

Ключевые слова: железнодорожные рельсы, химический состав, рельсовая сталь, микролегирование, аустенит, дифференцированная термообработка, скорость охлаждения, охлаждающая среда, калибровка, прокатка, универсальные калибры, деформация, межремонтный срок, гарантийная наработка.

В Российской Федерации сеть путей железнодорожного сообщения является одной из наиболее протяженных в мире и составляет свыше 120 тыс. км, что обуславливает её стратегическое значение для жизнедеятельности государства. Учитывая, что до 70 % затрат на материалы и обслуживание верхнего строения пути приходится на рельсы, целью данной работы являлось решение актуальных вопросов разработки технологии производства железнодорожных рельсов высокого качества с увеличенным межремонтным сроком эксплуатации, а также рельсов со специальными свойствами для реализации крупных инфраструктурных проектов, в связи с развитием высокоскоростного пассажирского и тяжеловесного грузового движения, с решением задач по импортозамещению и обеспечению технологического суверенитета.



**Рисунок 1 – Основные результаты и эффекты работы**

В данной работе представлены результаты разработки и внедрения в АО «ЕВРАЗ ЗСМК» технологии производства первых в отечественной металлургической

практике дифференцированно термоупрочненных воздухом с остаточного тепла прокатного нагрева рельсов длиной до 100 метров (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Общая схема термической обработки рельсов воздухом с прокатного нагрева**

В связи с зависимостью от зарубежных технологий ОАО «РЖД» было вынуждено в 2010 – 2012 годах осуществить импортные закупки до трети от потребности на текущее содержание, ремонты и строительство железнодорожных линий в Японии и Австрии, в том числе рельсов длиной 100 м, включая рельсы для скоростного совмещенного движения между Москвой и Санкт-Петербургом, Москвой и Нижним Новгородом, Санкт-Петербургом и Хельсинки. Впоследствии актуальным стал вопрос обеспечения рельсами для высокоскоростного пассажирского движения перспективного строительства высокоскоростных магистралей от Москвы до Казани, Екатеринбурга, Минска, Ростова – на – Дону.

В АО «ЕВРАЗ ЗСМК» была разработана и реализована стратегия проведения реконструкции рельсового производства, позволившая за счет компактной планировки нового оборудования в существующих зданиях рельсобалочного цеха менее чем за год, осуществить демонтаж старого, строительство и монтаж нового оборудования, разработать и освоить инновационные технологии универсальной прокатки и дифференцированного термоупрочнения рельсов с прокатного нагрева, и

организовать выпуск современных 100-метровых рельсов, конкурентоспособных на внутреннем и зарубежных рынках.

**Цель работы:** разработка и внедрение инновационных технологий прокатки, дифференцированной закалки и контроля длинномерных стометровых железнодорожных рельсов общего и специального назначения с повышенным гарантийным эксплуатационным и межремонтным сроком.

**Научно-техническая новизна работы** заключается в:

- впервые получены данные по кинетике распада горячедеформированного аустенита рельсовой стали, легированной хромом и микролегированной ванадием, ниобием и азотом;

- установлены новые научно-обоснованные закономерности влияния химического состава рельсовых марок стали на структуру и свойства рельсов в зависимости от способа нагрева для термической обработки;

- проведено физическое моделирование процессов дифференцированной термообработки рельсов с отдельного (печного) и прокатного нагревов на специально сконструированной и построенной опытно-лабораторной установке;

- определены закономерности влияния температурно-временных параметров термоупрочнения потоком воздуха на распределение по сечению головки рельса скоростных потоков;

- получена достоверная информация об энергосиловых параметрах прокатки рельсов при проектировании режимов обжатий на универсальных рельсобалочных станах за счет разработки статистической модели и методики расчета сопротивления деформации рельсовых сталей при изменении термомеханических параметров прокатки и химического состава стали. Полученные теоретические данные подтверждены экспериментально и верифицированы.

- на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований, разработан интенсифицированный режим прокатки длинномерных железнодорожных рельсов с уменьшенным количеством проходов в обжимных

клетях; в результате внедрения нового режима прокатки установлено значительное улучшение технико-экономических и качественных показателей работы стана.

- разработанная инновационная технология производства железнодорожных рельсов, включающая в себя прокатку рельсов на современном рельсобалочном стане с использованием универсальных калибров последующим, дифференцированным по сечению термическим упрочнением в воздушной среде с использованием тепла прокатного нагрева, позволила существенно повысить потребительские свойства рельсов и улучшить технико-экономические и экологические показатели.

- разработаны и внедрены после верификации и валидации критерии безопасности новых инновационных рельсов по уникальному методу. Освоение данной технологии за счет внедрения передовых технических решений позволило впервые в отечественной практике осуществить производство инновационных рельсов длиной 100 метров (рис.3);

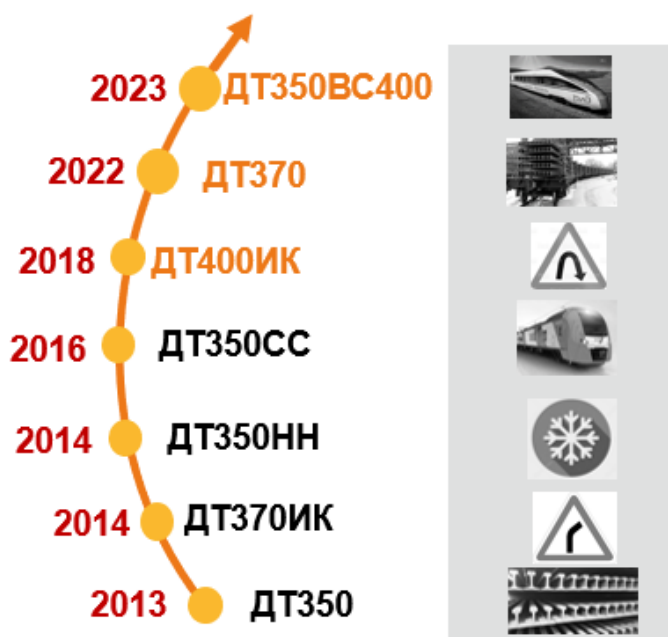


**Рисунок 3 – Готовые к отгрузке рельсы длиной 100 метров, прошедшие все стадии контроля**

**Практическая значимость.** В результате выполненной работы:

- обеспечена технологическая суверенность железнодорожного движения Российской Федерации, полностью исключена зависимость от импорта рельсов, созданы рельсы нового поколения, превосходящие по качеству лучшие зарубежные образцы;

- разработана и внедрена комплексная инновационная технология производства дифференцированно термоупрочненных рельсов длиной до 100 метров с характеристиками, соответствующими, а по ряду показателей превышающими, уровень рельсов ведущих мировых производителей. За период с 2013 по 2023 г. АО «ЕВРАЗ ЗСМК» совместно с партнерами разработал НТД и технологию производства рельсов для особых условий эксплуатации: низкотемпературной надежности - для работы в условиях холодного климата, повышенной износостойкости и контактной выносливости – для работы в кривых малого радиуса, для скоростного совмещенного движения и высокоскоростного пассажирского движения со скоростью движения до 400 км/час (рис. 4);



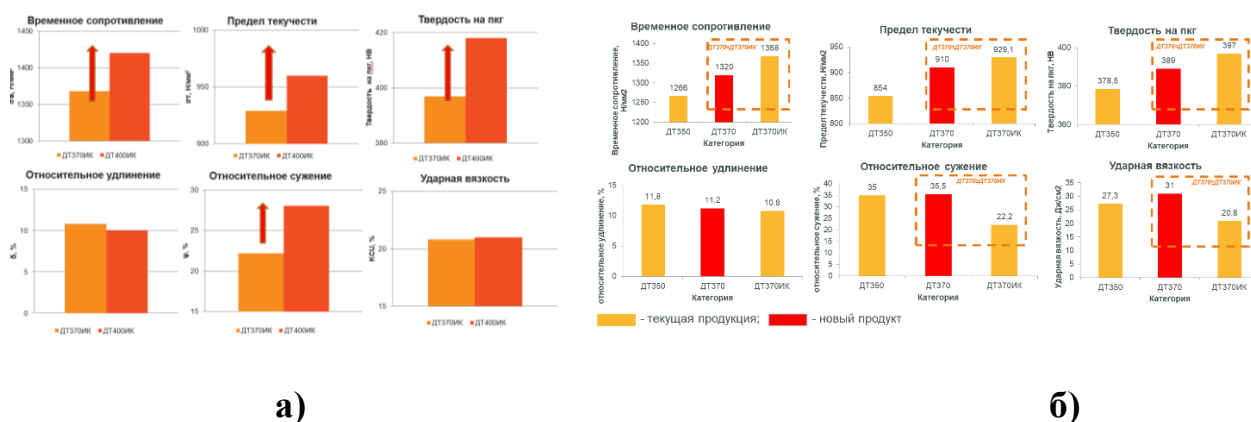
**Рисунок 4 – Порядок освоения рельсов общего и специального назначения в 2013-2023 г в АО «ЕВРАЗ ЗСМК»**

- разработан интенсифицированный режим прокатки длинномерных рельсов на универсальном рельсобалочном стане, что позволило оптимизировать процесс прокатки рельсов и привело к значительному уменьшению издержек: снижению удельного расхода электроэнергии на 0,51 кВт/ч, удельного расхода прокатных

валков на 0,43 кг/т, и увеличения производительности стана со 136,3 до 190 т/час, снижению доли поверхностных дефектов «плена» и «отпечаток» с 3,57 до 0,4-0,5 %;

- разработаны химические составы экономнолегированных рельсовых сталей, оптимизированные для производства рельсов специального назначения, а также ресурсосберегающие режимы дифференцированной термической обработки воздухом с использованием тепла прокатного нагрева. Новая технология дифференцированной термообработки позволила полностью исключить применение канцерогенного и пожароопасного закалочного масла и затраты природного газа на повторный печной нагрев рельсов. При производстве рельсов по новой технологии достигнуто снижение производственной себестоимости 151 руб/т<sup>1</sup>;

- На основе проведенных исследований и освоения технологии производства дифференцированно термоупрочненных рельсов разработан **и введен в действие национальный стандарт ГОСТ Р 51685-2013 «Рельсы железнодорожные. Общие технические условия»**, впервые предусматривающий принципиально новые категории качества дифференцированно термоупрочненных рельсов, а в ходе выполнения исследований по оптимизации химического состава, режимов прокатки и термообработки были разработаны новые категории рельсов специального назначения с более высоким комплексом свойств, послужившие основой для разработки нового ГОСТ Р 51685-2022 «Рельсы железнодорожные. Общие технические условия» (рис. 5).



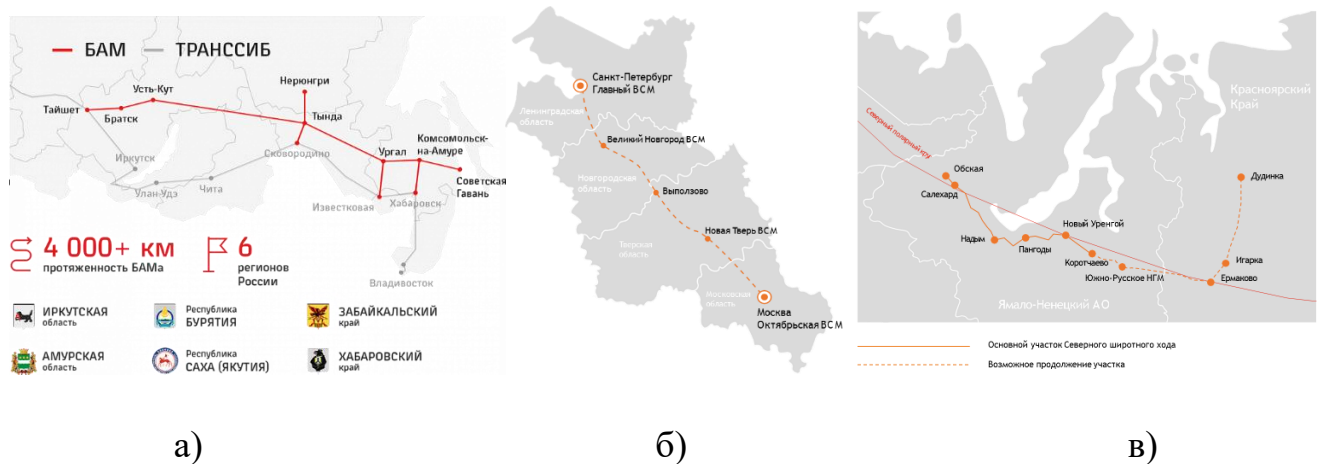
**Рисунок 5 – Инновационная разработка АО «ЕВРАЗ ЗСМК» - рельсы категории ДТ400ИК (а) и ДТ370(б) в сравнении с рельсами ДТ370ИК и ДТ350**

<sup>1</sup> В ценах 2014 г, период выбран для корректности, в связи с одновременным производством рельсов ОТ и ДТ.

-увеличена в два раза – с 450 до 900 млн. т брутто гарантийная эксплуатационная наработка рельсов, относительно произведившихся ранее объемнозакаленных рельсов;

- за счет поставок рельсов увеличенной до 100 длины в 4 раза достигнуто **снижение количества сварных стыковых соединений**, относительно ранее поставлявшихся рельсов длиной 25 м, **эффект от снижения затрат на сварку составляет 1,33 млрд руб /год**;

- решена задача импортозамещения в вопросах обеспечения ОАО «РЖД» длинномерными дифференцированно термоупрочненными рельсами нового поколения, соответствующими по уровню качества лучшим мировым аналогам. За период с 2013 по 2023 г. АО «ЕВРАЗ ЗСМК» совместно с партнерами разработал и освоил рельсы для существующих и перспективных инфраструктурных проектов, включая реконструкцию Байкало-Амурской магистрали и Транссибирской магистрали, строительство высокоскоростных магистралей, строительство пути Северного широтного хода (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Сферы применения инновационной рельсовой продукции АО «ЕВРАЗ ЗСМК» к перспективным инфраструктурным проектам ОАО «РЖД»:**

**а) реконструкция Байкало-Амурской и Транссибирской магистралей – рельсы категорий ДТ350НН, ДТ370, ДТ400ИК;**

**б) линия высокоскоростной магистрали Москва – Санкт-Петербург - рельсы категории ДТ350ВС400;**

**в) Северный широтный ход – рельсы категории ДТ350НН;**

-установлено на основании технико-экономических расчетов более чем двукратное повышение межремонтного срока эксплуатационной наработки - с 700 до 1500 млн. т брутто пропущенного тоннаж, что влечет за собой экономический эффект в размере **5,1 млрд руб./год**;

- за счет достигнутого повышения качественных характеристик дифференцированно термоупрочненных рельсов, относительно применявшихся ранее объемно-термоупрочненных рельсов - по пределу выносливости в 1,3 раза, по уровню внутренних остаточных напряжений в 1,8 раза, по 80%-ному гамма-ресурсу на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» в 3,0 раза (по расчетной экспертной оценке АО «ВНИИЖТ») выполнен расчет **снижения удельной доли изъятий остродефектных рельсов, экономический эффект при этом составляет 1,33 млрд.руб./год**;

С момента окончания реконструкции произведено и поставлено на сеть ОАО «РЖД» свыше 6,1 млн. т дифференцированно-термоупрочненных рельсов, в том числе 1,0 млн. т рельсов специального назначения. Работоспособность дифференцированно-термоупрочненных рельсов общего назначения, характеризуемая 80-процентным гамма ресурсом, подтвержденным при полигонных испытаниях на экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ», составила 1,77 млрд т, что выше уровня аналогичных показателей лучших мировых производителей рельсов Японии и Австрии, составивших 1,2 и 1,1 млрд т, соответственно.

**Ежегодный экономический эффект составляет свыше 11 млрд. руб./год, в т.ч.:**

- **при производстве** от внедрённых в АО «ЕВРАЗ ЗСМК» мероприятий – **3,25 млрд. руб./год**;

- **в эксплуатации** от использования новых рельсов на сети ОАО «РЖД» – **7,76 млрд. руб./год.**