через 21 день экспозиции, вместо 160 суток при анализе стандартной методики оценки общей скорости коррозии. Кроме того, получаемые данные с поверхности прокорродировавшего образца с использованием метода КЛСМ, дают возможность оценить максимальную глубину коррозионных поражений и рассчитать скорость локальной коррозии, что также недоступно для методик оценки по ГОСТ.

**В заключении** сформулированы основные выводы и научные результаты работы.

**Приложение** содержит акты внедрения результатов диссертационного исследования.

### **Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы**

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, сформулированных автором в диссертационной работе, обеспечены корректной постановкой цели и задач исследований, применением аттестованных методик исследований и проведением экспериментов на современном научно-исследовательском оборудовании.

## **Оценка степени научной новизны диссертационной работы**

В диссертационной работе автором получены следующие новые научные результаты:

1. Впервые применён новый количественный параметр, характеристическая площадь поверхности, характеризующий степень вязкости поверхности разрушения;

2. Показано, что характеристическая площадь поверхности демонстрирует хорошую корреляцию с величиной ударной вязкости;

3. Показано, что предварительная пластическая деформация увеличивает средний угол разориентировки фасеток скола;

4. Данные, получаемые с применением метода КЛСМ, позволяют оценить скорость равномерной и локальной коррозии, а высокая разрешающая способность по оси  $Z$  делает возможным обнаружение коррозионных повреждений на самых ранних стадиях.

**Практическая значимость** результатов исследования заключается в следующем:

- Разработанные методические приёмы могут лечь в основу по созданию регламентированной методики по оценке характера разрушения металлических материалов. Данная методика внедрена в учебный курс лекций и лабораторных занятий в ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» для подготовки магистров по дисциплине «Методы исследования, контроля и диагностики материалов» по направлению 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов, направленность (профиль): «Инжиниринг перспективных материалов и диагностика поведения материалов в изделиях»;
- На основе разработанных приёмов стало возможным построение распределения углов разориентировки фасеток скола и степени их кривизны;

- Разработан способ количественной оценки морфологии коррозионных повреждений металлов и их сплавов, позволяющий количественно оценить локальную коррозию. Данная методика внедрена в ООО «ССДЦ «Дельта» в качестве дополнительного критерия при отработке технологий сварки;

### **Замечания по диссертационные работы**

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Автором использовался КЛСМ фирмы Olympus. Возможно ли использование разработанных процедур на аналогичном оборудовании других фирм?
2. Проводилась ли сравнительная оценка величины характеристической площади поверхности с долей вязкой составляющей по ГОСТ 4543?
3. Возможно ли применение разработанной методики для анализа поверхности разрушения стандартных образцов, выполненных по ГОСТ?
4. В оформлении автореферата и текста диссертации есть ряд неточностей и недочетов, а именно:
  - для параметра  $R_s$  используется несколько формулировок: характеристическая площадь, нормированная и приведенная площадь. При использовании параметров следует придерживаться единой терминологии.
  - параметр  $R_s$  это безразмерная величина, на рисунке 5 автореферата данный параметр имеет размерность - мкм.

### **Заключение**

Отмеченные замечания носят уточняющий и рекомендательных характер и ни в коей мере не уменьшают достоинств диссертации и полученных в ней результатов.

Диссертационное исследование Данилова В.А. представляет собой завершённую работу на актуальную тему, в которой изложены обоснованные

технические разработки, имеющие существенное научное и практическое значение. Предложенные автором решения аргументированы, обладают научной новизной, результаты работы имеют практическое применение. Публикации по теме диссертации достаточно полно отражают её результаты, а участие соискателя в качестве докладчика на профильных конференциях позволяет высоко оценить его научный потенциал.

Диссертационное исследование соответствует пунктам 5, 6, 7 и 10 паспорта специальности 2.6.17 Материаловедение, отрасль науки – технические науки

Тема и содержание диссертационной работы Данилова В.А. полностью соответствует требованиям п.9, предъявляемым к кандидатским диссертациям в Положении о присуждении учёных степеней, утверждённом постановлением Правительством РФ №842 от 24.09.2013 г., а ее автор Данилов Владимир Алексеевич – заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Официальный оппонент, кандидат технических наук, начальник отдела материаловедения ООО «ИТ-Сервис», г. Самара

 Чистопольцева Елена Александровна

443001, г. Самара, ул. Ульяновская/Ярморочная д. 52/55

ООО «ИТ-Сервис»,

Тел. 8(846) 212-00-39, email: [sekr@its-samara.com](mailto:sekr@its-samara.com)

Подпись кандидата технических наук,

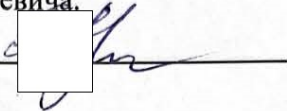
Начальника отдела материаловедения Чистопольцевой Е.А., заверяю:

Директор по науке

  Ревякин В.А./

Я, Чистопольцева Елена Александровна, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанную с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела Данилова Владимира Алексеевича.

29 ноября 2022 года



Чистопольцева Елена Александровна