



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям,
доктор технических наук, профессор

М.Р. Филонов

11 _____ 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

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

Актуальность темы исследования

Анализ повреждённой поверхности металлических материалов относится к приоритетным задачам современного материаловедения, поскольку позволяет: установить причины, вызвавшие повреждения, разобраться в механизмах разрушения и с их учетом разработать меры по повышению сопротивления материалов разрушению. Сложность указанной задачи состоит в том, что повреждения поверхности, например, в результате коррозии, или рельеф излома вследствие разрушения имеют сложную пространственную геометрию, требующую для своего адекватного описания применение инструментария, позволяющего с необходимой точностью ее оцифровать. Ввиду отсутствия такого инструментария оценка морфологии поверхности в большинстве случаев ограничивается качественным анализом (сравнение с эталоном - картинкой или словесное описание). В связи с этим, диссертационная работа Данилова В.А., направленная на разработку цифровых процедур количественной оценки поврежденной поверхности с помощью метода конфокальной лазерной сканирующей микроскопии (КЛСМ), безусловно, относится к исследованиям, выполненным на актуальную тему.

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.

Общая характеристика работы

Во введении описана актуальность работы, сформулированы ее цель и задачи, отмечены научная новизна и практическая значимость исследования, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава включает результаты анализа методик, применяемых в физическом материаловедении для анализа поверхности разрушения и морфологии коррозионных повреждений, а также методов оценки скорости коррозии. Оценены их возможности и границы применения, показаны перспективы КЛСМ.

Во второй главе описаны материалы и методы исследования. В качестве модельных материалов для исследования поверхности разрушения выбрана низкоуглеродистая сталь 10, а для коррозионных испытаний – технически чистый магний, монокристалл магния, магниевый сплав ZK60 и алюминий высокой чистоты А95. Подробно изложены методические особенности проведения механических и коррозионных испытаний и анализа поверхности, области применения в работе современного исследовательского оборудования, в частности, сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) SIGMA фирмы Carl Zeiss и JEOL JCM-6000, КЛСМ Lext OLS4000, Olympus, испытательного оборудования (маятниковый копер Time Group JB-W30, испытательная машина Instron 8802, климатическая камера Instron SFT3119).

Третья глава посвящена разработке процедур по получению качественных 3D сканов изображений поверхности и их применения для исследования поверхности разрушения образцов стали 10 после испытаний в широком интервале температур, а также для расчёта углов разориентировок фасеток скола в хрупком изломе. Всесторонне обсуждены метрологические аспекты предлагаемых процедур получения изображений и их обработки, позволяющие оценить воспроизводимость полученных результатов и оценку их значимости.

В четвёртой главе описаны методические аспекты пробоподготовки образцов для проведения коррозионных исследований с помощью КЛСМ, а также результаты апробации разработанной методики при исследовании коррозии на магниевых и алюминиевых сплавах.

Научная новизна

К основным результатам диссертационной работы Данилова В.А., обладающим научной новизной, можно, в частности, отнести обоснование возможности сопоставления вязкости материалов по характеристической площади излома R_s – отношению площадей

его рельефа и поля зрения, например, при построении на основе ее сериальных измерений в интервале температур от -200 до $+200^{\circ}\text{C}$ (на изломах цилиндрических образцов с кольцевым надрезом из стали 10, испытанных на растяжение при скорости перемещения траверсы 100 мм/мин) зависимости сигмоидального вида, эквивалентной сериальной кривой, полученной при ударных испытаниях по Н.Н. Давиденкову; экспериментально доказано существование зависимостей среднего угла разориентировки и кривизны фасеток скола в изломе низкоуглеродистой стали от степени предварительной деформации; показано, что последовательные измерения 3D-изображений поверхности образцов магния и алюминия, полученных в процессе воздействия агрессивной среды, обеспечивают возможность определения скорости как равномерной, так и локальной коррозии, благодаря чему удалось выявить цикличность изменения равномерной и локальной скоростей коррозии в чистом алюминии.

Практическая значимость результатов работы

Методические аспекты, разработанные в диссертационной работе Данилова В.А., имеют большую практическую значимость, т.к. могут послужить основой для создания регламентированных методик количественной оценки поверхности разрушения (изломов) и морфологии коррозионных повреждений.

Полученные результаты могут быть полезны специалистам заводских и научных металлургических лабораторий, занимающимся выяснением механизмов разрушения и коррозии, работающим в области физического материаловедения.

Результаты, полученные в ходе выполнения настоящей диссертационной работы, будут способствовать ускорению внедрения в практику трехмерного способа анализа поверхности с применением метода КЛСМ, дальнейшего развития представлений о физической природе механизмов разрушения и коррозии, а также физического материаловедения в целом.

Методика определения параметров коррозионных повреждений с помощью метода КЛСМ была внедрена в ООО «ССДЦ «Дельта».

Достоверность результатов и выводов

Достоверность полученных в работе результатов и сделанных выводов сомнения не вызывает, так как все эксперименты выполнены с применением современного высокоточного оборудования, цифровизации измерений, обеспечивающих их необходимую массовость, документированность и быстрое накопление результатов,

пошагово прописанных методик, с достаточным для оценки достоверности результатов объеме экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 18-32-00367, №19-38-90090, РФФИ 18-19-00592-П, Государственного задания № FEMR-2021-0011.

Полученные в работе результаты многократно докладывались и подробно обсуждались на всероссийских и международных профильных конференциях, опубликованы в ведущих научных изданиях. Результаты диссертации опубликованы в 15 научных работах, включая 7 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК и входящих в системы Scopus и Web of Science, а также зафиксированы в 2-х патентах РФ.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и в необходимом объеме отражает её основные результаты и выводы.

По работе имеются следующие замечания и рекомендации

1. Первая глава диссертационной работы, посвященная обзору и анализу литературных данных, несколько перегружена излишне детальным изложением некоторых вопросов.

2. Из диссертационной работы не ясно, насколько методика оценки сопротивления разрушению с помощью характеристической площади поверхности универсальна, т.е. насколько она применима к другим маркам сталей и сплавов?

3. Хорошо известно, что сопротивление разрушению во многом зависит от степени стесненности пластической деформации по сечению образца, поэтому было бы целесообразно сопоставить степень развитости рельефа разрушения в центральной части и на периферии образца. В этой связи не вполне понятно, каким образом это учитывалось при определении величины характеристической площади поверхности в работе?

4. Итогом сканирования поверхности разрушения методом КЛСМ является получение массива данных положений каждой точки в трёх координатах, именно благодаря использованию этого массива автору, к примеру, удалось построить гистограмму распределения фасеток хрупкого излома по углам разориентировки. Было бы интересно оценить возможность применения подобных приемов для анализа коррозионных повреждений, например, в виде их распределения по размерам, степени вытянутости, равномерности расположения на поверхности и т.п.?

5. В работе было показано, что распределение зерен по размерам для образцов из стали S235JR в состоянии поставки и образцов, отожженных при 850 °С и при 950 °С (рис.

3.14, с. 96 диссертации) имеет асимметричный характер. В этой связи было бы полезно оценить в какой мере средние значения соответствующих выборок результатов измерения (табл. 3.3, там же) адекватно оценивают их.

6. Химический состав стали S235JR не приведен в разделе диссертации 2.1.1.

Заключение

Вышеприведённые замечания носят частный характер и не снижают общую научную и практическую значимость выполненных исследований. Диссертационная работа Данилова В.А. является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные решения, необходимые для разработки методов оценки сопротивления сталей и сплавов разрушению и их коррозионной стойкости, что существенно для развития ряда инновационных отраслей промышленности. Работа выполнена на высоком экспериментальном уровне, полученные результаты являются новыми и имеют научную и практическую значимость. Достоверность результатов не вызывает сомнений и подтверждается их согласованностью с литературными данными. Это позволяет утверждать, что обозначенные в работе цели и задачи исследования достигнуты, а положения, выносимые на защиту, экспериментально доказаны.

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

Отзыв составлен на основании анализа диссертации, автореферата и публикаций Данилова В.А. и ее обсуждения на заседании кафедры металловедения и физики прочности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национально-исследовательский технологический университет «МИСиС» (протокол № 5 от « 21 » ноября 2022 г.)

Заведующий кафедрой металловедения
и физики прочности, д.т.н.

(05.16.01 - Металловедение и термическая
обработка металлов и сплавов), профессор



Сергей Анатольевич Никулин