



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной
работе ИФМ, академик РАН

Мушников Николай Варфоломеевич

« 18 » июня 2018 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук» на диссертационную работу Полевого Егора Владимировича «Разработка ресурсосберегающей технологии дифференцированной термической обработки длинномерных железнодорожных рельсов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность темы диссертационной работы.

Железнодорожные рельсы являются одним из наиболее важных элементов верхнего строения пути. От их эксплуатационных свойств в значительной степени зависит срок службы, безопасность грузовых и пассажирских перевозок. Решающую роль в формировании необходимого комплекса свойств рельсов выполняет термическая обработка. Рационализацией химического состава рельсовой стали, способов и видов термического упрочнения рельсов активно занимаются ученые металловеды и металлофизики всего мира, однако до настоящего времени по многим вопросам нет единого мнения. В значительной степени это связано с постоянным ужесточением требований к качеству и эксплуатационным свойствам рельсов со стороны потребителей рельсовой продукции.

Перспективным направлением в области термического упрочнения рельсов является дифференцированная термообработка, обеспечивающая формирование закаленной головки и структуру горячекатаного металла в шейке и подошве рельсового профиля. В части снижения себестоимости рельсов, энерго- и ресурсосбережения актуальным является разработка технологий термической обработки, использующих остаточное тепло предпрокатного нагрева металла. Это позволяет исключить необходимость отдельного нагрева рельсов в термических печах перед термообработкой.

С учетом вышеизложенного, тема диссертационной работы Полевого Е.В. представляется актуальной.

Основной целью работы является разработка ресурсосберегающей технологии воздуходструйной дифференцированной термической обработки рельсов из низколегированной стали перлитного класса с использованием тепла нагрева под прокатку.

Основные задачи исследования:

1. Проведение экспериментальных исследований кинетики распада аустенита и прокаливаемости рельсовых сталей различного химического состава.

2. Создание лабораторной установки для физического моделирования теплообменных процессов при воздуходструйном дифференцированном охлаждении рельсов.

3. Исследование влияния параметров термической обработки на структурообразование и скорости охлаждения металла в различных участках по сечению головки рельсового профиля.

4. Исследование влияния химического состава стали и параметров охлаждения рельсового профиля в воздушном потоке при использовании тепла отдельного печного нагрева и тепла нагрева заготовок под прокатку на свойства металла.

5. Разработка ресурсосберегающих режимов дифференцированной термической обработки рельсов с использованием тепла нагрева заготовок под прокатку, приводящих к снижению затрат и повышению эксплуатационных свойств железнодорожных рельсов.

Личный вклад. Автору принадлежит постановка задач исследования, выполнение теоретических и экспериментальных исследований влияния углерода, марганца, кремния, хрома, ванадия и ниобия и параметров термической обработки (скорости охлаждения, давления воздуха, температуры) на структурообразование и свойства дифференцированно термоупрочненных рельсов, в лабораторных и промышленных условиях, обработка и анализ полученных результатов, формулирование выводов по диссертационной работе.

Основные результаты работы опубликованы в 22 печатных трудах, в том числе в 8 статьях в рецензируемых журналах из перечня ведущих научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК РФ, 4 статьях, в журналах, входящих в базы данных Web of Science и Scopus. По результатам работы получено 2 патента на изобретение.

Достоверность полученных результатов Достоверность полученных результатов подтверждается совместным использованием современного оборудования для реализации физического моделирования теплообменных процессов и структурообразования при дифференцированном термоупрочнении рельсов, апробированных методик статистической обработки экспериментальных данных, проведением сравнительного анализа с результатами промышленных исследований в условиях действующего

производства и данными других авторов по тематике исследования, а также технико-экономической эффективностью предложенных и реализованных технологических решений.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 132 страницах машинописного текста, содержит 15 таблиц, 61 рисунок. Список использованных источников состоит из 151 наименования. Диссертация имеет логичную структуру и обладает внутренним единством.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, приведены цели и задачи работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, их научная новизна и практическая значимость.

В **первой главе** выполнен обзор тематических публикаций по основным проблемам и современному состоянию производства и термической обработки рельсов. Обоснованы основные преимущества и недостатки различных способов термического упрочнения железнодорожных рельсов. Литературный обзор выполнен с привлечением современных отечественных и зарубежных публикаций, показывает широкую эрудицию автора в предметной области, глубокие знания в части теории и практики термического упрочнения рельсов.

Во **второй главе** проведены результаты экспериментальных исследований влияния химического состава на кинетику распада аустенита и прокаливаемость рельсовой стали. Автором обоснован выбор марки и химического состава стали для исследования – стали перлитного класса Э76ХФ, рассмотрена методика проведения экспериментальных исследований, проанализированы их результаты.

Третья глава посвящена физическому моделированию процессов воздухоструйной термической обработки рельсов с использованием тепла отдельного печного нагрева и тепла нагрева заготовок перед прокаткой. Автором получены новые зависимости влияния давления воздуха на скорость охлаждения стали в различных участках по сечению головки рельсового профиля, исследовано влияния способа нагрева на структур и свойства рельсовой стали различного химического состава.

В **четвертой главе** представлены результаты промышленного освоения воздухоструйной дифференцированной термической обработки рельсов длиной до 100 м с использованием тепла нагрева заготовок под прокатку. Внедрение новой технологии показало значительный ресурсосберегающий эффект, позволило отказаться от устаревшей технологии объемной закалки рельсов в пожароопасной и канцерогенной среде индустриального масла после отдельного печного нагрева, обеспечило получение экономического эффекта свыше 118 млн. руб. /год (при доле участия автора 30 %). Эффективность внедрения подтверждается актом использования результатов диссертационной работы на АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Закключение, содержащее выводы по работе, полностью отражает основные результаты диссертационной работы, подтверждает решение поставленных задач и достижение цели диссертационного исследования.

В работе получен **ряд новых научных результатов**, среди которых можно выделить следующие:

1) Установлено влияние деформации на расширение области распада переохлажденного аустенита рельсовой стали, показано, что увеличение степени микролегирования ниобием и ванадиям увеличивает устойчивость переохлажденного аустенита. Мартенситное превращение для рельсовой стали марки Э76ХФ находится в интервале температур 195 – 225 °С, однако комплексное микролегирование Nb и V, снижает температуру начала мартенситного превращения на 10 – 15 °С.

2) Установлено, что наиболее стабильная перлитная структура в диапазоне скоростей охлаждения до 3 град/с обеспечивается в рельсовой стали близкой к эвтектоидному составу, легированной хромом до 0,40 – 0,45 %, кремнием 0,54 – 0,58 %, марганцем 0,75 – 0,80 % и микролегированной ванадием 0,04 – 0,07 %.

3) Получены соотношения, позволяющие определить скорости охлаждения рельсовой стали на глубине 10 и 22 мм от поверхности катания в области головки рельсового профиля в зависимости от давления воздуха. Установлено, что при охлаждении головки рельсов воздухом при давлении 15 – 22 кПа скорость охлаждения стали в интервале температур перлитного превращения на глубине 10 и 22 мм от поверхности катания изменяется в пределах 1,83 – 2,52 и 1,1 – 1,6 град/с соответственно.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в следующих положениях:

1) Установлено, что при термической обработке с использованием остаточного тепла предпрокатного нагрева оптимальный комплекс свойств для рельсов типа Р65 категории ДТ350 из стали марки Э76ХФ достигается при ускоренном охлаждении в течение не менее 110 с от температур выше 825 °С при давлении воздуха 15 – 22 кПа; увеличение содержания элементов повышающих устойчивость аустенита (хрома, марганца выше 0,45 и 0,83 % соответственно) нецелесообразно, так как приводит к появлению в микроструктуре нежелательных бейнитной и мартенситной структур и достижению уровня твердости на поверхности катания и по сечению выше допустимых стандартом значений; при охлаждении рельсов типа Р65 из стали марки Э76Ф от температуры 845 °С, давлении воздуха 40 кПа и выше, в течение 90 – 105 с рельсовая сталь удовлетворяет требованиям ТУ 0921-276-01124323-2012 для рельсов категории ДТ350 по уровню механических свойств (за исключением относительного сужения), ударной вязкости, твердости по сечению головки и на поверхности катания, а также микроструктуре. Рациональная температура начала термической обработки составляет 800 – 860 °С. С

увеличением давления воздуха свыше 30 кПа происходит резкое увеличение прочностных свойств и твердости при сохранении пластичности.

2) Скорректирован химический состав стали, предназначенной для производства дифференцированно термоупрочненных рельсов, определены основные параметры режима воздушоструйной дифференцированной термической обработки с использованием остаточного тепла предпрокатного нагрева, обеспечивающие получение оптимального комплекса свойств рельсов: температура начала термообработки 800 – 850 °С; давление воздуха 10 – 15 кПа; продолжительность охлаждения 110 – 130 с.

3) Полученные данные позволили освоить производство дифференцированно термоупрочненных в воздушной среде с использованием остаточного тепла нагрева под прокатку рельсов общего назначения категории ДТ350 и рельсов специального назначения категории ДТ350НН.

Работа **соответствует паспорту научной специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов** по пунктам: 1. Изучение взаимосвязи химического и фазового составов (характеризуемых различными типами диаграмм), в том числе диаграммами состояния с физическими, механическими, химическими и другими свойствами сплавов; 2. Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях; 3. Теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры (типа, количества и характера распределения дефектов кристаллического строения) на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов; 6. Разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов объемной и поверхностной термической, химико-термической, термомеханической и других видов обработок, связанных с термическим воздействием, а также специализированного оборудования.

Замечания и вопросы по диссертации.

1. Во второй главе автором проведены дилатометрические исследования, при которых температура нагрева образцов выбрана 1200 °С (предопределена температурой нагрева заготовок в методической печи перед прокаткой). Определенный научно-практический интерес представляет влияние этой температуры на кинетику превращения переохлажденного горячедеформированного аустенита рельсовой стали, в связи с этим в план эксперимента можно было дополнительно включить исследования при температурах, например 1175 и 1225 °С.

2. В диссертации и автореферате автор использует весьма громоздкое выражение «остаточного тепла предпрокатного нагрева» которое, без потери смысла, можно было заменить на «тепло первого нагрева» или «тепло прокатного нагрева».

3. Зависимости скорости охлаждения металла в различных точках по сечению головки рельсового профиля от давления воздуха, полученные авто-

ром в третьей главе, имеют ограниченную область применения, фактически только для конкретного оборудования, эксплуатируемого на ОА «ЕВРАЗ ЗСМК». Для более широкого применения результатов этих исследований, необходим учет влияния диаметра сопел, их расположения, расстояния от сопел до поверхности рельса, скорости воздушного потока и ряда других факторов.

4. В табл. 2.1, 4.1 диссертации и табл. 1 – 4 автореферата представлен химический состав сталей, при этом содержания азота не указано. Поскольку азот, образуя карбонитриды ванадия, может оказывать значительное влияние на свойства рельсовой стали, следовало бы указать его содержание.

Указанные замечания не влияют на уровень научной и практической значимости диссертационного исследования.

На основании вышеизложенного диссертация Полевого Е.В. является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему.

Результаты, полученные соискателем, направлены на решение научно-технической и технологической задач. Внедрение результатов исследования вносит существенный вклад в совершенствование и развитие технологий термического упрочнения рельсов. Содержание автореферата соответствует диссертации и в необходимом объеме отражает ее основные результаты и выводы.

Диссертация Полевого Е.В. соответствует критериям, установленным п.9 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Полевой Егор Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании лаборатории физического материаловедения протокол № 54 от 6 июня. 2018 года.

Научный руководитель отдела материаловедения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук», академик РАН доктор технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, профессор

Счастливец Вадим Михайлович

«14» июня 2018 г.

Секретарь семинара лаборатории физического материаловедения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук», доктор технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, старший научный сотрудник



Калетина Юлия Владимировна

«14» июня 2018 г.

Подпись научного руководителя отдела Счастливцева В. М. и секретаря лабораторного семинара Калетиной Ю. В. удостоверяю

Ученый секретарь ИФМ,
кандидат физ.-мат. наук



Арапова Ирина Юрьевна

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук» (ИФМ УрО РАН)

Почтовый адрес: 620108, Свердловская область,
г. Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, 18

Контактный телефон: +7(343)374-02-30

Факс: +7(343)374-52-44

E-mail: physics@ipm.uran.ru

Официальный сайт: www.ipm.uran.ru

Научный руководитель отдела Счастливцев В. М., тел. (343) 374-42-04, e-mail:
schastliv@imp.uran.ru

Ученый секретарь Арапова И. Ю., тел. (343) 374-43-83, e-mail: imp_secretary@imp.uran.ru