



Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Экспериментальные исследования режимов шлифования рельсов с применением нового скоростного электропривода

Андрей Ильиных^{1, а, *}, Александр Пикалов^{2, б}, Владимир Милорадович^{2, с}, Марина Галай^{1, д}

¹ Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, Новосибирск, 630049, Россия

² Центр инфраструктурных технологий АО «СТМ», Подкопаевский переулок, д. 4Б, Москва, 109028, Россия

^а <https://orcid.org/0000-0002-4234-6216>, asi@stu.ru; ^б <https://orcid.org/0000-0002-9584-9896>, pikalov.2023@internet.ru;

^с <https://orcid.org/0000-0002-8258-5801>, vmiloradovich@internet.ru; ^д <https://orcid.org/0000-0002-7897-1750>, galayms@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.923

История статьи:

Поступила: 03 июня 2024

Рецензирование: 17 июня 2024

Принята к печати: 22 июня 2024

Доступно онлайн: 15 сентября 2024

Ключевые слова:

Шлифование рельсов

Скоростной электропривод

Режимы шлифования

Железнодорожный путь

Финансирование

Результаты исследований, представленные в статье, получены с использованием мер государственной поддержки на развитие кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций реального сектора экономики, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичных производств, предусмотренных постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 по теме «Высокопроизводительная технология скоростного шлифования рельсов и оборудование для ее реализации на основе интеллектуальных цифровых модулей», соглашение № 075-11-2022-014 от 08 апреля 2022 г.

АННОТАЦИЯ

Введение. Операция шлифования рельсов используется на железнодорожном транспорте как превентивная мера образования и развития дефектов контактно-усталостного происхождения, волнообразного износа и деформаций поперечного профиля рельсов. В настоящее время АО «Калужский завод «Ремпутьмаш» совместно с Сибирским государственным университетом путей сообщения ведет разработку нового рельсошлифовального поезда повышенной производительности – РШП 2.0, который превосходит существующие аналоги по производительности в 3,5 раза. В основу РШП 2.0 положена технология скоростного шлифования рельсов, для реализации которой требуется обеспечение скорости резания до 100 м/с. Вращение шлифовального круга задается электродвигателем. На сегодняшний день электропривода промышленного исполнения, способного реализовать требуемые характеристики (7000 об/мин, 45 кВт, 60 Н·м), не существует. **Цель работы.** Исследование режимов шлифования рельсов с применением нового скоростного электропривода шлифовального круга, содержащего в качестве электродвигателя синхронный двигатель с постоянными магнитами и преобразователь частоты, питающий электродвигатель переменным напряжением повышенной частоты и обеспечивающий регулирование скорости шлифовального круга. **Методы исследования.** Для получения данных о работе нового электропривода в условиях, максимально приближенных к реальным режимам работы, и возможности реализации технологии скоростного шлифования проведены исследовательские испытания на специально разработанной рельсошлифовальной установке. Измерение частоты вращения шлифовального круга производилось лазерным тахометром «Мегеон 18005»; оценка съема металла после механической обработки осуществлялась профилографом рельсовым ПР-03; давление в пневмосистеме измерялось с помощью преобразователей давления измерительных ОВЕН ПД100И-ДИ1,6-111-0,5. **Результаты и обсуждение.** По результатам испытаний было установлено, что новый скоростной электропривод обладает повышенными эксплуатационными характеристиками за счет повышенной производительности и возможности регулирования скорости шлифовального круга, в результате этого обеспечивается необходимый съем металла с головки рельса при значительном увеличении скорости перемещения рельсошлифовального поезда.

Для цитирования: Экспериментальные исследования режимов шлифования рельсов с применением нового скоростного электропривода / А.С. Ильиных, А.С. Пикалов, В.К. Милорадович, М.С. Галай // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2024. – Т. 26, № 3. – С. 66–78. – DOI: 10.17212/1994-6309-2024-26.3-66-78.

*Адрес для переписки

Ильиных Андрей Степанович, д.т.н., доцент

Сибирский государственный университет путей сообщения,

ул. Дуси Ковальчук, 191,

630049, г. Новосибирск, Россия

Тел.: 8 (383) 328-04-13, e-mail: asi@stu.ru

Введение

Шлифование железнодорожных рельсов является одной из операций по текущему содержанию верхнего строения пути, которая формирует профиль рельса и удаляет дефекты, возникающие при эксплуатации. Для шлифования рельсов применяют специальные поезда – рельсошлифовальные. На таких поездах установлены абразивные круги, которые обрабатывают поверхность головки рельса по схеме плоского шлифования [1–4].

Для работы рельсошлифовальных поездов на сети железных дорог организуют специальные «технологические окна», когда перегоны закрывают для движения любых видов подвижного состава, что приводит к финансовым потерям для транспортных компаний. Организация таких «окон» обусловлена тем, что скорость рельсошлифовального поезда очень мала и составляет от 4 до 8 км/ч при частоте вращения шлифовального круга 3600 об/мин [5–7]. Поэтому задача уменьшения времени работы рельсошлифовального поезда путем увеличения рабочей скорости относится к приоритетным направлениям по развитию железнодорожной отрасли.

Для решения этой задачи реализуется проект РШП 2.0, выполняемый Сибирским государственным университетом путей сообщения и Калужским заводом «Ремпутьмаш». В рамках этого проекта ведется разработка рельсошлифовального поезда РШП 2.0, рабочая скорость которого будет увеличена до 15 км/ч, при этом величина съема металла останется неизменной и составит 0,2 мм. В соответствии с проведенными ранее исследованиями по скоростному шлифованию рельсов [8–10] и теорией резания [11–13] увеличения рабочей скорости рельсошлифовального поезда можно достичь путем повышения частоты вращения шлифовального круга [14].

Предварительно проведенные промышленные и лабораторные испытания [15, 16] показали возможность повышения рабочей скорости РШП 2.0 до 15 км/ч при частоте вращения шлифовального круга 5000 об/мин, а в перспективе до 20...30 км/ч при 6000...7000 об/мин. При этом величина съема металла с рельса остается неизменной и в среднем составляет 0,2 мм.

Принципиально рабочее оборудование РШП 2.0 не отличается от применяемых рельсошлифовальных поездов и характеризуется силовым

замыканием кинематической цепи «абразивный круг – обрабатываемая поверхность» [17]. За счет пневмоцилиндра шлифовальные круги прижимаются к поверхности головки рельса. Пневмоцилиндр воздействует на электродвигатель, установленный в рычажном механизме рабочего оборудования (рис. 1). Давление в пневмоцилиндре регулируется в зависимости от нагрузки на электродвигателе, которая характеризуется силой тока в статоре. Схема управления усилием прижатия шлифовального круга представлена на рис. 2.

При шлифовании рельсов необходимо обеспечить определенный съем металла, чтобы получить требуемый профиль рельса. Однако реализовать шлифование с определенным съемом металла не представляется возможным из-за упругой подвески шлифовальной головки. Кроме того, отклонения съема металла от предполагаемых значений будут приводить к нарушениям точности формирования поперечного профиля рельса [18, 19], а также к изменениям условий работы абразивного инструмента [20] и ухудшению параметров качества обработанной поверхности.

Уменьшение разности между заданным съемом металла при шлифовании и фактически полу-

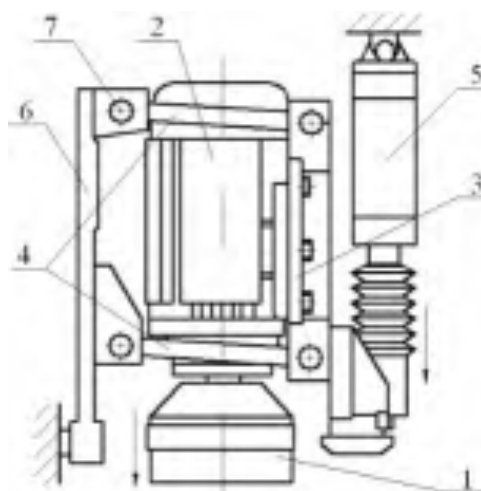


Рис. 1. Схема крепления шлифовальной головки:

1 – абразивный круг; 2 – электродвигатель; 3 – подмоторная плита; 4 – параллелограммная подвеска; 5 – пневмоцилиндр; 6 – плита блока; 7 – ось

Fig. 1. Grinding head mounting pattern:
1 – abrasive wheel; 2 – electric motor; 3 – motor-mounting plate; 4 – parallelogram suspension; 5 – pneumatic cylinder; 6 – block plate; 7 – axis

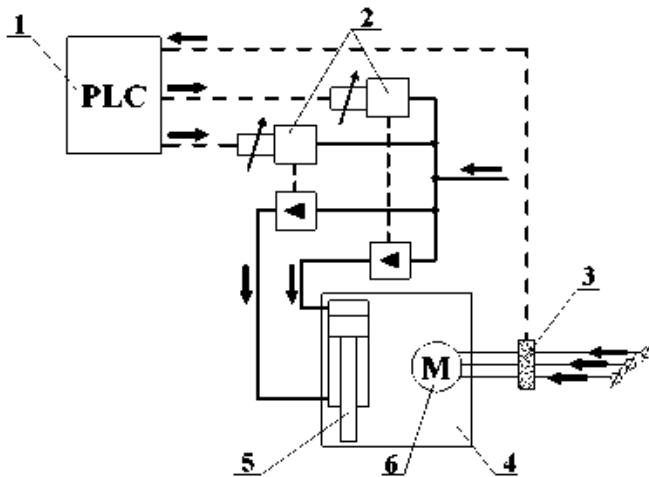


Рис. 2. Общая схема управления усилием прижатия шлифовального круга:

1 – блок управления режимами шлифования; 2 – пропорциональный клапан; 3 – преобразователь регулировочного блока; 4 – шлифовальный блок; 5 – пневмоцилиндр; 6 – электродвигатель привода шлифовального круга

Fig. 2. General pattern for controlling the pressing force of the grinding wheel:

1 – grinding mode control unit; 2 – proportional valve; 3 – converter of the adjusting block; 4 – grinding block; 5 – pneumatic cylinder; 6 – electric motor of the grinding wheel drive

чаемым возможно путем установления эмпирических зависимостей технологических параметров режимов шлифования. Основным элементом, который определяет режимы шлифования, является привод шлифовального круга – электродвигатель. Характеристики электродвигателя определяют настройки системы управления усилием прижатия шлифовального круга (рис. 2).

Ключевой задачей при создании РШП 2.0 является наличие промышленного образца ско-

ростного электропривода шлифовального круга с повышенной частотой вращения вала. В ходе предварительных исследований режимов скоростного шлифования рельсов [15, 16] были определены требуемые технические характеристики скоростного электропривода для обеспечения необходимой производительности рельсошлифовального поезда, которые представлены в табл. 1. Кроме указанных технических характеристик с целью расширения технологических возможностей нового рельсошлифовального поезда в конструкции нового электропривода необходимо обеспечить возможность регулировки частоты вращения шлифовального круга.

В настоящее время электродвигатели общепромышленного производства с требуемыми техническими характеристиками отсутствуют, а создание нового электродвигателя усложняется ограничениями по габаритам, связанными с необходимостью его размещения в подвагонном пространстве рельсошлифовального поезда. В связи с этим АО «Тайфун» спроектировал и изготовил опытный образец нового скоростного электродвигателя по требуемым габаритным параметрам.

Для принятия решения о применении нового электропривода в РШП 2.0 требуется проведение комплекса исследований и испытаний с целью подтверждения технических характеристик электродвигателя и их соответствия требуемым режимам шлифования.

Постановка задач исследований

Основной задачей, решаемой АО «Тайфун» при разработке скоростного электропривода,

Таблица 1

Table 1

Основные характеристики скоростного электропривода Main characteristics of high-speed electric drive

Техническая характеристика	Значение
Частота вращения вала электродвигателя, изменяемая в диапазоне, об/мин	3600...7000
Мощность, не менее, кВт	45
Крутящий момент на валу электродвигателя, не менее, Н·м	60
Габаритные размеры:	
максимальный диаметр, мм	260
максимальная длина, мм	580

являлось улучшение его эксплуатационных характеристик за счет повышенной производительности и возможности регулирования скорости вращения шлифовального круга. Электропривод включает в себя электродвигатель, приводящий в движение шлифовальный круг, и преобразователь частоты, питающий электродвигатель переменным напряжением повышенной частоты и обеспечивающий регулирование скорости шлифовального круга. Результат достигался за счет того, что в качестве электродвигателя использовали синхронный двигатель с постоянными магнитами скоростного исполнения со встроенным датчиком магнитного поля, а преобразователь частоты имел повышенную несущую частоту и был оборудован быстродействующими цифровыми интерфейсами управления.

В принятой концепции нового электропривода можно отметить следующие преимущества использования в электродвигателе постоянных магнитов:

- компактность (уменьшение размеров электродвигателя практически в два раза в сравнении с общепромышленным исполнением при тех же параметрах);
- плавное регулирование частоты вращения вала электродвигателя;
- КПД электродвигателя до 97 % и максимальные удельные показатели.

В соответствии с конструкторской документацией АО «Тайфун» был изготовлен опытный образец рельсошлифовального скоростного электропривода, содержащий в качестве электродвигателя синхронный двигатель с постоянными магнитами (рис. 3) со следующими техническими характеристиками:

- номинальная мощность – 46,5 кВт;
- номинальная частота вращения – 7000 об/мин;
- номинальные параметры питающего трехфазного напряжения – 380 В; 233,33 Гц;
- питание преобразователя частоты – входное трехфазное напряжение от 285 до 494 В частотой 50 Гц;
- выходное напряжение с частотного преобразователя – трехфазное напряжение до 494 В частотой до 400 Гц;
- номинальный момент на валу электродвигателя – 63,4 Н·м;
- действующее значение фазного тока – 100 А;
- КПД – 96 %.



Рис. 3. Скоростной электродвигатель производства АО «Тайфун»

Fig. 3. High-speed electric motor produced by JSC “Typhoon”

Кроме того, электропривод имеет возможность плавной регулировки частоты вращения вала электродвигателя от 0 до 7000 об/мин. При этом преобразователь частоты обеспечивает выходную мощность до 105 кВт, имеет несущую частоту 8 кГц, выдерживает длительный ток с действующим значением 100 А, оборудован дискретными и аналоговыми входами и выходами, а также цифровыми интерфейсами управления Ethernet, RS-485 и CAN, при этом интерфейс CAN является быстродействующим и имеет скорость 250 000 бод. Пуск, остановка, реверс, плавное изменение частоты вращения вала электродвигателя, защита от перегрузок, перегревов и коротких замыканий осуществляются частотным преобразователем.

Новый скоростной шлифовальный электродвигатель производства АО «Тайфун» принципиально отличается от ранее применяемого на рельсошлифовальных поездах по массе и рабочим характеристикам. В связи с этим требуется уточнение его оптимальных режимов работы по токовым нагрузкам, которые будут определяться усилием прижатия шлифовального круга к рельсу, обеспечиваемым соответствующим давлением в пневмосистеме. Таким образом, основной **целью исследований** являлась настройка нового скоростного электропривода и получение данных о его работе в условиях, максимально приближенных к реальным режимам работы.

Методика исследований

Исследовательские испытания скоростного электропривода осуществлялись на экспериментальной рельсошлифовальной установке

(УРШ) [15]. УРШ состоит из отдельного участка пути длиной 100 м со стандартной колеей 1520 мм (рис. 4, *а*), по которому перемещается рельсошлифовальная тележка (рис. 4, *б*). Тележка приводится в движение при помощи привода лебедочного типа, содержащего двигатель и передачу (муфту, тормоз, редуктор одноступенчатый), а также барабана с однослойной навивкой. В качестве источника энергии используется

дизель-генераторная установка мощностью 200 кВт. Работа УРШ в режиме испытаний автоматическая, она контролируется системой управления и управляется с персонального компьютера. Для исследования режимов шлифования с новым скоростным шлифовальным электроприводом он был установлен на рельсошлифовальную установку УРШ (рис. 4, *в*, *г*).


а

б

в

г

Рис. 4. Общий вид рельсошлифовальной установки (УРШ):

а – участок пути; *б* – рельсошлифовальная тележка; *в* – скоростной электродвигатель АО «Тайфун»; *г* – частотный преобразователь АО «Тайфун»

Fig. 4. Overview of the rail grinding unit (the URSH):

a – section of railway track; *b* – rail grinding trolley; *v* – high-speed electric motor of JSC “Typhoon”; *z* – frequency converter of JSC “Typhoon”

Прижатие шлифовального круга к обрабатываемой поверхности рельса осуществляется на основе разности давлений в штоковой и поршневой полостях пневмоцилиндра. Регулировка давлений в полостях пневмоцилиндра производилась пропорциональным регулятором давления на основе данных о токовой нагрузке в обмотках скоростного электродвигателя в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.

При испытаниях скоростного электропривода использовались следующие средства измерения и контроля: измерение частоты вращения шлифовального круга производилось лазерным тахометром «Мегеон 18005»; оценка съема металла после механической обработки осуществлялась профилографом рельсовым ПР-03; давление в пневмосистеме измерялось с помощью преобразователей давления измерительных ОВЕН ПД100И-ДИ1,6-111-0,5.

В исследованиях использовались специально разработанные высокоскоростные рельсошлифовальные круги марки ПП 35-250×75×150ZK125BT производства АО «Экспериментальный завод «Металлист – Ремпутьмаш»», рассчитанные на рабочие скорости до 100 м/с [21].

Исследования нового скоростного электропривода для реализации технологии скоростного шлифования рельсов проводились в следующей последовательности.

1. В пневмосистеме прижатия шлифовального круга к рельсу устанавливалось давление воздуха 0,5 атм.

2. При заданном давлении производилось по три шлифовальных прохода на каждом режиме шлифования:

- скорость 15 км/ч при частоте вращения шлифовального круга 5000 об/мин;
- скорость 20 км/ч при частоте вращения шлифовального круга 6000 об/мин;
- скорость 30 км/ч при частоте вращения шлифовального круга 7000 об/мин.

3. В процессе шлифования фиксировались показания токовой нагрузки на обмотках статора шлифовального круга.

4. После каждого прохода производилось измерение поперечного профиля рельсов с оценкой съема металла с рельса и определением среднего значения съема металла по результатам трех проходов.

5. После изменения давления воздуха в пневмосистеме прижатия шлифовального круга

к рельсу действия пп. 2–4 повторялись. В испытаниях устанавливались следующие значения давлений в пневмосистеме: 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,0; 2,5; 2,8; 3 и 3,5 атм.

Результаты и их обсуждения

Обобщенные результаты исследования режимов работы скоростного электропривода представлены в табл. 2.

На основе результатов измерений (табл. 2) установлены зависимости изменения средних значений съема металла с головки рельса от токовой нагрузки в обмотках статора скоростного электродвигателя, которые представлены на рис. 5.

Из графиков (рис. 5) видно, что наблюдается тенденция увеличения съема металла с возрастанием токовой нагрузки в обмотках электродвигателя до определенных значений, после которых значения съема металла начинают снижаться. Эта закономерность характерна для всех исследуемых режимов шлифования. Можно предположить, что такая зависимость характеризует эффективность работы абразивного инструмента с установленными режимами шлифования. Так, минимальная токовая нагрузка характеризуется незначительным усилием прижатия шлифовального круга к рельсу, что приводит к недостаточному внедрению абразивных зерен в обрабатываемую поверхность с образованием стружки минимального сечения и постепенным затуплением абразивных зерен при минимальных силах резания. При этом сил, действующих на единичное абразивное зерно, недостаточно для обновления абразивных зерен. Как следствие, происходит засаливание поверхности шлифовального круга. В этом случае наблюдается минимальный съем металла, который составляет 0,1...0,15 мм в зависимости от режимов.

Возрастающее давление на шлифовальный круг, которое характеризуется увеличением токовой нагрузки электродвигателя, приводит к уменьшению влияния эффекта засаливания шлифовального круга. Затупившиеся абразивные зерна начинают более активно обновляться на более острые, которые обеспечивают больший съем металла. На графике можно видеть, что в пиковых точках съем металла достигает значений 0,28...0,35 мм в зависимости от режимов шлифования.

Результаты исследования режимов работы скоростного электропривода
Results of a study of the operating modes of a high-speed electric drive

Давление в пневмоцилиндре (усилие прижатия), атм	Режимы шлифования					
	15 км/ч (5000 об/мин)		20 км/ч (6000 об/мин)		30 км/ч (7000 об/мин)	
	Токовая нагрузка, А	Средний съем металла, мм	Токовая нагрузка, А	Средний съем металла, мм	Токовая нагрузка, А	Средний съем металла, мм
0,5	72	0,15	78	0,11	74	0,10
0,8	86	0,21	81	0,12	82	0,11
1,0	94	0,26	91	0,21	86	0,15
1,2	102	0,33	95	0,22	96	0,21
1,5	105	0,35	101	0,30	99	0,24
1,8	115	0,20	103	0,32	104	0,17
2,0	119	0,19	110	0,20	106	0,14
2,5	123	0,19	115	0,18	110	0,12
2,8	131	0,12	125	0,14	115	0,10
3,0	140	0,10	130	0,10	125	0,05
3,5	140	0,10	140	0,05	130	0,03

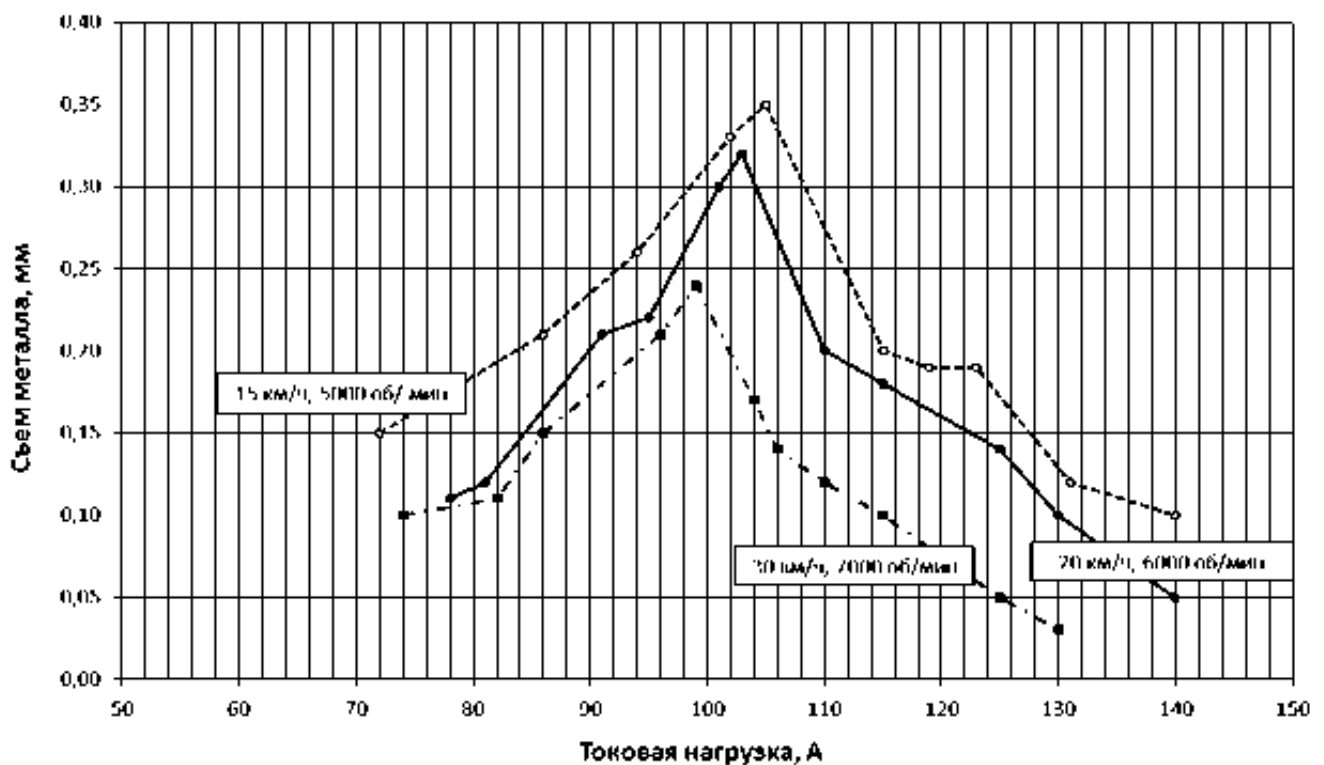


Рис. 5. Средние значения съема металла при различной токовой нагрузке на обмотках статора скоростного электродвигателя

Fig. 5. Average values of metal removal at different current loads on windings of high-speed motor stator

Еще большее увеличение нагрузки на шлифовальный круг приводит к значительному возрастанию сил резания, которые в значительной степени превосходят силы удержания абразивных зерен в связке, что вызывает выламывание абразивных зерен без снятия стружки. При этом происходит снижение съема металла вплоть до минимальных значений 0,03...0,1 мм.

Таким образом, экстремумы на представленных графиках (рис. 5) характеризуют максимальную режущую способность шлифовальных кругов, и эти значения могут быть приняты в качестве оптимальных режимов работы абразивного инструмента.

Наибольшее значение съема металла около 0,35 мм обеспечивается при скорости шлифования 15 км/ч. При увеличении скорости шлифования более 15 км/ч наблюдается снижение съема металла и уменьшение значений токовой нагрузки. Так, при 15 км/ч и 5000 об/мин максимальный съем металла достигается при токовой нагрузке 105...110 А, а при 30 км/ч и 7000 об/мин – при нагрузке 95...100 А. Это говорит о том, что каждой скорости шлифования соответствует свое необходимое значение усилия прижатия шлифовального круга к рельсу для обеспечения оптимальных сил резания.

С учетом действующего значения фазного тока для нового скоростного электропривода (100 А) были определены возможные съемы металла при различных режимах шлифования и их оптимальные значения, которые представлены в табл. 3.

Для обеспечения указанных в табл. 3 токовых нагрузок электродвигателя требуется обеспечить соответствующее давление прижатия

шлифовального круга к рельсу в зависимости от режимов шлифования. Необходимое давление прижатия круга к рельсу показано на рис. 6.

Из графиков (рис. 6) видно, что при рабочем диапазоне токовых нагрузок нового скоростного электропривода 90...100 А в зависимости от скоростей шлифования требуется обеспечение давления в пневмосистеме прижатия шлифовального круга к рельсу в пределах 0,7...1,8 атм.

Полученные значения оптимальных параметров давления прижатия шлифовального круга к рельсу и токовых нагрузок электродвигателя позволяют определить требуемые параметры и характеристики пневмопривода шлифовальной головки и электрических систем при проектировании нового рельсошлифовального поезда, которые дадут возможность реализовывать необходимые режимы шлифования с обеспечением заданного съема металла с рельса.

Выводы

По результатам проведенных испытаний режимов шлифования рельсов с применением нового скоростного электропривода шлифовального круга можно сделать следующие выводы.

1. Новый скоростной рельсошлифовальный электропривод обладает повышенными эксплуатационными характеристиками благодаря повышенной производительности и возможности регулирования скорости шлифовального круга, за счет чего обеспечивается необходимый съем металла с головки рельса при значительном повышении скорости перемещения рельсошлифовального поезда. Скоростной электропривод работоспособен и работает под нагрузками, за-

Таблица 3

Table 3

Токовые нагрузки на электродвигателе для обеспечения требуемого съема металла при различных скоростях шлифования

Current loads of electric motor to allow metal to ensure the required metal removal at different grinding speeds

Рабочая скорость шлифования, км/ч, при частоте вращения шлифовального круга	Съем металла, мм				
	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
15 (5000 об/мин)	70...75 А	80...85 А	90...95 А	95...100 А	105...110 А
20 (6000 об/мин)	80...85 А	85...90 А	95...100 А	100...105 А	–
30 (7000 об/мин)	85...90 А	90...95 А	–	–	–

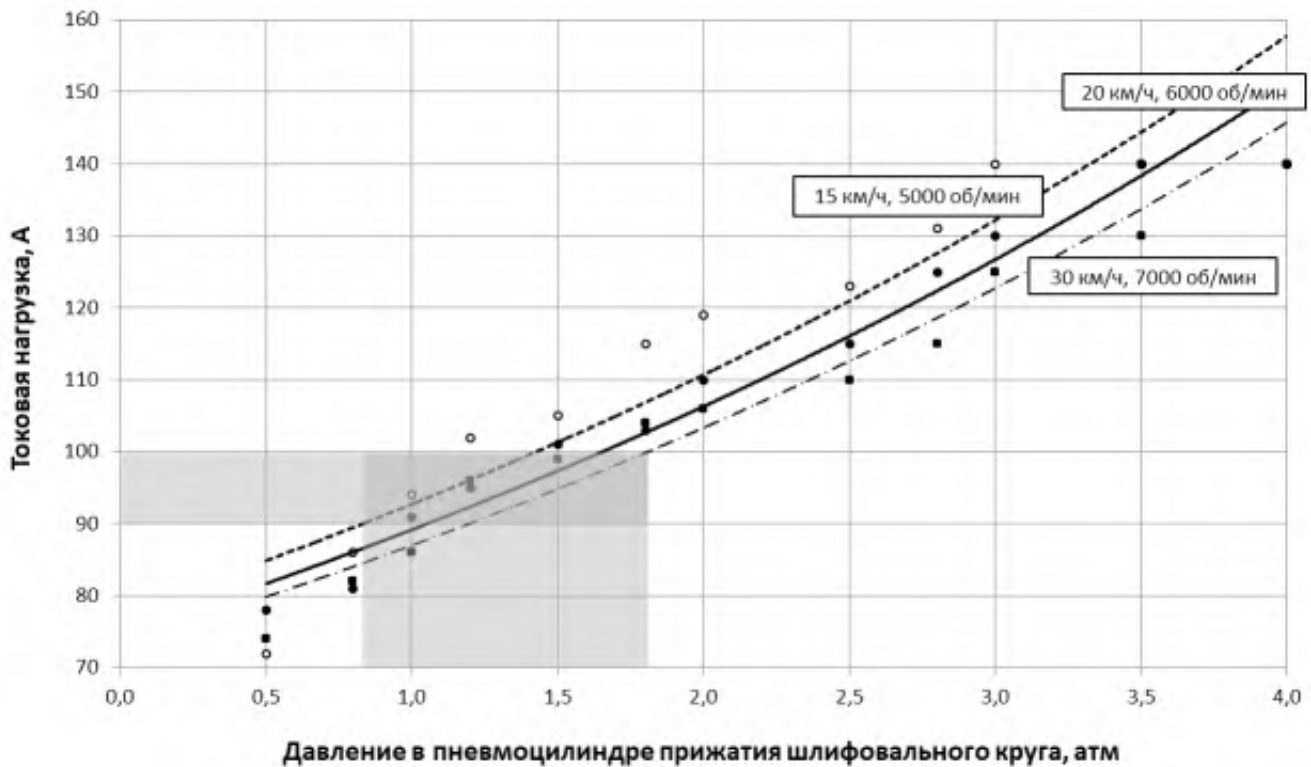


Рис. 6. Средние значения токовых нагрузок на электродвигателе при различном давлении прижатия в пневмосистеме

Fig. 6. Average values of current load of electric motor at different pressure in the pneumatic system

ложенными в техническом задании на электропривод, с требуемыми моментами и частотами вращения.

2. В скоростном электроприводе преобразователь частоты поддерживает вращение вала электродвигателя с постоянным моментом при частоте вращения 5000...7000 об/мин и скорости рельсошлифовального поезда 15...30 км/ч, обеспечивая при этом сьем металла толщиной от 0,2 до 0,3 мм при повышенных рабочих скоростях.

3. На всех режимах шлифования вал электродвигателя вращается устойчиво, равномерно, без заеданий и посторонних шумов. Электродвигатель выдерживает заданную при шлифовании радиальную нагрузку на валу (до 3 кН), распределенную по длине выходного конца вала, и осевую нагрузку на валу до 3 кН.

4. Установлены оптимальные токовые нагрузки работы скоростного электродвигателя в зависимости от скорости шлифования.

5. Установлены значения давления в пневмосистеме прижатия шлифовального круга к рельсу для обеспечения оптимальных токовых нагрузок.

6. Результаты исследований будут использованы при проектировании рельсошлифовального поезда РШП 2.0, реализующего технологию скоростного шлифования.

Список литературы

1. Funke H. Rail grinding. – Berlin: Transpress, 1986. – 153 p.
2. Fan W., Liu Y., Li J. Development status and prospect of rail grinding technology for high speed railway // Journal of Mechanical Engineering. – 2018. – Vol. 54 (22). – P. 184–193. – DOI: 10.3901/JME.2018.22.184.
3. Schoch W. Grinding of rails on high-speed railway lines: a matter of great importance // Rail Engineering International. – 2007. – Vol. 36 (1). – P. 6–8.
4. Абдурашитов А.Ю., Сухов В.В. Влияние использования рельсошлифовальных поездов на продление жизненного цикла рельса // Путь и путевое хозяйство. – 2023. – № 8. – С. 20–22.
5. Суслов А.Г., Бишутин С.Г., Захаров Л.А. Инновационные технологии рельсообработки высокоскоростных железных дорог // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2020. – № 8. – С. 11–17. – DOI: 10.30987/2223-4608-2020-8-11-17.
6. Verma S., Joseph Selvi B., Yogesh Shah V. Influence of rail grinding operations on the World's Largest

Multimodal Network // International Conference on Advances in Design, Materials, Manufacturing and Surface Engineering for Mobility. SAE Technical Paper. – SAE International, 2022. – DOI: 10.4271/2022-28-0560.

7. Investigating the effect of grinding time on high-speed grinding of rails by a passive grinding test machine / P. Liu, W. Zou, J. Peng, F. Xiao // *Micromachines*. – 2022. – Vol. 13 (12). – P. 2118. – DOI: 10.3390/mi13122118.

8. *Ильиных А.С.* Скоростное шлифование рельсов в пути // *Мир транспорта*. – 2011. – № 3. – С. 56–61.

9. *Хвостиков А.С.* Повышение эффективности скоростного шлифования рельсов в пути // *Современные наукоемкие технологии*. – 2023. – № 5. – С. 30–35.

10. *Тауберт М., Пюшель А.* Скоростное шлифование рельсов // *Железные дороги мира*. – 2010. – № 7. – С. 31–33.

11. Experimental observation of tool wear in rotary ultrasonic machining of advanced ceramics / W. Zenga, Z. Lib, Z. Peib, C. Treadwell // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2005. – Vol. 45 (12–13). – P. 1468–1473.

12. *Doman D., Warkentin A., Bauer R.* A survey of recent grinding wheel topography models // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2006. – Vol. 46. – P. 343–352. – DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2005.05.013.

13. *Островский В.И.* Теоретические основы процесса шлифования. – Л.: ЛГУ, 1981. – 143 с.

14. *Koshin A.A., Chaplygin B.A., Isakov D.V.* Adequacy of the operating conditions of abrasive grains // *Russian Engineering Research*. – 2011. – Vol. 31 (12). – P. 1221–1226.

15. Экспериментальные исследования режимов скоростного шлифования рельсов / А.С. Ильиных, А.С. Пикалов, В.К. Милорадович, М.С. Галай // *Обработка металлов (технология, оборудование,*

инструменты). – 2023. – Т. 25, № 3. – С. 19–35. – DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.3-19-35.

16. Повышение производительности рельсошлифовальных поездов методом скоростного шлифования / А.С. Ильиных, А.С. Пикалов, М.С. Галай, В.К. Милорадович // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. – 2022. – № 4 (216). – С. 46–56. – DOI: 10.17213/15603644202244656.

17. Особенности формирования технологического процесса плоского шлифования торцом круга при упругой подвеске шлифовальной головки / А.С. Ильиных, В.А. Аксенов, М.С. Галай, А.В. Матафонов // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение*. – 2016. – Т. 18, № 4. – С. 34–47. – DOI: 10.15593/2224-9877/2016.4.03.

18. A laboratory demonstration of rail grinding and analysis of running roughness and wear / M. Mesaritis, M. Shamsa, P. Cuervo, J. Santa, A. Toro, M. Marshall, R. Lewis // *Wear*. – 2020. – Vol. 456–457. – DOI: 10.1016/j.wear.2020.203379.

19. *Satoh Y., Iwafuchi K.* Effect of rail grinding on rolling contact fatigue in railway rail used in conventional line in Japan // *Wear*. – 2008. – Vol. 265 (9–10). – P. 1342–1348. – DOI: 10.1016/j.wear.2008.02.036.

20. Modelling and simulation of the grinding force in rail grinding that considers the swing angle of the grinding stone / K. Zhou, H. Ding, S. Zhang, J. Guo, Q. Liu, W. Wang // *Tribology International*. – 2019. – Vol. 137. – P. 274–288. – DOI: 10.1016/j.triboint.2019.05.012.

21. *Ильиных А.С., Милорадович В.К., Галай М.С.* Исследование влияния компонентов абразивного инструмента на его эксплуатационные свойства при скоростном шлифовании рельсов // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. – 2023. – № 3. – С. 28–37. – DOI: 10.17213/1560-3644-2023-3-28-37.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2024 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Experimental studies of rail grinding modes using a new high-speed electric drive

Andrey Ilinykh^{1, a, *}, Aleksandr Pikalov^{2, b}, Vladimir Miloradovich^{2, c}, Marina Galay^{1, d}

¹ Siberian Transport University, 191 Dusy Kovalchuk st., Novosibirsk, 630049, Russian Federation

² Moscow Center for Infrastructure Technologies JSC “STM”, 4B Podkopaevsky pereulok, 109028, Russian Federation

^a <https://orcid.org/0000-0002-4234-6216>, asi@stu.ru; ^b <https://orcid.org/0000-0002-9584-9896>, pikalov.2023@internet.ru;

^c <https://orcid.org/0000-0002-8258-5801>, vmiloradovich@internet.ru; ^d <https://orcid.org/0000-0002-7897-1750>, galayms@mail.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 03 June 2024

Revised: 17 June 2024

Accepted: 22 June 2024

Available online: 15 September 2024

Keywords:

Rail grinding

High-speed electric drive

Grinding modes

Railway track

Funding

The research was carried out with the financial support of subsidies from the Federal Budget for the development of cooperation between Russian educational institutions of higher education, state scientific institutions and organizations of the real sector of the economy in order to implement complex projects to create high-tech industries. The financial support is stipulated by the Decree of the Government of the Russian Federation of April 9, 2010 No. 218 on the topic “High-performance technology for high-speed rail grinding and equipment for its implementation based on intelligent digital modules”, agreement No. 075-11-2022-014 of April 08, 2022.

ABSTRACT

Introduction. The operation of rail grinding is used in railway transport as a preventive measure for the formation and development of defects of contact and fatigue origin, wave wear and deformation of transverse profile rails. Currently, JSC Kaluga Plant “Remputmash”, together with Siberian State University, is developing a new high-capacity rail train named *PHSP 2.0*. *PHSP 2.0* is 3.5 times more productive than existing analogues. *PHSP 2.0* technology is based on high-speed rail grinding, which requires cutting speed up to 100 m/s. The rotation of grinding wheel is controlled by an electric motor. Today there is no industrial electric drive capable of implementing the required characteristics (7,000 rpm, 45 kW, 60 H·m). **The aim of this work is** to study the modes of rail grinding using a new high-speed electric grinding wheel containing a synchronous electric motor with permanent magnets and frequency converter, which feeds motor with an *AC* voltage with an increased frequency and provides control of the grinding wheel rotation speed. **Research methods.** In order to obtain results of operation of the new electric drive in conditions as close as possible to real-world operating modes and the possibility of implementing high-speed grinding technology, research tests were carried out on a specially designed rail-welding machine. The measurement of grinding wheel speed was carried out by the laser tachometer “Megeon 18005”; the assessment of metal removal after mechanical processing was carried out by the profiler rail *PR-03*; the pressure in pneumatic system was measured with pressure transducers of measuring units *VDH 100I-DY1,6-111-0.5*. **Results and discussion.** According to research results, new high-speed electric drive was found to have increased performance due to increased performance and ability to adjust speed of grinding wheel, thus providing the necessary removal of rail head metal with a significant increase in the speed of rail train movement.

For citation: Ilinykh A.S., Pikalov A.S., Miloradovich V.K., Galay M.S. Experimental studies of rail grinding modes using a new high-speed electric drive. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2024, vol. 26, no. 3, pp. 66–78. DOI: 10.17212/1994-6309-2024-26.3-66-78. (In Russian).

* Corresponding author

Ilinykh Andrey S, D.Sc. (Engineering), Professor
Siberian Transport University,
191 Dusy Kovalchuk st.,
630049, Novosibirsk, Russian Federation
Tel.: +7 383 328-03-92, e-mail: asi@stu.ru

References

1. Funke H. *Rail grinding*. Berlin, Transpress, 1986. 153 p.
2. Fan W., Liu Y., Li J. Development status and prospect of rail grinding technology for high speed railway. *Journal of Mechanical Engineering*, 2018, vol. 54 (22), pp. 184–193. DOI: 10.3901/JME.2018.22.184.
3. Schoch W. Grinding of rails on high-speed railway lines: a matter of great importance. *Rail Engineering International*, 2007, vol. 36 (1), pp. 6–8.
4. Abdurashitov A.Yu., Sukhov V.V. Vliyanie ispol'zovaniya rel'soshlifoval'nykh poezdov na prodlenie zhiznennogo tsikla rel'sa [The impact of the use of rail-grinding trains on the prolongation of the rail life cycle]. *Put' i putevoe khozyaistvo = Railway Track and Facilities*, 2023, no. 8, pp. 20–22.
5. Suslov A.G., Bishutin S.G., Zakharov L.A. Innovatsionnye tekhnologii rel'soobrabotki vysokoskorostnykh zheleznykh dorog [Innovation technologies of rail working for high-speed railways]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii = Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*, 2020, no. 8, pp. 11–17. DOI: 10.30987/2223-4608-2020-8-11-17.
6. Verma S., Joseph Selvi B., Yogesh Shah V. Influence of rail grinding operations on the World's Largest Multimodal Network. *International Conference on Advances in Design, Materials, Manufacturing and Surface Engineering for Mobility. SAE Technical Paper*. SAE International, 2022. DOI: 10.4271/2022-28-0560.
7. Liu P., Zou W., Peng J., Xiao F. Investigating the effect of grinding time on high-speed grinding of rails by a passive grinding test machine. *Micromachines*, 2022, vol. 1, p. 2118. DOI: 10.3390/mi13122118.
8. Ilyinykh A.S. Skorostnoe shlifovanie rel'sov v puti [Speed rail grinding]. *Mir transporta = World of Transport and Transportation*, 2011, no. 3, pp. 56–61.
9. Khvostikov A.S. Povyshenie effektivnosti skorostnogo shlifovaniya rel'sov v puti [Improving the efficiency of high-speed grinding of rails in transit]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii = Modern High Technologies*, 2023, no. 5, pp. 30–35.
10. Taubert M., Pyushel' A. Skorostnoe shlifovanie rel'sov [High-speed grinding of rails]. *Zheleznye dorogi mira*, 2010, no. 7, pp. 31–33. (In Russian).
11. Zenga W., Lib Z., Peib Z., Treadwell C. Experimental observation of tool wear in rotary ultrasonic machining of advanced ceramics. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2005, vol. 45 (12–13), pp. 1468–1473.
12. Doman D., Warkentin A., Bauer R. A survey of recent grinding wheel topography models. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2006, vol. 46, pp. 343–352. DOI: 10.1016/j.ijmactools.2005.05.013.
13. Ostrovskii V.I. *Teoreticheskie osnovy protsessa shlifovaniya* [Theoretical basis of the grinding process]. Leningrad, LGU Publ., 1981. 143 p.
14. Koshin A.A., Chaplygin B.A., Isakov D.V. Adequacy of the operating conditions of abrasive grains. *Russian Engineering Research*, 2011, vol. 31 (12), pp. 1221–1226.
15. Ilinykh A.S., Pikalov A.S., Miloradovich V.K., Galay M.S. Experimental studies of high-speed grinding rails modes. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2023, vol. 25, no. 3, pp. 19–35. DOI: 10.17212/1994-6309-2023-25.3-19-35. (In Russian).
16. Ilinykh A.S., Pikalov A.S., Galay M.S., Miloradovich V.K. Povyshenie proizvoditel'nosti rel'soshlifoval'nykh poezdov metodom skorostnogo shlifovaniya [Increasing the performance of rail grinding trains by the method of speed grinding]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki = University News. North-Caucasian Region. Technical Sciences Series*, 2022, no. 4 (216), pp. 46–56. DOI: 10.17213/15603644202244656.
17. Aksenov V.A., Ilinykh A.S., Galay M.S., Matafonov A.V. Osobennosti formirovaniya tekhnologicheskogo protsessa ploskogo shlifovaniya tortsom kruga pri uprugoi podveske shlifoval'noi golovki [Features of formation of the fl at grinding technological process by an end face of a circle with an elastic suspension grinding head]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie = Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science*, 2016, vol. 18, no. 4, pp. 34–47. DOI: 10.15593/2224-9877/2016.4.03.
18. Mesaritis M., Shamsa M., Cuervo P., Santa J., Toro A., Marshall M., Lewis R. A laboratory demonstration of rail grinding and analysis of running roughness and wear. *Wear*, 2020, vol. 456–457. DOI: 10.1016/j.wear.2020.203379.
19. Satoh Y., Iwafuchi K. Effect of rail grinding on rolling contact fatigue in railway rail used in conventional line in Japan. *Wear*, 2008, vol. 265 (9–10), pp. 1342–1348. DOI: 10.1016/j.wear.2008.02.036.

20. Zhou K., Ding H., Zhang S., Guo J., Liu Q., Wang W. Modelling and simulation of the grinding force in rail grinding that considers the swing angle of the grinding stone. *Tribology International*, 2019, vol. 137, pp. 274–288. DOI: 10.1016/j.triboint.2019.05.012.

21. Ilinykh A.S., Miloradovich V.K., Galay M.S. Issledovanie vliyaniya komponentov abrazivnogo instrumenta na ego ekspluatatsionnye svoystva pri skorostnom shlifovanii rel'sov [Study of influence of abrasive tool components on operational properties for high-speed rail grinding]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki = Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences*, 2023, no. 3, pp. 28-37. DOI: 10.17213/1560-3644-2023-3-28-37.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2024 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).