

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Судьина Владислава Витальевича «Исследование особенностей разрушения низколегированных сталей и их сварных соединений в интервале вязко-хрупкого перехода», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

Актуальность исследования. Неизбежное рассеяние ударной вязкости при понижении температуры испытания – классический признак достижения вязко-хрупкого перехода в сталях. Однако этого недостаточно для того, чтобы сформулировать требования к критериям вязко-хрупкого перехода, обеспечивающим объективный прогноз работоспособности материала. В этой связи необходима совместная оценка морфологии структур и механизмов разрушения сталей, для выявления критических параметров структуры, определяющих вязко-хрупкий переход и условий появления значительного разброса ударной вязкости. Это обстоятельство определило актуальность диссертационной работы.

Научная новизна работы. Основываясь на анализе большого массива результатов испытаний на ударный изгиб сварных соединений и основного металла низколегированных сталей в интервале вязко-хрупкого перехода установлены соотношения между параметрами динамической кривой и механизмом разрушения образца в испытаниях на ударный изгиб; микроструктурой и пластической деформацией с зарождением скола и рассеянием ударной вязкости в интервале температур вязко-хрупкого перехода, описаны возможные условия конкуренции между зернограничным и транскристаллитным разрушением при коррозионном растрескивании под напряжением (КРН).

Диссертация состоит из введения и 9 глав, текст изложен на 189 страницах, содержит 147 рисунков, 7 таблиц и список литературы из 185 наименований.

Во введении сформулированы цель и задачи исследования. Показана актуальность работы, ее теоретическая и практическая значимость. Приведены положения, выносимые на защиту и научная новизна.

В первой главе представлен аналитический обзор по теме диссертации. Рассмотрены некоторые аспекты теории хрупкого разрушения, вопросы, связанные с влиянием микромеханизма разрушения на ударную вязкость сталей, механизмов коррозии под напряжением. Оценены возможности

развития инструментированных испытаний на ударный изгиб, применения методов электронной микроскопии для исследования разрушения, машинного обучения применимо к задачам материаловедения. Как итог сформулированы задачи исследования.

Во второй главе приведены сведения о исследованных материалах (низколегированные стали 09Г2С в различном состоянии, включая пять видов сварных швов, стали 17Г1С-У с трещинами КРН, трубные стали класса прочности К60) и описание методик проведенных экспериментов, включая методику пробоподготовки образцов для исследования микроструктуры, в том числе методами дифракции отраженных электронов и просвечивающей электронной микроскопии. Описаны подходы к изучению микроструктуры современными электронно-микроскопическими методами, методы испытаний образцов и фрактографического анализа.

В третьей главе развиты подходы к разработке метода автоматического анализа изломов, на основе анализа изломов образцов из низколегированных сталей после испытаний на ударный изгиб. В частности, предложен алгоритм для определения расположения участков вязкого и хрупкого разрушения на изображении изломов;

В четвертой главе проанализирована взаимосвязь между параметрами динамической кривой и механизмом разрушения в интервале вязко-хрупкого перехода. Оценены возможности построения моделей на основе нейронной сети, описывающей взаимоотношение между параметрами динамических кривых разрушения и долей вязкой составляющей в изломе (ДВИ) образцов для ряда микроструктур. Показано, что зависимость между приведенными параметрами динамической кривой и ДВИ образца нелинейная и плохо моделируется методом линейной регрессии.

В пятой главе сопоставляется распределение затрат энергии по стадиям деформации образца при испытании на ударный изгиб. Показано, что при испытаниях на ударный изгиб образцов низколегированных сталей и их сварных соединений в интервале температур вязко-хрупкого перехода существует риск получения значений ударной вязкости, при которых образец признаётся годным по уровню энергии, затраченной на разрушение, хотя работа, совершенная до образования хрупкой трещины, имеет значение существенно меньшее, чем нормативный уровень общей энергии разрушения;

- в шестой главе рассматриваются диссипативные процессы, сопровождающие распространение трещины скола в ферритно-перлитной микроструктуре. Уточнена роль и механизм влияния перемычек различной

природы между трещинами скола в повышении сопротивляемости стали хрупкому разрушению;

- седьмая глава посвящена оценке влияния микроструктуры на рассеяние значений ударной вязкости околошовной зоны труб класса прочности K60 и анализируется, в частности, роль включений нитрида титана;

- восьмая глава посвящена исследованию микроструктурных аспектов хладноломкости сварных соединений низколегированных малоуглеродистых сталей. Показано, что возможны различия между системами триггеров скола сварных соединений, выполненных различными методами, отмечается вклад неметаллических включений в зарождение хрупкого разрушения, в частности, титансодержащих неметаллических включений;

- в девятой главе рассматривается влияние границ зёрен на распространение трещин КРН. Отмечается, что возможен переход от межзеренного к транскристаллитному разрушению, обусловленный кристаллографическими или геометрическими параметрами границ зерен. Показано, что тип границы зерна (углы наклона и кручения решеток) и разориентация кристаллитов на границе в меньшей степени влияет на её устойчивость в условиях КРН в околонеutralной среде. Обнаружено, что переход от межзеренного к транскристаллитному росту трещин КРН наблюдается в тройных стыках зерен, в которых нет случайно ориентированных границ, благоприятно расположенных относительно плоскости роста трещины.

Достоверность полученных результатов. Достоверность полученных результатов определяется использованием современных разноплановых средств и методов анализа: оптической - Carl Zeiss Jenatech Inspection с системой оцифровки изображений на основе Canon EOS 6D и электронной микроскопии - CrossBeam 1540 EsB (Carl Zeiss). Ориентационное картирование проводилось при помощи приставки Nordlyss S (Oxford Instruments) и комплекса программного обеспечения HKL Channel 5 (Oxford Instruments). Макрофрактографический анализ проводился при помощи цифровой макрофотографической станции Canon (EOS 6D + Macro Photo Lens MP-E 65mm). Испытания на статическое растяжение - испытательной машины INSTRON 3382, ударный изгиб - на маятниковом копре Roell Amsler RKP-450 (Zwick/Roell). Воспроизводимость результатов проверялась на большом количестве сталей с различной микроструктурой и нашла свое подтверждение при сопоставлении с результатами, представленными в рецензируемых научных журналах.

Практическая значимость работы. Экспериментально выявленные различия в механизмах разрушения основного металла и металла сварных швов могут быть использованы для повышения объективности оценок надежности работы низколегированных сталей в конструкциях и совершенствовании технологии сварки.

Апробация работы и публикации. Основные результаты работы были представлены: XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов. "Физико-химия и технология неорганических материалов". II научно-практический семинар ООО «Газпром ВНИИГАЗ» «Повышение надежности магистральных газопроводов коррозионному растрескиванию под напряжением» 24–26 мая 2016 г. Москва. IX-ая Евразийская научно-практическая конференция Прочность неоднородных структур - ПРОСТ 2018. Москва, НИТУ «МИСиС» 24-26 апреля 2018 г. «КОРРОЗИЯ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ» — CORROSION OIL&GAS 2019. 22-24 мая 2019 г., Санкт-Петербург. First Virtual European Conference on Fracture (VECF1), on-line 29 Июня – 1 Июля 2020. Materials Science and Engineering Congress (MSE), Darmstadt, Germany 2020, 22-25 сентября 2020.

Основные положения диссертации изложены в 5 публикациях из перечня журналов ВАК и/или индексируемых в системах Scopus и WOS.

Автореферат достаточно полно отражает материалы диссертации, его содержание и выводы соответствуют основным положениям диссертационной работы.

Диссертация написана четким и понятным языком, хорошо оформлена, в работе подробно представлены теоретическое описание и используемые экспериментальные методики. Результаты работы, наряду с очевидной научной новизной, имеют практическую направленность.

Замечания:

- достаточно схематично в обзоре литературы проанализированы возможности применения нейронных сетей. Они быстро строят решающий "черный ящик", который предсказывает результат. Но само решение нередко остается спрятанным «внутри программы», а способность нейронной сети предсказывать правильно зависит от объема обучения. В этой связи был бы весьма полезен критический анализ практики применения нейронных сетей в рамках исследуемого класса задач;

- для обучения нейронной сети было построено частотное распределение значений доли вязкого излома для всех образцов (рис. 3.2 диссертации). На его основе был сделан вывод о том, что приведенное распределение значений доли вязкого излома равномерно, с небольшим

сдвигом в область низких значений, что позволило соискателю предположить достаточность данных для обучения нейронной сети. Однако наблюдается ли для найденного распределения наименьшее среднеквадратичное отклонение от истинного не ясно;

- в работе на основе сопоставления изображений хрупкого и вязкого изломов (рис. 3.4. и 3. 5 диссертации) и Фурье-образов изображений вязкой и хрупкой составляющих излома (рис. 3.6, там же) делается вывод о том, что можно использовать значения яркости пикселей изображений последних, к привязке к их месту расположения в изломе, в качестве входных параметров для обучения нейронной сети, т.к. они сохраняют своё положение при переходе от одного изображения к другому. Однако при этом не вполне понятно, почему при достаточно однородном характере поля яркости изображений в оттенках серого хрупкого и вязкого изломов, например, для стали 17Г1С_8, должны так отличаться их Фурье-образы;

- в одном из выводов пятой главы утверждается, что «контроль раннего зарождения хрупкой трещины возможен путём измерения расстояния от надреза до области хрупких фасеток на изображении излома с применением показанной зависимости между прогибом образца до образования хрупкого участка излома и расстоянием от надреза до области хрупких фасеток». При этом отмечается, что замена параметра глубины вязкой трещины на долю вязкого излома невозможна. В этой связи было бы полезно привести результаты фрактографического анализа для иллюстрации сделанного заключения;

- в выводе 5 к шестой главе диссертации указывается на наличие четырёх механизмов образования деформации при транскристаллитном росте трещины скола. Не вполне понятно тогда, почему к таковым относится «третий механизм – межзёренное разрушение, которое протекает практически без деформации материала»;

- при анализе микроструктурных факторов хладноломкости сварных соединений низколегированных малоуглеродистых сталей, определяющих зарождение скола (глава 8) отмечается, в частности, о возможности межзёренного разрушения в связи с наличием в микроструктуре крупных зерен зернограничного феррита. Однако, что приводит к вскрытию зернограничных фасеток требует более подробного объяснения;

-

Заключение

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не влияют на положительную оценку диссертационной работы Судьина В.В. В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом

уровне и представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой содержится решение научной задачи – выявление механизмов разрушения низколегированных сталей (и сварных соединений из них) в интервале температур вязко-хрупкого перехода с привязкой к структуре, что существенно для повышения объективности прогноза надежности их работы в эксплуатации.

По научному уровню полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Судьин Владислав Витальевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Профессор кафедры металловедения и физики прочности НИТУ «МИСиС»,
доктор технических наук, профессор,

Кудря Александр Викторович


07.06.2021

г. Москва, 119049, Ленинский проспект, д. 4, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», e-mail: AVKudrya@misis.ru, т.: 8 (495) 955-00-13

Подпись
Кудря А.В.
заверяю





Проректор по науке
Ирина Викторовна
И.Р. Филонов.