

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Воркачева Константина Григорьевича «Микроструктура низколегированных сталей и особенности их разрушения в интервале вязко-хрупкого перехода», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность исследования. Надежность и безотказность работы конструкционных материалов в условиях эксплуатации обеспечивается комплексом свойств, в т.ч. высокой сопротивляемостью разрушению. Её, в частности, характеризует хладостойкость материалов. Для широкого класса сталей, в т.ч. низколегированных, вязко-хрупкому переходу соответствует повышенный разброс значений ударной вязкости. Природа его до конца не выяснена, в существенной мере это может быть связано с ограниченностью используемого на практике (в рамках серийных ударных испытаний по Н.Н. Давиденкову) объема экспериментального материала. В какой мере, не вполне ясно. Это обстоятельство определило актуальность диссертационной работы.

Научная новизна работы. Предложен метод визуализации пластической деформации, сопровождающей разрушение ударных образцов низколегированных сталей в интервале вязко-хрупкого перехода. Экспериментально выявлена корреляционная связь между соотношением суммарной длины хрупких и вязких микротрещин и величиной ударной вязкости при испытаниях на ударный изгиб. С использованием методов дифракции отраженных электронов, просвечивающей Кикучи дифракции и 3D -реконструкции микроструктуры экспериментально уточнено тонкое строение перлита. Особенности $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения в современных низкоуглеродистых низколегированных и микролегированных сталях с ферритно-бейнитной микроструктурой, сопоставлены с разбросом значений ударной вязкости в интервале вязко-хрупкого перехода.

Практическая значимость работы. Расширено представление о механизмах влияния неоднородной микроструктуры в листовой стали на появление разброса ударной вязкости (в рамках штатной технологии). Результаты работы использованы на практике в ходе совместных работ ИМЕТ РАН и ИТЦ АО "ВМЗ" при оптимизации микроструктуры толстолистового проката и зоны термического влияния низкоуглеродистых микролегированных сталей.

Достоверность полученных результатов. Научные результаты получены на сертифицированном испытательном оборудовании, с применением современных методов исследований. Особенности микроструктуры и разрушений изучались с применением двухлучевой установки CrossBeam 1540 EsB (Carl Zeiss) методами дифракции отраженных электронов (ДОЭ), просвечивающей Кикучи дифракции (ПКД), микроскопии ориентационного контраста (МОК), микроскопии фокусированного ионного пучка (ФИП) и 3D-реконструкции микроструктуры ФИП/ДОЭ. ДОЭ карты получались при ускоряющем напряжении 20 кВ по квадратному растру с шагом 100-200 нм, в режиме высокого тока с биннингом 4x4, углом наклона в 70° и рабочим отрезком в 15 мм. Представительный массив экспериментальных данных был обработан с применением необходимых процедур статистической обработки и проверке на низкоуглеродистых низколегированных и микролегированных сталях других составов.

Апробация работы и публикации. Основные результаты работы были представлены на Международной конференции и школе по дифракции отраженных электронов Oxford Instruments EBSD user meeting 2013, 2019 (апрель 2013 года, г. Франкфурт-на-Майне, сентябрь-октябрь 2019 года, г. Эрбах, Германия); XIX Российском симпозиуме по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам исследования твердых тел (июнь 2015 года, г. Черноголовка); Международной конференции IUMRS-ICAM 2015 (октябрь 2015 года, г. Джеджу, Республика Корея); Международной конференции State-of-the-art Trends of Scientific Research of Artificial and Natural Nanoobjects 2016, 2018 (апрель 2016 года, г. Санкт-Петербург, октябрь 2018 года, г. Москва); Международной конференции Materials Science and Engineering Congress 2016, 2018 (сентябрь 2016, 2018 года, г. Дармштадт, Германия); 16-ой конференции молодых ученых и специалистов «Новые материалы и технологии» КМУС-2017 (июнь 2017 года, г. Санкт-Петербург); Международной конференции XIV Китайско-Российский Симпозиум «Новые материалы и технологии» (ноябрь-декабрь 2017 года, г. Санья, Китай); VIII Евразийском симпозиуме по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата посвященный памяти и 80-летию академика В.П. Ларионова Eurastrencold-2018 (2018 г., г. Якутск).

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

Аннотация полностью 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:

- очевидно, что соискатель в работе придерживался терминологии, соответствующей ГОСТ Р ИСО 148-1-201, однако термин "хрупкая составляющая" применимо к макростроению излома представляется не совсем корректным, в связи с возможным диапазоном микромеханизмов разрушения в изломах ударных образцов: от хрупкого (транскристаллитного, зернограничного, или их комбинации) до полностью вязкого или смешанного. Точнее было бы использовать термин - макрохрупкий квадрат (разрушение макроотрывом);

- важным является утверждение о верхней и нижней границах температурной зависимости ударной вязкости, сделанное в работе. Однако для сталей, полученных по штатной технологии (в пределах поля её допуска) их положение может быть (и есть) иным. В таком случае характеризующие нижней огибающей минимальные величины ударной вязкости, предлагаемые рассматривать как вязкость, обусловленную преждевременным разрушением, также будут другими. Не исключено, что при этом, вывод о нижней границе хладноломкости потребует дополнительного обоснования, в частности, с учетом назначения металла;

- при оценке закономерностей распределения величин ударной вязкости на низкотемпературном участке вязко-хрупкого перехода (рис. 4б автореферата) требует своего обоснования выбор числа разрядов гистограмм распределения. В противном случае есть риск того, что соседние разряды будут взаимно коррелированы и бимодальный вид распределения может проявиться не столь значимо;

- в работе показана необходимость проведения массовых испытаний на ударный изгиб при оценке применимости низколегированных сталей в качестве конструкционных материалов, эксплуатируемых в интервале температур вязко-хрупкого перехода в связи со значительным рассеянием величин ударной вязкости. Однако их число можно оптимизировать, если дополнительно оценивать хладноломкость на малогабаритных образцах, габариты которых сопоставимы с масштабом неоднородности наблюдаемых структур (по измерениям акустической эмиссии);

- наблюдаемые в работе особенности различия в микроструктуре, в рамках самоорганизации процесса разрушения от микро-, мезомасштабов к образованию магистральной трещины, должны также проявить себя и через

закономерности пространственной конфигурации однотипных элементов микроструктуры (в масштабах образца, листа). В этой связи были бы полезны такие оценки геометрии строения структуры.

Заключение

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не влияют на высокую оценку диссертационной работы Воркачева К.Г. В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения по оценке роли микроструктуры в формировании уровня хладноломкости листовых сталей, что играет существенную роль для 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, Воркачев Константин Григорьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

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



Кудря Александр Викторович

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

13.10.2020

ПОДПИСЬ

Проректор по

и общим вопросам

НИТУ «МИ

ЗАВЕРЯЮ

М. Исаев

