

Министерство промышленности и торговли  
Российской Федерации  
Государственный научный центр  
Российской Федерации



**Центральный  
научно-исследовательский  
институт черной металлургии  
им. И.П.Бардина**

Федеральное государственное унитарное предприятие  
(ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»)

105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2  
Тел. (495) 777-93-01; Факс (495) 777-93-00  
ИНН/КПП 7701027596/770101001  
E-mail: [chermet@chermet.net](mailto:chermet@chermet.net)  
[www.chermet.net](http://www.chermet.net)

20 48/1239 г. №  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_



И.о. генерального директора  
ФГУП ЦНИИчермет им. И.П. Бардина»

В.А. Углов

« 1 » декабря 2016 г.

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу Мерсона Евгения Дмитриевича  
«Исследование механизма разрушения и природы акустической эмиссии при  
водородной хрупкости низкоуглеродистой стали», представленную на  
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.07– физика конденсированного состояния

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью увеличения надежности эксплуатации изделий из низкоуглеродистых сталей, эксплуатирующихся в условиях контакта с водородосодержащими средами и подверженных деградации свойств, связанной с реализацией различных механизмов водородного охрупчивания. Для достижения указанной цели, с одной стороны, необходимо повышать стойкость сталей к негативному воздействию водорода, что невозможно без глубокого понимания физической природы процессов, протекающих в сталях с участием водорода. С другой стороны, требуется проводить исследования, направленные на разработку эффективных средств неразрушающего контроля и раннего диагностирования водородного охрупчивания, в частности, основанных на методе акустической эмиссии (АЭ).

Общеизвестно, что механизм разрушения сталей существенно изменяется в присутствии растворенного водорода. Однако тонкости этого явления по-прежнему являются предметом постоянных дискуссий, что

подтверждается: большим объемом ежегодно публикуемой на эту тему литературы; проведением международных конференций, специально посвященных этой тематике, а также многообразием предложенных теорий водородной хрупкости. В частности, малоизученным явлением остается образование, так называемых, дефектов типа «рыбий глаз» в изломах низкоуглеродистых сталей, насыщенных водородом.

Многие исследователи для изучения и диагностики материалов, подверженных водородной хрупкости применяли метод акустической эмиссии. Однако относительно влияния наводороживания на поведение АЭ в низкоуглеродистых сталях существуют противоречивые результаты. На сегодняшний день ситуация такова, что нельзя говорить не только об эффективности, но даже о самой возможности осуществления акустико-эмиссионного неразрушающего контроля и мониторинга оборудования из низкоуглеродистых сталей, для которого существует риск развития водородной хрупкости.

Актуальность работы обусловлена тем, что в ней на примере типичной низкоуглеродистой стали, насыщенной водородом в широком диапазоне концентраций, сделана попытка ответить на отмеченные выше вопросы за счет использования эффективного сочетания классических исследовательских методов (механические испытания, газовый анализ и т.д.) с новейшими методиками фрактографического анализа.

### **Научная значимость.**

1. Впервые показано, что образование дефектов типа «рыбий глаз» в низкоуглеродистых сталях является следствием роста вязких трещин по механизму образования и слияния микропор, реализующегося под действием диффузионно-подвижного водорода.

2. Установлено, что формирование дефектов типа «рыбий глаз» процесс сравнительно медленный, не характеризующийся единовременным высвобождением большого количества упругой энергии, и поэтому, не



сопровождающийся акустической эмиссией с амплитудой, достаточной для ее регистрации при помощи стандартной аппаратуры. При этом, в экспериментах в результате наводороживания может наблюдаться как снижение, так и увеличение интенсивности АЭ, что никак не связано с процессом роста трещин «рыбий глаз».

3. Экспериментально доказано, что образование транскристаллитных фасеток на поверхности дефектов «рыбий глаз» не является следствием хрупкого разрушения в результате скола или квазискола.

4. Впервые подробно изучена эволюция дефектов типа «рыбий глаз» в электролитически наводороженной низкоуглеродистой отожженной стали в процессе ее одноосного растяжения и, в частности, показано, что рост количества и площади дефектов «рыбий глаз» начинается сразу после завершения площадки текучести на стадии деформационного упрочнения и интенсифицируется на стадии локализованной деформации.

### **Практическая ценность.**

1. Полученные в работе новые данные о поведении АЭ в охрупченных водородом низкоуглеродистой и высокопрочной высокоуглеродистой сталях, должны быть учтены при разработке методик неразрушающего контроля и мониторинга оборудования, эксплуатирующегося в условиях риска развития водородной хрупкости.

2. Установлено, что зависимость концентрации диффузионно-подвижного водорода в низкоуглеродистой стали от плотности тока электролитического наводороживания имеет сигмоидальный вид с тремя хорошо выраженными участками: 1) относительно медленного повышения концентрации водорода, 2) ее ускоренного роста и 3) насыщения, что может быть полезно для лабораторных исследований, в которых используется электролитический способ насыщения водородом.

3. Разработанная методика определения углов разориентировки фасеток на поверхности разрушения при помощи конфокальной лазерной

сканирующей микроскопии может быть использована в качестве эффективного инструмента в практике фрактографических исследований.

**Достоверность экспериментальных данных**, полученных в работе, обеспечивается корректностью поставленных задач, использованием широкого набора взаимодополняющих экспериментальных методов, а также обоснованностью используемых приближений и совпадением результатов теоретического анализа с имеющимися экспериментальными данными.

По диссертационной работе Мерсона Е.Д. имеется ряд замечаний:

1. В работе не приведены сведения о влиянии наводороживания на спектральные параметры сигналов акустической эмиссии, хотя хорошо известно, что эти данные, зачастую могут нести важную информацию о физических процессах, протекающих в материале. Возможно, спектральный анализ акустической эмиссии мог бы позволить идентифицировать процесс роста вязких трещин, протекающий в наводороженной низкоуглеродистой стали.

2. Автор ограничился исследованием механизма разрушения и поведения акустической эмиссии наводороженной низкоуглеродистой стали только в отоженном состоянии, хотя с точки зрения прикладных задач больший интерес, очевидно, представляют аналогичные данные, полученные на стали такого же класса после упрочняющей термической или термомеханической обработки.

3. Эволюция дефектов типа «рыбий глаз» исследована на образцах, наводороженных при одинаковой плотности тока и, следовательно, одной и той же концентрации водорода. Вполне вероятно, что стадийность роста данных дефектов может отличаться в зависимости от величины концентрации водорода в образце, поэтому в вывод о стадийности роста дефектов «рыбий глаз» было бы корректнее внести ограничение по диапазону концентраций водорода.



Высказанные замечания по диссертационной работе Мерсона Е.Д. носят рекомендательный характер и не снижают ценности и положительной оценки работы.

В целом диссертация Мерсона Евгения Дмитриевича представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные исследования. Основные результаты диссертационной работы являются **новыми**, они представлены и изложены четко и убедительно, выводы в работе логически обоснованы. Тема исследования является, несомненно, актуальной, а сама работа выполнена на высоком научном уровне.

Результаты работы могут быть полезны организациям, занимающимся разработкой сталей для эксплуатации в водородосодержащих средах (ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина», Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, ОАО «РосНИТИ» и др.), а также специалистам организаций, занимающихся неразрушающим контролем (ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ООО «Интерюнис ИТ», ООО «ИТ-Сервис» и др.).

### **Заключение.**

Диссертационная работа Мерсона Евгения Дмитриевича выполнена на актуальную тему и представляет собой законченный научно-исследовательский труд. Полученные экспериментальные результаты обоснованы и достоверны, имеют практическую и научную ценность.

Автореферат и опубликованные труды автора отражают основные положения диссертационной работы, а результаты исследований прошли широкую апробацию на отечественных и международных научных конференциях.

Диссертационная работа Мерсона Е.Д. «Исследование механизма разрушения и природы акустической эмиссии при водородной хрупкости низкоуглеродистой стали» соответствует предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением

Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

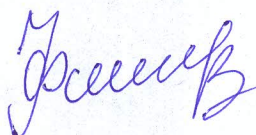
Диссертационная работа рассмотрена и обсуждена на заседании научно-техническом совета Института металловедения и физики металлов ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П.Бардина» 1 декабря 2016 г. (протокол № 12).

Зам. председателя НТС,  
к.т.н.



Ковалев Александр Иванович

Ученый секретарь НТС,  
к.ф.-м.н.



Филиппова Варвара Петровна