

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.91

doi: 10.30987/2782-5957-2022-11-39-51

## РЕПРОФИЛИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ НА РЕЛЬСОФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

**Виталий Евгеньевич Иноземцев<sup>1✉</sup>, Алексей Юрьевич Попов<sup>2</sup>, Анатолий Александрович Кульков<sup>3</sup>, Антон Юрьевич Корытов<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия

<sup>1,2,3,4</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия

<sup>1</sup> vitalin-85@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4079-9115>

<sup>2</sup> madrat@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3397-9484>

<sup>3</sup> pow12@mail.ru;

<sup>4</sup> 7892295312@mail.ru

### Аннотация

Цель исследования: повышение производительности восстановления профиля рельсов. Статья посвящена решению задачи определения термосиловых, виброакустических и энергетических параметров фрезерной обработки рельсовой стали в различных условиях. Используются расчётно-аналитический метод исследований, экспресс-диагностика. Новизна заключается в предлагаемой усовершенствованной технологии репрофилирования рельсов. Получены следующие результаты: установлено, что наиболее производительным и эффективным способом репрофилирования рельсов

в стационарных условиях является фрезерование на специальных рельсофрезерных станках; определены основные направления повышения обрабатываемости рельсовой стали, что позволило разработать технологию индукционного нагрева для размягчения поверхностного дефектного слоя металла головки рельса. Вывод: установлен диапазон рациональных режимов резания рельсовой стали с термическим отжигом.

**Ключевые слова:** железнодорожный путь, рельсофрезерование, режимы, резание, рельсовая сталь, пластины, репрофилирование.

Ссылка для цитирования:

Иноземцев В.Е. Репрофилирование железнодорожных рельсов на рельсофрезерных станках / В. Е. Иноземцев, А. Ю. Попов, А. А. Кульков, А. Ю. Корытов // Транспортное машиностроение. – 2022. - № 11. – С. 39 – 51. doi: 10.30987/2782-5957-2022-11-39-51.

Original article

Open Access Article

## PROFILING OF RAILWAY RAILS ON RAIL MILLING MACHINES

**Vitaly Evgenievich Inozemtsev<sup>1✉</sup>, Aleksey Yurievich Popov<sup>2</sup>, Anatoly Aleksandrovich Kulkov<sup>3</sup>, Anton Yurievich Korytov<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Design and Engineering Informatics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>1,2,3,4</sup> Russian University of Transport, Moscow, Russia

<sup>1</sup> vitalin-85@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4079-9115>

<sup>2</sup> madrat@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3397-9484>

<sup>3</sup> pow12@mail.ru;

<sup>4</sup> 7892295312@mail.ru

### Abstract

The study objective is to increase the productivity of restoring rail profiles. The paper is devoted to the solution of the problem to determine thermal force, vibro-acoustic and energy parameters of milling machining of rail steel in various conditions. The computational and analytical method of research, express di-

agnostics are used. The novelty is in the proposed improved technology of rail reprofiling. The following results are obtained: it is found that the most productive and effective method of rail reprofiling in stationary conditions is milling on special rail milling machines; the main directions of increasing the machinability of

rail steel are determined, which allows the development of induction heating technology for softening the surface defective metal layer of the rail head. Conclu-

sion: the range of rational cutting modes of rail steel with thermal annealing are found.

**Keywords:** railway track, rail milling, modes, cutting, rail steel, plates, reprofiling.

*Reference for citing:*

*Inozemtsev VE, Popov AYu, Kulkov AA, Korytov AYu. Reprofiling of railway rails on rail milling machines. Transport Engineering. 2022; 11:39-51. doi: 10.30987/2782-5957-2022-11-39-51.*

**Введение**

Эффективность и безопасность процессов перевозок пассажиров и транспортировки грузов на российских железных дорогах существенно зависит от качества обустройства и текущего содержания железнодорожного пути. Содержание в исправном состоянии сложного комплекса инженерно-технических решений, которым является верхнее строение пути (ВСП), обеспечивает не только интенсивность и надежность работы железнодорожного транспорта, но и несет существенные экономические затраты, так на путевое хозяйство железных дорог России приходится более 25 % от всех эксплуатационных расходов.

В процессе движения подвижного состава в структуре ВСП происходит появление и развитие внешних повреждений, внутренних дефектов, остаточных деформаций и прочих отклонений, что вызывает изменение износ и изменение продольной геометрии и профиля рельсовой колеи. Поэтому капитальный ремонт и текущее содержание пути в соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации железных дорог РФ, Инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути и др. нормативных документов, являются базовыми условиями, обеспечивающими бесперебойную, безопасную и эффективную работу железных дорог России [1-4].

**Материалы, модели, эксперименты и методы**

В настоящее время наиболее распространенной технологией репрофилирования рельсов является рельсошлифование. Шлифовальные головки рельсошлифовального поезда прижимаются к рельсу с постоянным усилием, создаваемым пневматическим приводом. Оси 24 шпинделей шлифовальных головок ориентированы под разными углами в поперечной

плоскости оси головки рельса, что позволяет поезду в процессе движения восстанавливать профиль рельса за один проход.

В настоящее время на российских железных дорогах репрофилирование изношенных железнодорожных рельсов может производиться методами, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Методы и оборудование для репрофилирования старогодных рельсов

Table 1

*Methods and equipment for reprofiling of used rails*

Область применения метода	Метод обработки резанием		
	рельсошлифование	рельсофрезерование	рельсострогание
	Специальное оборудование для обработки		
в полевых условиях	рельсошлифовальные поезда типа «Speno» моделей URR-48, RG-48, PGM-48, РШП-48 и др.	рельсофрезерные поезда моделей SF06-FFS, MG-31, SF 03 FFS, SF01, SF02-Truck, SFU4, РФП-1 и др.	—
в стационарных условиях	—	рельсофрезерные станки PRV-250, SKF, РФС 6992, РФС 6992M1 и др.	рельсострогальные станки типа HC-42

В результате постоянства вертикального усилия прижатия профиль рельса приобретает необходимые геометрические параметры не только в поперечном сечении, но на поверхности головок рельсов устраняется волнообразный износ. Процесс рельсошлифования обладая высокой производительностью (скорость рельсошлифовального поезда в рабочем режиме составляет 4...8 км/ч), но отличается малой глубиной резания за один проход (0,2...0,3 мм.), что требует множества проходов поезда для полного устранения существенных дефектов. Средняя стойкость шлифовального круга составляет около 6 час. (примерно 48 км.). Необходимо отметить, что при использовании рельсошлифовальных поездов происходит интенсивное засаливание абразивных кругов, возможно возникновение прижогов и других дефектов шлифования.

Рельсофрезерные поезда представляют собой интегрированный многофункциональный технико-технологический комплекс, обеспечивающий полностью автоматическое измерение геометрии профиля по трем координатам (до и после обработки), мониторинг наличия дефектов на рабочих поверхностях рельса и программное определение постоянства требуемых размеров поперечного и продольных сечения профиля рельса, автоматически изменяя величину припуска на фрезерование. На фрезерных шпинделях установлены фасонные профилирующие фрезы цельной конструкции с механическим креплением сменных твердосплавных пластин. Скорость рельсофрезерных поездов в рабочем режиме достигает 0,5...1,5 км/ч при съеме припуска 0,3...1,5 мм., что позволяет полностью удалять дефекты за один проход.

Технология рельсострогания на продольно-строгальных станках портального типа является устаревшей, но пока применяется при обработке одиночных рельсов длиной до 25 м. и различных элементов стрелочных переводов. Большие ударные нагрузки в момент врезания и выхода режущего инструмента приводят к катастрофическому разрушению режущих кромок крупногабаритных фасонных твердосплавных пластин, что вынуждает сни-

жать скорость резания 8...20 м/мин. и глубину резания 0,5...0,6 мм за проход, но, несмотря на это, стойкость инструмента до переточки составляет 3-4 рельса.

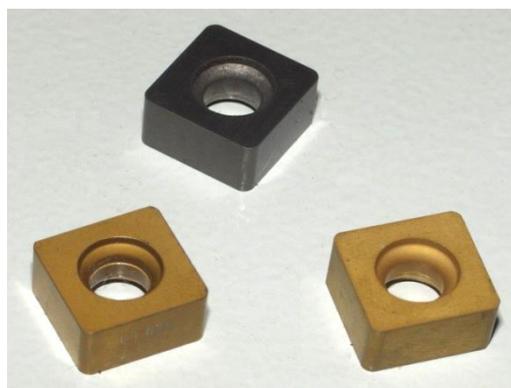
В настоящее время наиболее эффективной и производительной технологией репрофилирования старогонных рельсов в стационарных условиях является непрерывное профильное фрезерование на специальных рельсофрезерных станках. Обработка резанием производится комплектом из двух специальных фасонных фрез, расположенных последовательно по направлению подачи рельса (первая фреза – угловая, вторая фреза – профилирующая). Данные станки имеют возможность обработки одиночных рельсов (длиной от 6 до 25 м.), удлиненных рельсов (до 125 м) и сваренных рельсовых плетей (до 800 м). Скорость подачи рельса 1400-1500 мм/мин. (до 200 м/час), при максимальной глубине фрезерования до 3 мм. Фасонные фрезы для рельсофрезерных станков изготавливаются как цельной, так и сборной конструкции и оснащаются сменными неперетачиваемыми твердосплавными пластинами типа *SNEX 1207 AN-H1* и *SNEX 1207 AN-15H1* ведущих отечественных и зарубежных изготовителей твердосплавного инструмента (рис. 1).

Одной из существенных проблем, снижающих экономическую эффективность рельсофрезерования является повышенный расход дорогостоящего твердосплавного режущего инструмента, связанный с низкой эксплуатационной стойкостью сменных пластин.

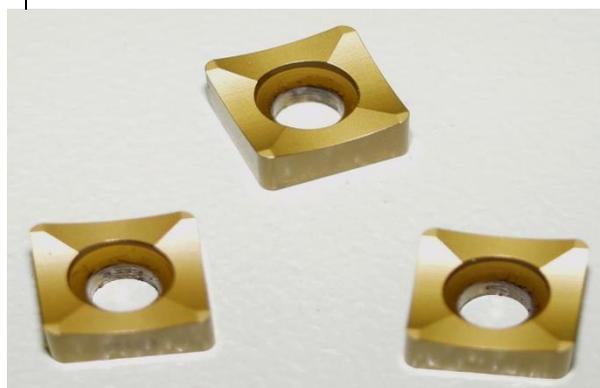
Проведенный на ряде РСП анализ видов износов и структуры отказов сменных твердосплавных пластин при рельсофрезеровании показал, что хрупкое разрушение и интенсивный износ режущих кромок у данных пластин связаны с кинематикой взаимодействия в процессе резания режущих пластин с наклепанным поверхностным слоем объемно-закаленных рельсов. Вследствие циклической пластической деформации металла, возникающей от воздействия колес подвижного состава в процессе эксплуатации объемно-закаленных рельсов из серийных углеродистых сталей по ГОСТ Р 51685-2013 [5],

формируется упрочненный поверхностный слой толщиной 0,5...3,0 мм. с твердостью 420...450  $HV_{10}$  (при исходной твердости рельса 340...400  $HV_{10}$ ). Кроме того, наличие термомеханических поверхностных дефектов тормозного происхождения на головке рельсов (с твердостью 700...900  $HV_{10}$ ) существенно снижает их

обрабатываемость, т.к. ударное взаимодействие режущих кромок пластин с «белым» слоем термомеханических повреждений аустенитно-мартенситной структуры еще больше увеличивает расход инструмента, по сравнению с обработкой только наклепанного слоя.



а)



б)

Рис.1. Стандартные сменные твердосплавные пластины для фрезерования старогодных рельсов (а – прямая твердосплавная пластина формы SNEX 1207AN-H1; б – радиусная твердосплавная пластина формы SNEX 1207AN-15H1)

Fig.1. Standard replaceable carbide inserts for milling old-fashioned rails (a – straight carbide insert has form SNEX 1207AN-H1; b – radius carbide insert has form SNEX 1207AN-15H1)

По данным работ [6], главной причиной низкой обрабатываемости наклепанных и закаленных материалов являются повышенные силы резания, приводящие к интенсивному тепловыделению на единицу объема срезаемого материала. Возникновение высоких контактных температур в зоне обработки ведут к разупрочнению и снижению стойкости режущего инструмента, а, следовательно, и к снижению скоростей обработки (производительности).

В процесс обработки резанием ответственных деталей железнодорожного транспорта, изготовленных из материалов, имеющих высокий уровень легирующих элементов, мелкодисперсных фаз и карбидных включений, а также отличающихся пониженной теплопроводностью и имеющих значительное поверхностное упрочнение при эксплуатации, всегда сопровождается интенсивным износом режущего инструмента. Способность обрабатываемого материала сохранять высокую твердость и прочность при повышенных температурах в процессе резания, приводит не

только к высоким удельным давлениям на режущую кромку инструмента, но и сопровождается резким повышением температуры в зоне контактирования, что активизирует как адгезионные, так и диффузионные явления. Кроме того, наличие высокопрочных частиц и карбидных включений так же интенсифицирует и абразивный износ режущего инструмента. Совокупное действие данных факторов приводит не только к интенсивному износу инструмента, но и в некоторых особо неблагоприятных случаях, прочность, износостойкость и термостойкость инструментального материала может оказаться ниже, аналогичных характеристик обрабатываемого материала, что приводит к обработке на пониженных режимах резания, вызывая повышение трудоемкости и энергопотребление.

В современном машиностроении существует множество различных методов, позволяющих повысить обрабатываемость труднообрабатываемых материалов. К ним относят такие, как использование новых более совершенных конструкций режущего инструмента (высокоэффективные ин-

струментальные материалы, современные технологии упрочнения режущей части инструмента, оптимизация геометрических параметров режущих кромок и др.), так и применение комбинированных методов обработки резанием, сочетающих различные дополнительные воздействия на обрабатываемый материал (предварительный подогрев, отжиг, дополнительная пластическая деформация и др.).

Принятые меры по повышению износостойкости режущего инструмента при фрезеровании рельсов, основанные на разработке новых марок инструментальных твердых сплавов (в том числе с поверхностными износостойкими покрытиями) и оптимизация геометрических параметров режущей части инструмента, не обеспечили кардинального решения проблемы повышенного расхода режущего инструмента. Поэтому, в настоящее время, основным методом сокращения затрат на режущий инструмент при рельсофрезеровании является завышение глубины резания при одновременном снижении рабочей подачи в 1,5...2 раза. Срезание припуска с глубиной «под наклепанный» слой помогает несколько защитить режущую кромку инструмента, немного увеличивая её стойкость, но уменьшает количество рельсов, пригодных для репрофилирования, т.к. не у всех отфрезерованных рельсов сечение ремонтного профиля будет соответствовать требованиям Инструкции ЦПТ-80/350 [7]. Кроме того, превышение рациональных глубин негативно сказывается на производительности рельсофрезерного станка, требует больших затрат электроэнергии и увеличивается трудоемкость обработки.

Согласно данным [8, 9 и др.], наиболее эффективными методами улучшения обрабатываемости твердых, закаленных и наклепанных сталей являются комбинированные методы механической обработки, в которых основное механическое воздействие при резании совмещается с дополнительным тепловым воздействием ("горячее" резание с предварительным изменением исходных свойств обрабатываемого материала, термомеханическая обработка (ТМО), предварительный отжиг поверхностного высокотвердого слоя и др.).

Применение данных методов уменьшает твердость и прочность поверхностного слоя обрабатываемого материала, снижает силы резания и контактные нагрузки на режущий инструмент, существенно повышает стойкость и производительность процесса обработки.

Отделением металлов АО «ВНИИЖТ» для решения проблемы сокращения расходов на твердосплавный инструмент при фрезеровании старогодных рельсов в стационарных условиях существующих РСП была разработана технология предварительного термоотжига поверхностного слоя головки старогодных рельсов [10]. Разработанное и изготовленное оборудование для высокочастотного индукционного нагрева головки рельса позволило разупрочнить до твердости 340...400  $HV_{10}$  только поверхностный дефектный слой металла, который и удаляется в процессе дальнейшего фрезерования.

Кафедрой «Технология транспортно-го машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта (МИИТ) на базе лаборатории «Резания и режущего инструмента» были проведены испытания инструмента для фрезерования старогодных рельсов. Требуемая идентичность лабораторных испытаний производственным условиям РСП обеспечивалась путем выполнения следующих условий:

- соответствие обрабатываемости материалов (соответствие геометрических параметров обрабатываемых рельсов, их химического состава, микроструктуры и физико-механических свойств, а также их распределению по сечению);
- соответствие геометрических параметров используемого режущего инструмента;
- соответствие объемов удаляемого металла, площади сечения срезаемого слоя и длины пути резания, приходящихся на режущую кромку инструмента производственным условиям;
- соответствие режимов обработки.

При проведении испытаний использовались заготовки, вырезанные из стандартных объемно-закаленных рельсов Э76Ф и К76Ф, что обеспечило соответствие физико-механических свойств и хи-

мического состава ГОСТ Р 51685 [5]. Для обеспечения многопроходной фрезерной обработки рельсов при стойкостных сравнительных испытаниях режущих пластин, головка заготовок рельсов дополнительно термообработывалась для формирования упроченного слоя толщиной 8-10 мм. (идентичного по своей микроструктуре и твердости свойствам рельсовой стали в процессе эксплуатации).

Согласно [11-12], с целью обеспечения идентичности лабораторных и производственных испытаний режущего инструмента геометрические параметры режущей кромки (режущего клина) инструмента при лабораторных испытаниях

должны полностью соответствовать геометрическим параметрам режущей кромки инструмента в производственных условиях.

Проведенные на базе «Сызранского завода путевых машин» (РСР-20) производственные исследования показали, что при рельсофрезеровании старогодных рельсов на рельсофрезерном станке РФС 6992М интенсивность износа и отказов режущих кромок твердосплавных пластин по контуру профилирующей фрезы различна и определяется в зависимости от месторасположения твердосплавных пластин на профиле фрезы (рис. 2).

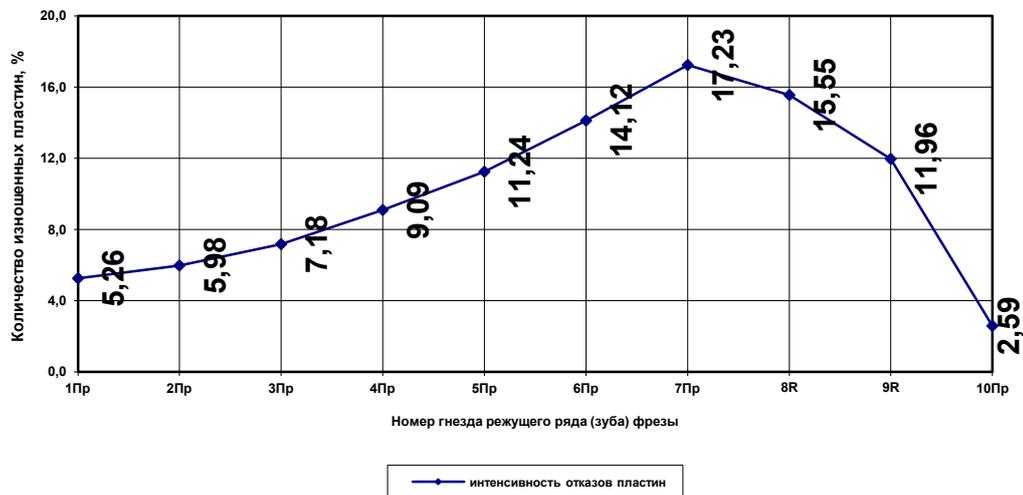


Рис. 2. Суммарное распределение изношенных твердосплавных пластин в зависимости от их месторасположения в гнездах режущего ряда (зуба) профилирующей фрезы (Pr – прямые пластины, R – радиусные пластины)

Fig. 2. The total distribution of worn carbide inserts, depending on their location in the nests of the cutting row (tooth) of the profiling cutter (Pr – straight inserts, R – radius inserts)

Анализ рис. 2 показывает, что наиболее интенсивно изнашиваются, а, следовательно, испытывают наибольшую нагрузку в процессе рельсофрезерования, прямые пластины (SNEX 1207AN-H1) расположенные в 7-м гнезде режущего ряда (зуба)

фрезы и радиусные пластины (SNEX 1207AN-15H1), расположенные в 8-м гнезде фрезы. Менее интенсивно изнашиваются пластины, соответствующие 6-му и 9-му гнездам режущего ряда. Подобная закономерность изменения интенсивности изна-

шивания сменных твердосплавных пластин идентична как для пластин из разных марок твердых сплавов, так и для пластин различных изготовителей. Анализ кинематики работы профилирующей фрезы рельсофрезерного станка РФС 6992М позволил определить наиболее нагруженные твердосплавные пластины, работающие в самых неблагоприятных условиях, что дало возможность создать трехмерную модель взаимодействия поверхности головки рельса типа Р65 (по ГОСТ Р 51685) с фрезой только с данными пластинами. При моде-

лировании глубина и ширина фрезерования соответствовали среднефактическим условиям резания для рельсофрезерного станка РФС 6992М в условиях РСП-20. На основе разработанной модели была изготовлена 2-х зубая фасонная фреза для проведения лабораторных испытаний твердосплавных пластин (рис. 3). Фреза двухсторонней конструкции обеспечивала возможность установки на одну сторону пластин *SNEX 1207 AN-H1*, а на другую *SNEX 1207AN-15H1* с требуемыми геометрическими параметрами.



Рис. 3. Цилиндрическая 2-х зубая двухсторонняя фреза с механическим креплением сменных твердосплавных пластин, используемая при проведении лабораторных испытаний

*Fig. 3. Cylindrical 2-tooth double-sided milling cutter with mechanical fastening of replaceable carbide inserts used in laboratory testing*

Лабораторные испытания проводились на модернизированном широкоуниверсальном консольно-фрезерном станке модели 6Р82Ш. Станок обеспечивал возможность плавного регулирования частот вращения горизонтального шпинделя и рабочих подач стола. С целью обеспечения идентичности условий и режимов обработки при лабораторных испытаниях, производственным условиям, скорость резания была равна скорости резания рельсофрезерного станка РФС 6992М ( $V_{\text{ЛАБ}} = V_{\text{ПР}} = 176$  м/мин). Площадь сечения срезаемого слоя равна площади сечения срезаемого слоя в производственных условиях ( $F_{\text{ЛАБ}} = F_{\text{ПР}}$ ), что также обеспечивалось

режимами обработки, соответствующими параметрам рельсофрезерного станка РФС 6992М: глубина резания « $t$ » от 0,5 до 3,0 мм, а рабочая подача « $S_z$ » от 1,666 до 2,916 мм/зуб.

При проведении лабораторных испытаний использовался специализированный мобильный стенд экспресс-диагностики процессов резания и режущего инструмента, позволяющий объединить в единое целое измерение, регистрацию и автоматизированную обработку основных параметров процесса обработки (рис. 4). Данный диагностический комплекс позволяет производить автоматическое непрерывное слежение за динамическим состоянием исследу-

дуемого режущего инструмента и состоянием технологического процесса по силовым, термоэлектрическим, виброакустическим, акустико-эмиссионным и мощностным параметрам процесса резания [12].

Испытания проводились методом цилиндрического попутного фрезерования

характерного для рельсофрезерного станка РФС 6992М. Исследования закономерности изменения термонапряженного состояния в зоне резания при изменении технологических параметров процесса обработки осуществлялись путем проведения полного факторного эксперимента.



Рис. 4. Общий вид диагностического комплекса с мобильным автоматизированным стендом экспресс-диагностики процессов резания и режущего инструмента, используемый при проведении лабораторных исследований  
*Fig. 4. General view of the diagnostic complex with a mobile automated stand for express diagnostics of cutting processes and cutting tools used in laboratory research*

## Результаты

Ряд результатов экспериментальных исследований влияния термоотжига на характер протекания процесса фрезерования рельсовой стали, приведен на рис. 5 и 6.

Характер полученных кривых, с учетом последующей математической обработки полученных данных, показывает, что наибольшее влияние на параметры процесса резания при фрезерной обработке рельсовой стали после термоотжига оказывает скорость резания "V". Увеличение "V" приводит к пропорциональному увеличению "Θ", "A" и "N" и уменьшению "P<sub>Z</sub>", "P<sub>X</sub>" и "T". В меньшей степени на изменение указанных параметров оказывает влияние рабочая подача "S<sub>Z</sub>" и глубина резания "t". Увеличение подачи "S<sub>Z</sub>" приводит к пропорциональному росту "R<sub>MAX</sub>", "N", "Θ", "A", "P<sub>Z</sub>", "P<sub>Y</sub>", "P<sub>X</sub>", а увеличение

глубины резания "t" приводит к росту "R<sub>MAX</sub>", "N", "Θ", "A", "P<sub>Z</sub>", "P<sub>Y</sub>" и "P<sub>X</sub>".

При обработке рельсовой стали после термоотжига с увеличением скорости резания температура (Т-ЭДС) монотонно растет, что объясняется соответствующим ростом температуры в зоне контакта режущего инструмента с обрабатываемой деталью. Увеличение глубины резания "t" ведет к существенному увеличению "Θ". Это объясняется увеличением электрической проводимости материалов инструмента и детали с ростом длины их контакта.

При этом увеличение фаски износа по задней поверхности пластины с 0,1 до 0,5 мм., кроме существенного увеличения сил резания, приводит к росту Т-ЭДС, что подтверждает положение об увеличении температуры в зоне резания по мере роста фаски износа.

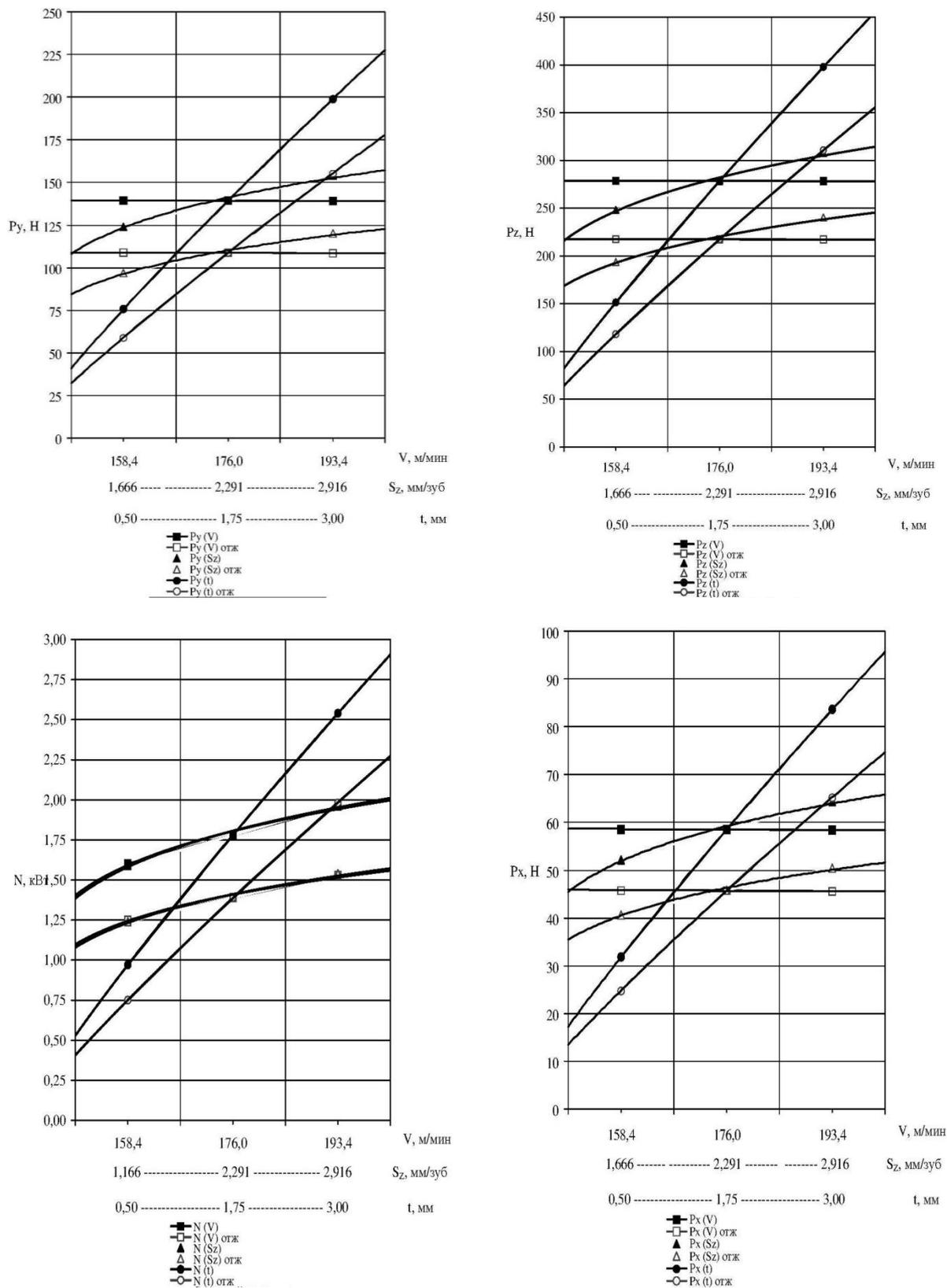


Рис. 5. Влияние технологических параметров на изменение окружной составляющей силы резания “ $P_Z$ ”, радиальной составляющей силы резания “ $P_Y$ ”, осевой составляющей силы резания “ $P_X$ ” и фактической мощности резания “ $N$ ” при фрезеровании твердосплавными пластинами формы SNEX 1207 AN-H1 рельсовой стали в обычном состоянии и после термоотжига

Fig. 5. The influence of technological parameters on the change in the circumferential component of the cutting force “ $P_Z$ ”, the radial component of the cutting force “ $P_Y$ ”, the axial component of the cutting force “ $P_X$ ” and the actual cutting power “ $N$ ” when milling rail steel with carbide inserts of the form SNEX 1207 AN-H1 in the normal state and after thermal annealing

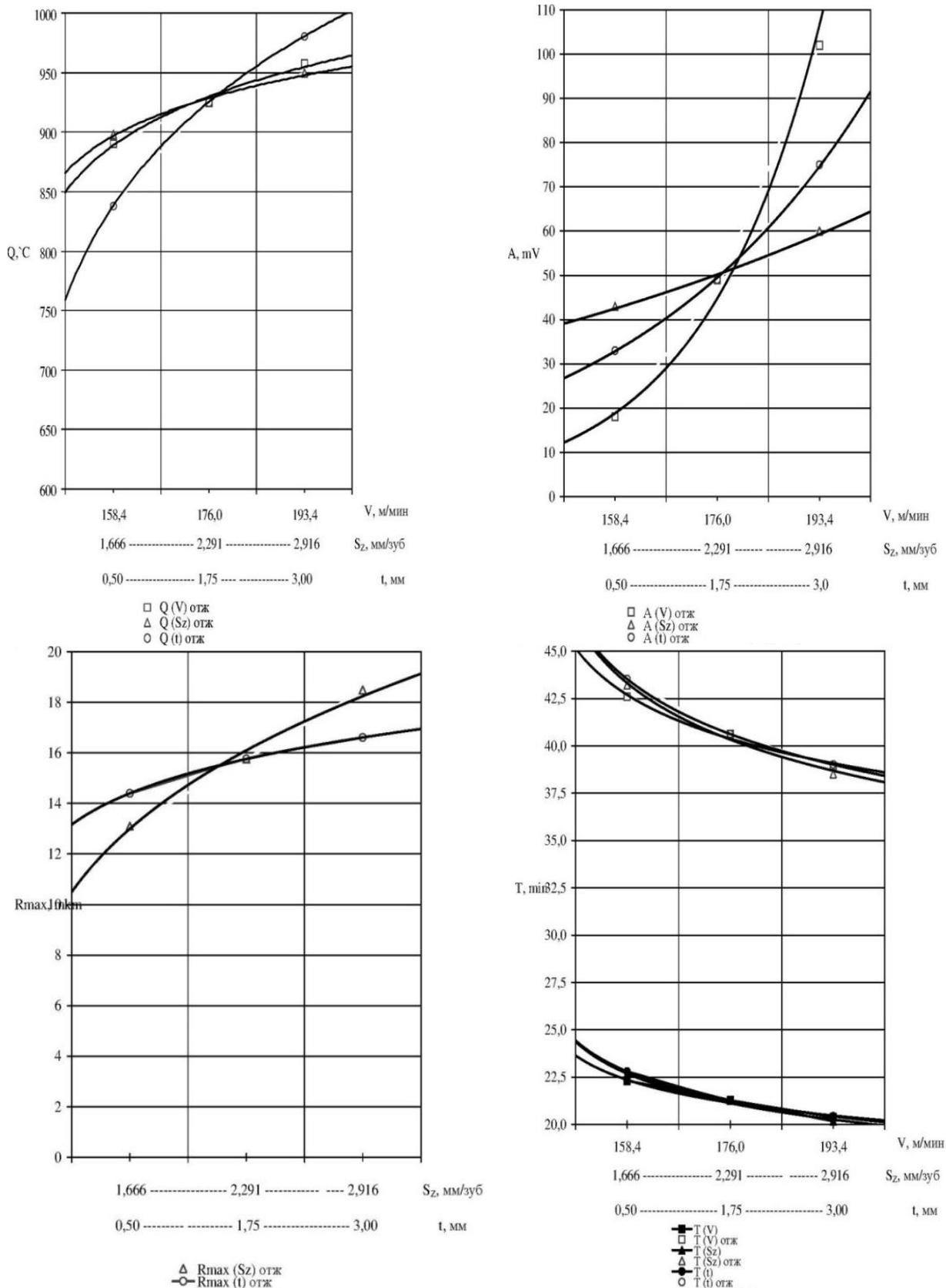


Рис. 6. Влияние технологических параметров на изменение температуры в зоне резания “ $\Theta$ ”, среднеквадратичной амплитуды акустической эмиссии “ $A$ ”, шероховатости поверхности “ $R_{MAX}$ ” и стойкость режущего инструмента “ $T$ ” при фрезеровании твердосплавными пластинами формы SNEX 1207 AN-H1 рельсовой стали после термоотжига

Fig. 6. The influence of technological parameters on the change in temperature in the cutting zone “ $\Theta$ ”, the root-mean-square amplitude of acoustic emission “ $A$ ”, the surface roughness “ $R_{MAX}$ ” and the durability of the cutting tool “ $T$ ” when milling with carbide inserts of the form SNEX 1207 AN-H1 of rail steel or after thermal annealing

Исследования амплитуды акустической эмиссии (АЭ) при механической обработке рельсовой стали после термоотжига показали, что технологические параметры процесса резания достаточно хорошо коррелируют с величиной сигнала акустической эмиссии (см. рис. 6). Из полученных графиков видно, что наибольшее влияние на математическое ожидание амплитудного распределения оказывается скоростью резания « $V$ » и, в меньшей степени, глубиной резания « $t$ » и рабочей подачей « $S_z$ ». Установлено, что увеличение фаски износа по задней поверхности пластины приводит к увеличению математического ожидания амплитуды сигнала АЭ, что подтверждает высокую информативность сиг-

### Заключение

В ходе проведенных производственных исследований и лабораторных испытаний установлено, что технологический процесс обработки резанием при репрофилировании старогодных рельсов на российских железных дорогах относится к процессам нестационарного резания. В процессе обработки могут одновременно изменяться несколько параметров сечения срезаемого слоя, переменна обрабатываемость детали, интенсивно изнашивается твердосплавный режущий инструмент и др. Одной из главных причин снижения эксплуатационной стойкости сменных твердосплавных пластин при репрофилировании старогодных рельсов является их низкая обрабатываемость вследствие эксплуатационного наклепа и термомеханических повреждений на поверхности.

Технологически обосновано, что широкое применение высокочастотного индукционного отжига поверхностного дефектного слоя головки рельсов может стать одним из эффективных методов повышения производительности и экономической эффективности рельсофрезерования. Выявлены закономерности влияния

нала АЭ при диагностировании износа инструмента. В ходе проведенных лабораторных исследований установлено, что из-за улучшения обрабатываемости рельсовой стали после термоотжига, получаемые действительные значения информативных параметров процесса резания смещены в область более низких показателей. Это объясняется тем, что при фрезеровании с термоотжигом, слой металла, подлежащий удалению в процессе резания, на подходе к зоне резания испытывает последовательный нагрев и охлаждение, что приводит к уменьшению деформационного упрочнения стали, изменению её структуры, а также появлению термических напряжений и деформаций.

режимов обработки на термосиловые, энергетические, виброакустические и акустико-эмиссионные параметры фрезерования рельсовой стали до и после термоотжига. В результате лабораторных исследований установлено, что при фрезеровании рельсовой стали после термоотжига твердосплавными пластинами *SNEX 1207 AN-H1* (в том числе из современных твердых сплавов с поверхностными износостойкими покрытиями), общая величина составляющих сил резания, температур и колебаний в зоне резания меньше на 25-30 %, чем при механической обработке старогодных рельсов в обычном состоянии.

Повышение качества, производительности и экономической эффективности репрофилирования старогодных рельсов рельсофрезерованием будет способствовать повышению безопасности движения поездов, снижению трудоемкости путевых работ, увеличению пропускной способности ремонтируемых перегонов и общему росту эффективности капитального ремонта и текущего содержания железнодорожного пути.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. М.: ООО «Техинформ», 2012. 520 с.
2. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути. Утв. распоряжением ОАО «РЖД» №2288р от 14.11.2016.

3. ЦПТ-53 Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути. В редакции распоряжения ОАО «РЖД» №2538р от 25.11.2011.
4. ЦПТ-52 Правила и технология выполнения основных работ при текущем содержании пути. Утв. МПС от 30.06.1997.

5. ГОСТ Р 51685-2013 Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 101 с.
6. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. М.: Машиностроение, 1973.
7. Рельсы железнодорожные старогонные. Технические условия на ремонт, сварку и использование старогонных рельсов. № ЦТП-80/350. Москва. 2003 г. 50 с.
8. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. М.: Машиностроение, 1977. 304 с.
9. Подураев В.Н. Технология физико-механических методов обработки. М.: Машиностроение, 1985. 264 с.

## REFERENCES

1. Rules of technical operation of the Russian Federation railwas. Moscow: Techinform; 2012.
2. Instructions for the current maintenance of the railway track. 2016 Nov 14.
3. ЦПТ-53 Technical conditions for repair work and planned preventive track straightening. 2011 Nov 25.
4. ЦПТ-52 Rules and technology for performing basic work with the current maintenance of the track. 1997 Jun 30.
5. GOST R 51685-2013 Railway rails. General technical conditions. Moscow: Standartinform; 2014.
6. Poduraev VN. Cutting of hard-to-work materials. Moscow: Mashinostroenie;1973.
7. ЦПТ-80/350. Old-fashioned railway rails. Technical conditions for the repair, welding and use of old-fashioned rails. Moscow; 2003.

## Информация об авторах:

**Иноземцев Виталий Евгеньевич** – кандидат технических наук, доцент, тел.+79652545506, Scopus-Author ID: 56104638700, Author-ID-РИНЦ: 709210  
**Попов Алексей Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент, тел. +74956842453, Scopus-Author ID: 57215127696, Author-ID-РИНЦ 692043.

**Inozemtsev Vitaly Evgenievich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, phone: +79652545506, Author-ID-RSCI: 709210  
**Popov Aleksey Yurievich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, phone: +74956842453, Scopus-Author ID: 57215127696, Author-ID-RSCI 692043.

10. Долгих Л.В., Федин В.М., Борц А.И., Попов А.Ю. Технология репрофилирования старогонных рельсов. *Железнодорожный транспорт*. 2011;5:43-45.
11. Кацев П.Г. Производственные испытания режущего инструмента: Обзор. М.: НИИМАШ, 1982. 64 с.
12. Попов А.Ю. Оптимизация элементов технологической системы при восстановлении профиля поверхности катания пар подвижного состава : диссертация ... кандидата технических наук : 05.02.08.- Москва, 1998.- 308 с.

8. Poduraev VN. Automatically regulated and combined cutting processes Moscow: Mashinostroenie;1977.
9. Poduraev VN. Technology of physical and mechanical machining methods. Moscow: Mashinostroenie; 1985.
10. Dolgikh LV, Fedin VM, Bortz AI, Popov AYU. Reprofilng technology of old-fashioned rails. *Railway Transport*. 2011;5:43-45.
11. Katsev PG. Production tests of cutting tools: review. Moscow: NIIMASH; 1982.
12. Popov AYU. Optimization of the technological system elements when restoring the profile of the rolling surface of rolling stock pairs [dissertation]. [Moscow (RF)]; 1998.

**Кульков Анатолий Александрович** – кандидат технических наук, доцент, тел. +79037482040, Author-ID-РИНЦ 564056.

**Корытов Антон Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент, тел. +78922955312, Author-ID-РИНЦ 536309.

**Kulkov Anatoly Aleksandrovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, phone: +79037482040, Author-ID-RSCI 564056.

**Korytov Anton Yuryevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, phone: +78922955312, Author-ID-RSCI 536309.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.**

**Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 14.07.2022; одобрена после рецензирования 25.07.2022; принята к публикации 25.10.2022. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной со-**

став железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редколлегии журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 14.07.2022; approved after review on 25.07.2022; accepted for publication on 25.10.2022. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.