

## ОТЗЫВ

официального оппонента 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)

Современный железнодорожный путь – это бесстыковой путь. На РЖД в настоящее время эксплуатируется 8,5 млн. сварных стыков, полученных электроконтактным методом. При этом из примерно 150 тысяч поврежденных рельсов, ежегодно снимаемых с пути, 20% приходится на сварные стыки, а из примерно 200 рельсов, ежегодно ломающихся под поездами, 70% связаны со сварными стыками. И хотя только половина из этих изломов происходит в области стыков, полученных электроконтактной сваркой, широкая распространность сварных стыков, полученных электроконтактным методом, и повышенная их повреждаемость по сравнению с прокатанными рельсами определяют актуальность данной работы, посвященной изучению структуры сварных рельсовых стыков.

Структура и свойства в области сварных швов рельсов на длине порядка 100 мм формируются в результате сложного градиентного распределения температур от приводящих в экстремальном случае к получению расплава с последующим затвердеванием и в общем случае до температур отпуска и давления, приводящего к пластической деформации нагретых при сварке объемов. Надо признать, что до настоящего времени все эти структуры сварных швов, в которые входят все зоны термического влияния, оставались недостаточно изученными. Особенно это относится к анализу тонкой структуры сварных швов рельсов на микроуровне, который становится возможным при использовании комплекса современных методов экспериментального исследования (растровой электронной и атомно-силовой микроскопии, анализа картин дифракции обратно рассеянных электронов, а также современных физических методов исследования (в частности метода магнитных шумов Баркгаузена). Широкое использование современных методов исследования является положительной особенностью данной диссертационной работы.

В работе имеется достаточно подробный обзор технической литературы, посвященной рельсовой проблеме. Из литературного обзора естественным образом вытекают основные направления исследований автора и все построение данной диссертационной работы. Справедливо, что микроструктуры современных рельсовых сталей особенно в зонах сварных швов обычно являются слишком мелкими с учетом ограниченной разрешающей способности световой оптической микроскопии, которая применялась ранее. Получение характеристик дисперсности тонкопластинчатого перлита требует современных металлографических методов, таких как сканирующая электронная микроскопия высокого разрешения (SEM) или дифракция обратного рассеяния электронов (EBSD).

Использование современных сканирующих микроскопов позволило автору получить данные о распределении всех параметров структуры на разном расстоянии от плоскости сплавления в сварном рельсовом стыке: размере аустенитного зерна; ориентации и размере перлитных конгломератов, по-разному определяемых в работе как перлитные колонии, перлитные клубеньки-узелки, блоки перлита; морфологии цементита; межпластиночного расстояния в перлите. Анализ зависимости предела текучести от различных микроструктурных составляющих, как и в более ранних работах, показал, что межпластиночное расстояние в структуре перлита является основным фактором прочности, в то время как размер перлитных колоний и размер аустенитных зерен могут оказывать лишь меньшее влияние на прочностные параметры. Использование атомно-силовой микроскопии (ACM) или сканирующей силовой микроскопии (SFM) подтвердило данные, полученные на SEM и позволило показать, что источником субмикротрешин при одноосном растяжении являются пластины цементита, а не границы перлитных колоний.

Использование в работе дифракционного анализа методом обратного рассеяния электронов (EBSD) позволило получить информацию о кристаллографической ориентации перлитных конгломератов. В свою очередь она позволила судить о распределении пластической деформации по ширине сварных стыков с высоким градиентом температур при проведении операции осадки на заключительной стадии сварки рельсов.

Интересные данные были получены в работе при измерении шумов Баркгаузена в области сварных стыков. Было показано, что метод чувствителен к изменениям многих свойств материала, меняющихся вдоль сварного стыка, в первую очередь твердости и остаточных напряжений. Жаль, что не было предпринято попыток использовать метод измерения шумов Баркгаузена к проблеме обнаружения мест прижогов с мартенситной структурой, которые часто возникают на подошве свариваемых рельсов при плохом контакте с токоподводящими губками сварочной машины вне сварного стыка на расстоянии 150-250 мм от плоскости сплавления и приводят к зарождению усталостных трещин и излому всего рельса. Для реального внедрения в приемочный контроль метода измерения шумов Баркгаузена нужно в будущем провести большую целенаправленную работу по установлению браковочных критериев этого метода, имеющего большие перспективы для замены измерения твердости на продольных темплетах.

По диссертационной работе М.Г. Штайгера можно сделать следующие **замечания:**

1. Провозгласив задачу изучения структуры сварных стыков на макро-, мезо- и микроуровнях, в работе ограничились в основном мезо- и микроуровнями. В то же время, как следует из Каталога дефектов рельсов, сваренных контактной и термической сваркой, с возможными причинами возникновения [Текст] // ВНИИЖТ, 2001. – 25 с.,

фигурирующем в списке литературы диссертации под №167, основные причины разрушения сварных стыков связаны именно с макро-дефектами. К ним относятся: образование пор, раковин, непроваров, ожогов при шлифовке, электротермических повреждений в местах контакта с губками и других исходных макродефектов в сварных швах, наиболее крупные из которых приводят к хрупким разрушениям сварных швов, а более мелкие – к зарождению усталостных трещин. В отличие от самих рельсов контактная усталость редко является причиной разрушения сварных швов.

2. На фоне подробного изучения всех параметров структуры в тех зонах сварных швов, где образуется структура пластинчатого перлита, в работе отсутствует количественная оценка структуры зернистого перлита в зоне «неполной сфероидизации». В то же время именно эти две разупрочненные зоны по обе стороны на периферии сварных швов со структурой зернистого перлита явились причиной особенно в последние годы массового выхода рельсов из-за образования недопустимых седловин в зоне сварных швов. В литературном обзоре диссертации катастрофическое нарастание в 6 раз выхода сварных стыков по этому дефекту отражено на рис.1-32. Эта проблема осложняется тем, что последующая после сварки локальная термическая обработка не устраниет этих разупрочненных зон со структурой зернистого перлита, а может только сдвигать их в зависимости от длины нагреваемой зоны.

3. В качестве причины образования в сварных швах частично сфероидизированного перлита в работе принято охлаждение из зоны частичной аустенитизации. Приведенные (рис.4.29) данные о разрыве между температурой  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$  ( $727^0\text{C}$  и  $778^0\text{C}$ ) великовато для эвтектоидной стали. Но даже если это и  $50^0$ , все равно это не соответствует достаточно широкой зоне со структурой зернистого перлита (см. например, рис.4.15). Сфероидизация перлита может происходить и при высоком отпуске исходной структуры. Здесь температурный интервал в 3 раза шире ( $575^0 - 725^0$ ), что лучше соответствует ширине зоны с пониженной твердостью. Предлагаемое ускорение охлаждения в качестве меры борьбы со сфероидизацией цементита не повлияет на нежелательное снижение твердости, если оно происходит в результате высокого отпуска исходной структуры рельсов.

Сделанные замечания не изменяют общей положительной оценки работы.

Представленная квалификационная работа является законченным комплексным исследованием, в результате которого установлены закономерности распределения структуры и свойств по ширине сварных швов рельсов, полученных электроконтактной сваркой. Это определяет ее научную и практическую значимость. Можно подтвердить обоснованность и

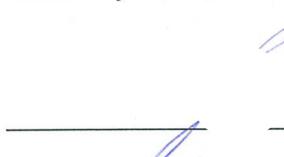
**достоверность полученных результатов** исследований, содержащихся в диссертационной работе, которые определяются выполнением всех исследований и испытаний с использованием комплекса современного оборудования.

В целом диссертационная работа М.Г. Штайгера **соответствует паспорту** специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении) в части разделов 1. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры материалов, с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств, с целью обеспечения надежности и долговечности материалов и изделий; 2. Установление закономерностей физико-химических и физико-механических процессов, происходящих на границах раздела в гетерогенных структурах; 6. Разработка и совершенствование методов исследования и контроля структуры, испытание и определение физико-механических и эксплуатационных свойств материалов на образцах и изделиях.

Работа отвечает требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, определенным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», утвержденный приказом ректора от 21 октября 2019 года № 879/03, а её автор, Штайгер Максим Григорьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 - Материаловедение (в машиностроении).

#### **Официальный оппонент:**

Доктор технических наук, профессор,  
Специальность «Металловедение и термическая  
обработка металлов» 05.16.01,  
главный научный сотрудник Научного Центра  
«Рельсы, сварка, транспортное материаловедение»  
Акционерное общество «Научно-исследовательский  
институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»),

 / \_\_\_\_\_ Шур Евгений Авелевич

Акционерное Общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»),  
129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, 10  
тел.: +7 916 877 96 94, e-mail: shurea@mail.ru

«24» мая 2021 г.

Подпись Шура Е.А. заверяю

