

ОТЗЫВ

официального оппонента Фарбера Владимира Михайловича, профессора, доктора технических наук, профессора кафедры «Термообработка и физика металлов» УрФУ на диссертационную работу Штайгера Максима Григорьевича на тему «Особенности структурообразования металла рельсового стыка в условиях термомеханического воздействия в процессе сварки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении)

Увеличение скорости подвижного состава, безопасности эксплуатации железнодорожного транспорта требуют существенного улучшения механических свойств рельсов. Рельсовые перлитные стали имеют повышенную абразивную износостойкость, стойкость к контактным нагрузкам при формировании структуры с межпластинчатым расстоянием от 0,01 до 0,12 мкм.

Основными направлениями технической политики ОАО «РЖД» в настоящее время и до 2030 года является расширение применения бесстыковочного пути взамен звеневого. Эксплуатация бесстыковочного пути на железных дорогах показывает, что, несмотря на качественное улучшение выплавки стали, оптимальных режимов сварки, количество дефектов сварных швов остается высоким. Это потребовало исследования особенностей структуры перлитных сталей в условиях сварки при нагреве и деформации, что является целью настоящей работы и демонстрирует ее **несомненную актуальность**.

Диссертационная работа изложена на 248 страницах машинописного текста, состоит из введения, основного текста, разбитого на 4 главы, включающего 145 рисунков и 15 таблиц, заключения по работе, списка использованных источников, насчитывающего 270 наименований.

Во введении автором обоснованы актуальность, цель и задачи работы, сформулированы ее научная новизна, теоретическая и практическая

значимость, достоверность полученных экспериментальных результатов. Приведено обоснование личного вклада автора, основные положения, выносимые им на защиту, аprobация работы и основные публикации результатов работы.

В первой главе представлен детальный обзор экспериментальных и теоретических работ по влиянию структуры рельсовых сталей на комплекс их механических свойств, а также методов контроля качества рельсового стыка после сварки. Здесь вызывает некоторое возражение излишний объем рассматриваемых вопросов. В частности, изложение истории электронной микроскопии, сопоставление предельно разрешаемых расстояний при использовании различных методов исследований. Также в качестве замечаний можно отметить следующее: подписи на ряде рисунков приведены на языке оригинала без перевода на русский язык (например, рис.1.38, 1.4, 1.6); отдельные рисунки, особенно микроструктуры невысокого качества (рис.1.5, 1.13, 1.36), что не позволяет уяснить те моменты, которые они иллюстрируют.

В настоящее время показано, что легированные стали с бейнитной структурой обладают существенно лучшими эксплуатационными характеристиками по сравнению со сталью перлитного класса. В то же время в рассматриваемой работе изучены исключительно перлитные стали, свойства которых заметно улучшаются после термообработки.

В данной главе также подробно описаны существующие разнообразные способы сварки балок; их достоинства, недостатки; структура и механические свойства; а главное, методы контроля качества сварного рельсового стыка.

Это позволило сформулировать цель и задачи исследования в рассматриваемой работе.

Во второй главе описаны материалы исследования, методы изучения механических свойств и структуры рельсовых стыков стали марки К76Ф. Исследуемые рельсовые стыки подвергались стандартной технологии сварки согласно ТУ 0921-326-01124323-2015. Для металлографических исследований применялись современные микроскопические методы; количественный

фазовый и элементарный анализы проводили на двухлучевом сканирующем микроскопе ЛВ-4500. Измерение амплитуды шумов Баркгаузена (магнитошумовой метод исследования) проводились с помощью цифрового анализатора Rollscan 300. Для механических испытаний использовалась установка Instron 8801.

Третья глава посвящена исследованиям с использованием взаимодополняющих методов оптической, электронной и атомно-силовой микроскопии. Это позволило установить влияние структуры перлита на характеристики разрушения образцов, вырезанных из зоны термического влияния сварного стыка. Изучалось дисперсность, морфология и дефектность кристаллов цементита.

К достоинствам рассматриваемой работы можно отнести глубокие статистические исследования параметров перлита, его морфологических характеристик, попытки найти расчетные значения предела текучести отдельных областей зоны термического влияния.

Сами по себе исследования структуры перлита методами атомно-силовой микроскопии и обратно рассеянных электронов (EBSD) представляют научный интерес, однако они не сочетаются с основной целью диссертационной работы, поскольку выполнены на отдельных образцах без сопоставления их качества с микроструктурных позиций и механических свойств.

С помощью методов оптической микроскопии установлено, что основные различия в структуре головки, шейки и подошвы рельса связаны с геометрическими размерами зоны термического влияния вследствие различия тепловой мощности в процесс сварки и толщины металла. Установлено, что основным типом структуры в зоне термического влияния (ЗТВ) является пластинчатый перлит. Наблюдаемые в оптическом микроскопе относительно крупные перлитные колонии деформированы, и их дисперсность меняется в зависимости от расстояния от центральной линии сварного шва, что связано с размером аустенитного зерна, формирующегося по окончанию сварки.

Найдено, что термические циклы сварки влияют на размер аустенитного зерна в области зоны термического влияния (ЗТВ), формирующегося из рекристаллизованного мелкого аустенита. В то же время разрешающая способность светооптического микроскопа не позволила изучить морфологические особенности перлитных колоний размером от 0,9 до 0,17 мкм, что потребовало использования электронной микроскопии. Определены два характерных параметра полностью перлитной микроструктуры – среднее межпластиначатое расстояние и конкретный интерфейс.

Найдено, что особенностью перлита в ЗТВ является неоднородность размеров перлитных колоний в диапазоне от 80 до 320 нм, а также строение цементитных пластин (их дефекты, отверстия, расщепления, разрывы и т.д.). Установлено, что у всех образцов имеется весьма узкое распределение перлитных колоний в диапазоне 4-25 мкм, которое не зависит от размера зерна аустенита. В то же время установлен относительно широкий диапазон размеров блоков (~ 250 мкм) в случае крупного аустенитного зерна, формирующегося при температуре нагрева ~ 1250°C.

С применением атомно-силовой микроскопии изучены морфологические параметры перлита. Показано, что толщина пластин цементита неоднородна, как и межпластиначатое расстояние. В области ЗТВ обнаружен перлит с частично сфероидизированным цементитом.

В этой главе наибольший интерес, по нашему мнению, вызывает обобщение результатов в виде построения соотношений между твердостью и параметрами перлита в ЗТВ рельсового стыка. С использованием метода анализа картин дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD) прослежена эволюция микроструктуры и кристаллографической ориентировки различных участков ЗТВ. На основе такого комплексного исследования выдвинута гипотеза, что в зоне сварного стыка формируется материал, отличающийся по химическому составу и свойствам от основного металла рельса. На этой основе разработаны критерии оценки качества металла в ЗТВ стыка. В качестве первого критерия выбрана величина

межпластинчатого расстояния в перлите основного металла и ЗТВ. Установлено, что хорошему качеству микроструктуры соответствует межпластинчатое расстояние в стыке в диапазоне от 145-185 нм, среднему качеству – 185-200 нм, низким качеством обладает микроструктура с межпластинчатым расстоянием 200-280 нм.

В тексте диссертации практически отсутствуют грамматические и стилистические ошибки, опечатки. В то же время использованы некорректные с металловедческих позиций выражения. Так, «эффект усиления границ связан с измельчением зерна» (стр.133); «какой из двух структурных факторов – колонии или пластины цементита – дают трещину большего размера» (стр. 136); «дислокационное движения на активных системах скольжения ответственны за пластическую деформацию при внешних нагрузках» (стр. 152).

Тривиальным является и то, что металл сварного соединения отличается по химическому составу, микроструктуре и механическим свойствам от металла рельсов, так что заявление о том, что металл сварного стыка относится к новому неизвестному материалу является излишним.

В четвертой главе установлено, что по сравнению с основным металлом ЗТВ рельса имеет немного меньшие значения временного сопротивления и предела текучести при незначительном увеличении относительного сужения. Найдено, что с повышением температуры аустенитизации σ_b и δ в ЗТВ сварного стыка постепенно уменьшаются, тогда как величина ударной вязкости практически не меняется. Обнаружено, что ударная вязкость основного металла в шейке рельса находится на минимуме требований ГОСТ Р51685-2013, либо не соответствуют ему. Стабильные показатели ударной вязкости, соответствующие стандарту, обнаружены у подошвы рельса, тогда как головка рельса не обладает необходимой стабильностью ударной вязкости. С помощью регрессивного анализа установлено, что размер перлитных колоний является основным параметром,

влияющим на КСВ. Найдены не только локальные области, но и обширные зоны по линии сплавления, имеющие низкие значения ударной вязкости.

Необходимо отметить, что фрактографические исследования будут представлять научную ценность только в том случае, если конкретно выделены зоны на поверхности излома и соотношение в них хрупкой и вязкой составляющей.

Установлен микроструктурный параметр качества (МПК): $0,75-0,91 < 1$ – соответствует хорошему качеству микроструктуры рельсового стыка ($\lambda=145-185$ нм); уменьшение МПК до $0,66-0,75 < 1$ отвечает среднему качеству микроструктуры ($\lambda=185-200$ нм); МПК в диапазоне $0,47-0,66 < 1$ – рассматривается как низкое качество микроструктуры с $\lambda=200-280$ нм, где λ – среднее истинное межпластиначатое расстояние. В то же время не оценен относительный вклад в качество сварного соединения других микроструктурных параметров (дефектности цементита, его морфологии и т.д.).

Распределение прочности и коэффициента деформационного упрочнения в ЗТВ было получено с помощью метода корреляции характерных размеров микроструктуры.

В качестве метода неразрушающего контроля микроструктуры в поверхностном слое и ЗТВ в работе был выбран метод магнитных шумов Баркгаузена. Представлены рекомендации по совершенствованию технологии сварки рельсового стыка и последующего контроля качества структуры.

Научная новизна работы в первую очередь представлена исследованием различными взаимодополняющими методами структуры в ЗТВ рельсового стыка. Найдено, что важнейшим морфологическим признаком структуры ЗТВ является межпластиначатое расстояние в перлите. С ростом температуры аустенитизации межпластиначатое расстояние, изменяющееся по ширине ЗТВ, определяет твердость и предел текучести металла.

Установлено, что в процессе контактной сварки оплавлением металла формируется существенная неоднородность структуры и текстуры на микро-

и мезомасштабных уровнях по всему объему рельсового стыка. Показано, что размер перлитных блоков определяет уровень ударной вязкости и величину фасеток излома, которые снижаются с повышением размера аустенитного зерна.

Достоверность установленных научных положений обусловлена использованием современного оборудования для механических испытаний на растяжение и ударный изгиб, применением современных методов исследования структуры и поверхности разрушения (металлографии с компьютерным анализом изображения, электронной сканирующей микроскопии, EBSD-ориентационной микроскопии и микроспектрального анализа), согласованностью результатов экспериментов в лабораторных и промышленных условиях; большим объемом экспериментальных данных с их статистической обработкой и удовлетворительным соответствием результатов оценки трещиностойкости, полученных расчетным и экспериментальным методом.

Практическое значение. Предложено использовать методики шумов Баркгаузена для неразрушающего контроля структуры и остаточных напряжений в металле сварного рельсового стыка. Сформулированы рекомендации по режимам термообработки, обеспечивающим минимизацию снижения твердости в ЗТВ сварного стыка, которые планируется передать соответствующими департаментами ОАО «РЖД». Результаты диссертационной работы используются в курсе лекций по дисциплинам «Сварка давлением», «Материаловедение при сварке» на кафедре «Машиностроительные технологии и материалы» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет».

Автореферат и публикации достаточно полно отражают содержание диссертации.

Материалы диссертации соответствуют паспорту **специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении)**.

По работе можно сформулировать следующие **вопросы и замечания**.

1. Поскольку основной целью работы являлось отыскание структурных параметров качества металла сварного стыка, то исследования методами атомно-силовой микроскопии и EBSD представляются излишними. Они проведены на единичных образцах и не дают никакого вклада в формирование представлений о качестве структуры.

2. При разработке критерия качества сварного соединения наряду с межпластиначатым расстоянием в перлите не оценен относительный вклад других микроструктурных параметров (дефектности цементита, его морфологии и т.д.).

3. В работе не учтено, что фрактографические исследования будут представлять научную ценность только в том случае, если изучены зоны на поверхности излома ударных образцов и соотношение в них хрупкой и вязкой составляющих.

4. В работе не указаны технологические приемы использования методов контроля микроструктуры и остаточных напряжений в реальных условиях изготовления стыков и при эксплуатации рельсов. Вероятно, это потребует определенных усилий и способов применения.

5. Сформулированные в работе рекомендации по контролю качества микроструктуры сварного стыка только планируются к представлению соответствующими департаментами ОАО «РЖД». Не указаны моменты, позволяющие это сделать ранее.

Рассмотренные замечания имеют частный характер и не снижают общей высокой оценки грамотно написанной работы, являющейся законченным исследованием.

Научные результаты работы по своей значимости выходят за рамки изученных составов сталей и режимов их термической обработки, вносят вклад в теорию и технологию термической обработки рельсовых сталей. Это дает основание считать, что рассматриваемая диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента

России Б.Н. Ельцина», предъявляемым к кандидатским диссертациям, ее автор Штайгер Максим Григорьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении)

Профессор кафедры «Термообработка и физика металлов», профессор, доктор технических наук

Фарбер В.М.

09.06.2021

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19, Федеральное государственное
автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский
федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
(ФГАОУ ВО УрФУ)

е-mail: *farber@isnet.ru*
тел.: 8 (912) 69-43-555

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ
МОРОЗОВА В. А.

