

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

Диссертационная работа Данилова Владимира Алексеевича посвящена разработке методик количественного анализа повреждений поверхности металлических материалов, формирующихся в результате воздействия внешней среды (коррозия), и рельефа поверхности разрушения (излома). По характеру расположения повреждений на поверхности и их геометрии можно судить о механизмах формирования этих дефектов, без знания которых невозможно разрабатывать эффективные способы их недопущения. Объективный анализ поврежденных поверхностей представляет собой сложную задачу, что во много объясняется отсутствием четких, поддающихся количественной, оценке характеристик. Поэтому в большинстве случаев анализ поврежденной поверхности или изломов носит лишь качественный, описательный характер, степень объективности которого целиком зависит от опыта исследователя (эксперта). Кроме того, для корректного и полного количественного описания поверхности разрушения необходим массив данных о 3-х мерных координатах каждой ее точки. Существующий на сегодняшний день инструментарий не применим для исследования развитого рельефа.

В связи с этим, в современном материаловедении существует острая необходимость в создании методик количественной оценки поверхностей разрушения и коррозионного поражения. Поэтому не вызывает сомнения актуальность работы, направленной на разработку и применение конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (КЛСМ) для количественного описания развитой поверхности металлических материалов, сформированной в результате разрушения или коррозионного воздействия.

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 обосновывается актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и задачи исследований, приведены научная новизна, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимость работы, личный вклад автора, апробация результатов работы и объём.

В первой главе автором выполнен анализ отечественных и зарубежных литературных источников, посвящённых основным методикам, нашедшим применение в материаловедении для описания повреждённой поверхности, с анализом их достоинств и ограничений. При этом автор подчеркивает отсутствие регламентированного количественного параметра однозначно характеризующего изломы. Подробно рассматриваются методы оценки скорости коррозии металлов и сплавов и отмечается, что используемые в настоящее время методы не позволяют определять скорость наиболее опасной, локальной коррозии. В результате анализа литературных данных формулируется цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе приводится описание и характеристики исходных материалов. В качестве модельного материала для фактографических исследований использовалась низкоуглеродистая сталь 10. Технически чистый магний, монокристалл магния, сплав ZK60 и алюминий высокой чистоты А95 использовались при коррозионных исследованиях. В качестве коррозионной среды для магния применялся раствор Рингера и 0,9NaCl, а при испытании алюминия 3% NaCl и 0,1% H₂O₂. Приведены методики пробоподготовки образцов, механических и коррозионных испытаний с последующем анализом морфологии поверхности образцов после испытания.

В третьей главе приведены результаты разработки процедур по получению качественных трёхмерных изображений поверхности изломов с использованием КЛСМ, и их применение для исследования поверхности

разрушения при механических испытаниях в температурном диапазоне от -196 до +200°C. Автором предложен количественный параметр характеристической площади поверхности (R_s) для оценки степени вязкости поверхности разрушения, выявлены оптимальные параметры съёмки с использованием КЛСМ, позволяющие получать наиболее объективные результаты.

Показано, что температурные зависимости параметра R_s при испытании на растяжение показывают очень хорошую корреляцию со стандартной методикой получения сериальных кривых по ударной вязкости. Разработанная в диссертации процедура определения углов разориентировок фасеток скола в хрупком изломе дает возможности анализа закономерностей процессов деформации и разрушения материалов

В четвёртой главе приведен комплекс методических процедур для коррозионных испытаний и съёмки морфологии поверхности после коррозионных испытаний. Автором предложен эффективный метод оценки скорости коррозии с применением метода КЛСМ. Установлено, что методика, основанная на применении КЛСМ, обладает значительно более высокой чувствительностью по сравнению со стандартным гравиметрическим методом.

Показано, что сравнение разработанной методики со стандартными методами определения скорости коррозии, массовым и по выходу водорода, демонстрирует хорошую сходимость значений между собой. В то же время, только по данным метода КЛСМ можно оценить скорости локальной коррозии.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы

Обоснованность полученных автором результатов работы обеспечена анализом достаточного количества отечественных и зарубежных источников в выбранной автором области, корректной постановкой цели и задач, проведением экспериментов на современном оборудовании. В ходе выполнения диссертационной работы был выполнен достаточный объём экспериментальных исследований, обеспечивающий высокую достоверность

результатов. Экспериментальные результаты автора по разработанным методикам соискателя имеют хорошую сходимость как со стандартными методиками, так и с данными других авторов.

Оценка степени научной новизны диссертационной работы

К числу новых и важных результатов, полученных автором, можно отнести следующие:

1. Показано, что введённый для характеристики вязкости (хрупкости) исследуемого материала новый параметр: характеристическая площадь поверхности – чувствителен к изменению морфологии поверхности разрушения от температуры испытания;

2. Экспериментально установлено, что зависимости характеристической площади поверхности и ударной вязкости от температуры хорошо коррелирует между собой, что позволяет существенно упростить и дополнить методику оценки вязко-хрупкого перехода;

3. Установлено влияние предварительной пластической деформации на величину среднего угла разориентировки и кривизну фасеток скола в изломе, что вносит заметный вклад в понимание механизма деформации и разрушения поликристаллов;

4. Получаемые с помощью метода КЛСМ трёхмерные сканы повреждённой коррозией поверхности позволяют оценить не только равномерную, но и локальную скорость коррозии, что существенно дополняют стандартную методику оценки общей коррозии гравиметрическим методом;

5. Высокая чувствительность метода КЛСМ позволила установить, что в чистом алюминии скорость равномерной и локальной коррозии изменяются по бимодальной зависимости.

Практическая значимость результатов исследования заключается в следующем:

1. Разработана методика количественной оценки степени вязкости поверхности разрушения с применением метода конфокальной лазерной сканирующей микроскопии. Получен патент РФ.

2. Разработаны приёмы по оценке углов разориентировки и степени кривизны фасеток скола в хрупком изломе.
3. Разработан способ количественной оценки морфологии коррозии металлических материалов, позволяющий оценить как равномерную, так и локальную скорость коррозии. Получен патент РФ.

Замечания по диссертационные работы

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В пункте 4.1.5 не объяснено, почему монокристалл магния ориентирован к рабочей поверхности образца именно плоскостью базиса (0001);
2. В работе убедительно доказана зависимость характеристической площади поверхности от температуры испытаний, а насколько чувствителен этот параметр к структурным характеристикам, таким как размер зерна, кристаллографическая текстура?
3. В пункте 4.1.6 в качестве оптимального диаметра образца выбран размер 2 мм, однако при этом не указано до какого размера зерна испытуемого материала такой размер образца будет давать корректные результаты.
4. На рисунке 4.3 в подписях на осях профилограмм отсутствует информация на русском языке;
5. В работе применительно к чистому алюминию был получен интересный результат о цикличности изменения во времени скоростей равномерной и локальной коррозии. Однако исследование проведено только на базе 160 суток, поэтому не ясно, сохраняется ли эта тенденция в дальнейшем.

Заключение


Указанные замечания носят уточняющий и рекомендательный характер, не влияют на основные теоретические и практические результаты диссертационного исследования и не снижают общую положительную оценку работы.

Диссертация Данилова В.А. выполнена на актуальную тему, ее результаты прошли апробацию на профильных научных конференциях, опубликованы в высокорейтинговых изданиях, содержит новые и важные в научном и практическом плане результаты, автореферат и опубликованные работы отражают ее основное содержание.

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

Диссертационная работа 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, профессор кафедры «Технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов», доктор технических наук (по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов), профессор

 _____ **Бецофен Сергей Яковлевич**
18.11.2022

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Почтовый адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4

Тел. 8(910)459-95-25

e-mail: s.betsofen@gmail.com

Подпись Бецофена С.Я. удостоверяю

зам. нач. Управления



С.Я. Бецофен