

Имплантация деталей дифференциала материалами на основе карбида вольфрама

А.О. Горленко¹, Е.В. Агеева^{2✉}, Н.В. Табольская², И.Р. Гладских²,
В.В. Мищенко²

¹ Брянский государственный технический университет
бул. 50 лет Октября, д. 7, г. Брянск 241035, Российская Федерация

² Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Резюме

Целью настоящей работы являлось решение проблемы повышения износостойкости деталей дифференциала трансмиссии автомобиля путем их имплантации с последующей обработкой поверхностно-пластической деформацией.

Методы. Для достижения поставленной в работе цели использовались следующие методы обработки исследуемых деталей: исправление геометрии шипа крестовины, бывшей в эксплуатации, путем точения на токарно-винторезном станке; нанесение графитово-вольфрамовой обмазки на подготовленные к имплантации поверхности и ее сушка; непосредственно имплантование на специально разработанной для этого процесса установке; упрочнение имплантированной поверхности путем обкатки двухроликовой головкой; чистовое шлифование упрочненной поверхности шипа крестовины; исследование износостойкости упрочненных поверхностей по стандартной методике; оценка ресурса восстановленных и упрочненных деталей.

Результаты. На основании проведенных исследований, направленных на повышение износостойкости деталей дифференциала трансмиссии автомобиля, установлено, что свойства восстановленных и упрочненных поверхностей крестовины дифференциала зависят от состава и структуры сформированного поверхностного слоя путем имплантации вольфрамсодержащих материалов и последующей обкатки двухроликовой головкой. В частности, установлено, что износостойкость рабочих поверхностей деталей, восстановленных и упрочненных по новой комбинированной технологии, увеличивается в 2,07 раза по сравнению с новыми при сопоставимом увеличении ресурса.

Заключение. Поставленная цель достигнута, а именно решена проблема повышения износостойкости деталей дифференциала трансмиссии автомобиля путем их имплантации с последующей обработкой поверхностно-пластической деформацией. Полученные в данной работе результаты работы могут найти практическое применение при организации ресурсосберегающих и имортозамещающих технологий, которые, в свою очередь, будут способствовать созданию высокотехнологичных производств.

Ключевые слова: детали дифференциала; износ; комбинированная обработка; карбид вольфрама; имплантация.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Имплантация деталей дифференциала материалами на основе карбида вольфрама / А.О. Горленко, Е.В. Агеева, Н.В. Табольская, И.Р. Гладских, В.В. Мищенко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2025. Т. 15, № 4. С. 8–20. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-4-8-20>.

Поступила в редакцию 10.11.2025

Подписана в печать 02.12.2025

Опубликована 25.12.2025

Implantation of differential parts with tungsten Carbide-based materials

**Alexander O. Gorlenko¹, Ekaterina V. Ageeva²✉, Natalia V. Tabolskaya²,
Ivan R. Gladskikh², Vitaly V. Mishchenko²**

¹ Bryansk State Technical University
50 let Oktyabrya Blvd. 7, Bryansk 241035, Russian Federation

¹ Southwest State University
50 let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Abstract

The purpose of this work was to solve the problem of increasing the wear resistance of car transmission differential parts by implanting them with subsequent treatment by surface plastic deformation.

Methods. To achieve the goal set in the work, the following methods of processing the studied parts were used: correcting the geometry of the spike of a crosspiece that was in use by turning on a rotary-screw machine; applying graphite-tungsten coating to surfaces prepared for implantation and drying it; directly implanting on an installation specially designed for this process; hardening the implanted surface by running in with a two-roller head; fine grinding of the hardened surface of the crosspiece spike; investigation of the wear resistance of hardened surfaces according to the standard methodology; evaluation of the resource of restored and hardened parts.

Results. Based on the conducted studies aimed at increasing the wear resistance of the differential transmission parts of the car, it was found that the properties of the restored and hardened surfaces of the differential crosspiece depend on the composition and structure of the formed surface layer by implanting tungsten-containing materials and subsequent running-in with a two-roller head. In particular, it was found that the wear resistance of the working surfaces of parts repaired and hardened using the new combined technology increases by 2.07 times compared with the new ones with a comparable increase in service life.

Conclusion. Thus, the goal has been achieved, namely, the problem of increasing the wear resistance of the differential transmission parts of the car by implanting them with subsequent treatment by surface plastic deformation has been solved. The results obtained in this work can find practical application in the organization of resource-saving and import-substituting technologies, which in turn will contribute to the creation of high-tech industries.

Keywords: differential parts; wear; combined machining; tungsten carbide; implantation.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Gorlenko A.O., Ageeva E.V., Tabolskaya N.V., Gladskikh I.R., Mishchenko V.V. Implantation of differential parts with tungsten Carbide-based materials. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies.* 2025;15(4):8-20. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2025-15-4-8-20>.

Received 10.11.2025

Accepted 02.12.2025

Published 25.12.2025

Введение

В контексте современного машиностроения [1] исследования, направленные на повышение износостойкости [2] пары трения «сателлит – ось сателлита» дифференциала, безусловно, остаются крайне актуальными. Ключевым аспектом в этом направлении является выбор рациональных технологических методов обработки, ориентированных на достижение максимальной износостойкости поверхностей трения [3] деталей дифференциала. Рациональный подбор способов обработки [4] позволяет не только продлить срок службы узлов, но и обеспечить надежную и эффективную работу механизма в условиях интенсивных эксплуатационных нагрузок [5].

Особенно перспективной техникой в данном случае представляется упрочняющая обработка [6]. Этот метод позволяет осуществлять целенаправленное воздействие на поверхность трения, что способствует минимизации износа контактирующих деталей. Одним из наиболее эффективных подходов является создание многослойных модифицированных поверхностных слоев, которые обладают высокими физико-механическими свойствами [7].

Выбор конкретного метода упрочняющей обработки зависит от характеристик материала, условий эксплуатации и специфических требований к компонентам дифференциала [8]. Комплексный подход, включающий анализ условий ра-

боты, подбор оптимальных технологических параметров и контроль качества обработанных поверхностей, является залогом успешного повышения износостойкости и долговечности узлов [9].

Таким образом, дальнейшие исследования в области технологического обеспечения износостойкости пары трения «сателлит – ось сателлита» дифференциала, с акцентом на упрочняющие методы обработки и создание многослойных модифицированных поверхностей [10], имеют значительный потенциал для улучшения эксплуатационных характеристик деталей дифференциала и обеспечения их надежной работы в течение длительного времени [11].

Материалы и методы

Одной из важнейших деталей автомобиля, выполняющей сразу несколько весомых функций, является, конечно же, дифференциал, основная задача которого – передача, изменение и распределение крутящего момента между колёсами или мостами, что способствует их вращению с разной угловой скоростью, а это, как известно, чрезвычайно важно при поворотах или движении по неровной поверхности [12].

В зависимости от вида зубчатой передачи различают несколько типов дифференциалов (рис. 1), причем каждый из них обладает определенным рядом достоинств.



Рис. 1. Типы дифференциалов

Fig. 1. Types of differentials

Состояние дифференциала, как и других агрегатов трансмиссии, должно регулярно оцениваться в рамках технической диагностики автомобиля [13], поскольку исправность этого узла напрямую влияет на реализуемую тягу, динамическую устойчивость и управляемость машины [14], особенно в условиях переменного сцепления и различных режимов движения. При нарушении работоспособности механизма возникает значительная разница угловых скоростей колес. В этом случае сателлиты начинают интенсивно вращаться на своих осях, что увеличивает нагрузку на контактирующие поверхности. Чем выше частота вращения сателлитов, тем быстрее разрушается масляная пленка между элементами пары трения. В результате масло перегревается и частично испаряется, ухудшая условия смазывания, что приводит к переходу от гидродинамического трения к граничному и полусухому. Такие режимы вызывают появление задиров и схватываний на поверхности осей и отверстий сателлитов. Дальнейшая эксплуатация повреждённого узла только увеличивает число дефектов и может привести к заклиниванию сателлитов и разрушению деталей [15].

При перегрузках дифференциал фактически выходит за рамки нормального режима работы. Интенсивное вращение сателлитов наблюдается в моменты, когда полуосевые шестерни имеют различную угловую скорость, например при прохождении поворотов. Рост скоростей приводит к увеличению контактных давлений и последующему нарушению смазывания пары «сателлит – ось». В нормальных

условиях смазка подается за счёт разбрызгивания масла внутри картера, однако при длительных перегрузках образующаяся масляная пленка теряет устойчивость. Это вызывает образование зон микро- и макросхватывания (рис. 2), которые продолжают развиваться даже после восстановления равенства скоростей колес. На последующих этапах эксплуатации дефекты способны привести к внезапному клинию сателлита и разрушению оси или корпуса дифференциала. Таким образом, даже кратковременная пробуксовка может иметь отсроченные последствия, проявляющиеся уже при последующей штатной работе механизма, что подтверждает межмолекулярную природу адгезионного прихвата.

Дополнительной проблемой является рост зазора в сопряжении пары «сателлит – ось», возникающий при значительном износе этих элементов. Это приводит к смещению пятна контакта между зубьями сателлитов и полуосевыми шестернями (рис. 3). При отклонении геометрии контакта нагрузка перераспределяется неравномерно, появляются пластические деформации зубьев, а в дальнейшем возможны их разрушения и выход дифференциала из строя.

Следует учитывать, что разрушения мостов и дифференциалов могут быть вызваны не только естественным износом, но и нарушением эксплуатации, в частности неправильным использованием систем блокировки межколесных и межосевых дифференциалов в движении (рис. 4).



Рис. 2. Износ оси сателлитов переднего моста специального колесного шасси вследствие нарушения скоростей движения

Fig. 2. Wear of the axis of the satellites of the front axle of a special wheeled chassis due to speed violations



Рис. 3. Смещение пятна контакта в зацеплении шестерни и пластическая деформация зубьев шестерни полуоси

Fig. 3. Displacement of the contact spot in the gear engagement and plastic deformation of the teeth of the half-axle gear



Рис. 4. Разрушение корпуса редуктора переднего моста вследствие включения блокировки межколесного дифференциала во время движения

Fig. 4. The destruction of the gearbox housing of the front axle, as a result of the activation of the locking of the inter-wheel differential during movement

Экспериментальная часть исследования включала испытания как модельных образцов, так и реальной пары трения «сателлит – ось» дифференциала переднего моста специального колесного шасси типа «Тягач». Износстойкость оценивалась с применением АСНИ – автоматизированной системы, созданной на базе серийной машины трения МИ-1М, оснащённой нагружающим устройством собственной разработки. При проведении работы были использованы современные методы определения физико-механических характеристик поверхности слоя, анализа структуры и химического состава материалов, а также параметры, описывающие интенсивность изнашивания.

Модификация поверхностных слоев деталей, упрочнённых карбидами вольфрама методом имплантации и композиционного насыщения (технология ИКЭМО), осуществлялась на специализированной установке. Для анализа процессов трения и изнашивания был применён подход, учитывающий влияние шероховатости и свойств поверхностного слоя на параметры контактного взаимодействия.

Расчёты сводились к определению критического сближения поверхностей, при котором фактическая площадь контакта способна выдержать приложенную нагрузку. Сопоставление расчетных данных с экспериментальными показало корректность выбранной модели и её применимость для оценки поведения цилиндрических пар трения при различных режимах нагружения.

В реализации технологии ИКЭМО ключевую роль играет специализированный источник питания с фазоимпульсным регулированием, позволяющий вести электромеханическую обработку на переменном токе промышленной частоты. Конструктивно он представляет собой комплексный прибор, включающий силовой трансформатор, тиристорный узел коммутации и программируемый микропроцессорный модуль управления, обеспечивающий точное согласование параметров обработки с режимами работы металлообрабатывающего оборудования.

Процесс комбинированной электромеханической обработки включает в себя 5 этапов:

1 этап. Механическая обработка детали на металлообрабатывающем станке (чистовое точение)



2 этап. Нанесение обмазки, состоящей из частиц карбида вольфрама и консистентного графитного смазочного материала



3 этап. Проведение технологического процесса имплантации высокотвердых дисперсных частиц карбида вольфрама, предусматривающего установку в резцедержатель металлообрабатывающего станка инструментальной оснастки для имплантации, состоящей из двухроликовой головки с роликами, изготовленными из стали 95Х18; настройки скорости и подачи инструмента; давления в зоне контакта ролика-электрода с деталью; мощности установки для ЭМО и силы тока



4 этап. Проведение технологического процесса электромеханического упрочнения, предусматривающего установку в резцедержатель металлообрабатывающего станка инструментальной оснастки для упрочнения, состоящей из двухроликовой головки с роликами, изготовленными из псевдосплава карбида вольфрама с медью; настройки скорости и подачи инструмента; давления в зоне контакта ролика-электрода с деталью; мощности установки для ЭМО и силы тока, подача охлаждающей жидкости в зону контакта



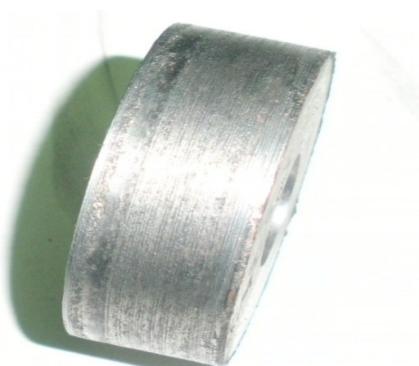
5 этап. Проведение процесса чистового шлифования, предусматривающего установку в резцедержатель металлообрабатывающего станка оснастки для чистового шлифования и настройки технологического процесса шлифования

Весь технологический процесс выполняется в рамках одной операции с деталью, что существенно уменьшает влияние технологической цепочки СПИЗ (станок – приспособление – инструмент – за-

готовка) и обеспечивает более стабильные характеристики качества готовой поверхности. Внешний вид обработанных образцов и схема ЭМО представлены на рисунке 5.



а



б

Рис. 5. Установка для ИКЭМО: а – процесс электромеханического упрочнения; б – образец после обработки

Fig. 5. Installation for IKEMO: a – electromechanical hardening process; б – sample after processing

На итоговые свойства упрочнённых поверхностей главным образом влияет способ распределения и морфология карбидной дисперсной фазы. Композиционный эффект упрочнения связан с перераспределением элементов, возникающим при распаде пересыщенных твёрдых растворов, формирующихся в результате высокоскоростных термических циклов. При электромеханической обработке скорости нагрева и охлаждения оказываются сопоставимы с режимами высокоскоростной закалки, что приводит к существенному измельчению аустенитного зерна и образованию мелкокристаллических структур с повышенными физико-механическими характеристиками.

Сравнительные испытания, выполненные нормализованным методом, позволили оценить износстойкость модифицированной стали 45 в сопоставлении с современными покрытиями, требующими сложных технологических операций и использования дефицитных материалов. Выбор стали 45 обусловлен её технологичностью и экономической оправданностью: применение дорогих легированных сталей для изготовления детали целиком нецелесообразно, тогда как модификация поверхности слоя позволяет существенно улучшить её эксплуатационные характеристики при минимальных затратах.

В рамках первого этапа комбинированного воздействия осуществляется внедрение частиц карбида вольфрама из графитовой обмазки. Поверхность детали последовательно обкатывается роликом из стали 95Х18, под действием нагрузки и локальной пластической деформации частицы упрочнителя перемещаются в зону контакта и включаются в формируемый поверхностный слой.

На втором этапе применяется ролик из псевдосплава карбида вольфрама с медью. Такая конструкция позволяет одно-

временно реализовать высокие механические давления и импульсные тепловые воздействия. В момент прохождения электрического импульса происходит локальная аустенизация поверхностного слоя стали, одновременно углерод, содержащийся в графитовой обмазке, дифундирует в поверхностную зону. В результате содержание углерода в аустените увеличивается, а карбиды вольфрама частично растворяются до предела насыщения твёрдого раствора вольфрамом. Это обеспечивает формирование высокостойких структур, существенно повышающих эксплуатационную стойкость детали.

Результаты и их обсуждение

Для достижения поставленной в работе цели решался ряд взаимосвязанных задач, а именно: исправление геометрии шипа крестовины бывшей в эксплуатации путем точения на токарно-винторезном станке; нанесение графитовольфрамовой обмазки на подготовленные к импланттированию поверхности и ее сушка; непосредственно импланттирование на специально разработанной для этого процесса установке; упрочнение имплантированной поверхности путем обкатки двухроликовой головкой; чистовое шлифование упрочненной поверхности шипа крестовины; исследование износстойкости упрочненных поверхностей по стандартной методике; оценка ресурса восстановленных и упрочненных деталей.

На рисунке 6 представлена микроструктура поверхностного слоя, упрочненного карбидом вольфрама.

Из рисунка 6 видно, что упрочненный поверхностный слой имеет ярко выраженную трехслойную микроструктуру:

– слой 1, представляющий собой вкрапления частиц карбида вольфрама *WC* в стальную основу: толщина порядка 250 мкм, микротвердость порядка 800 HV;

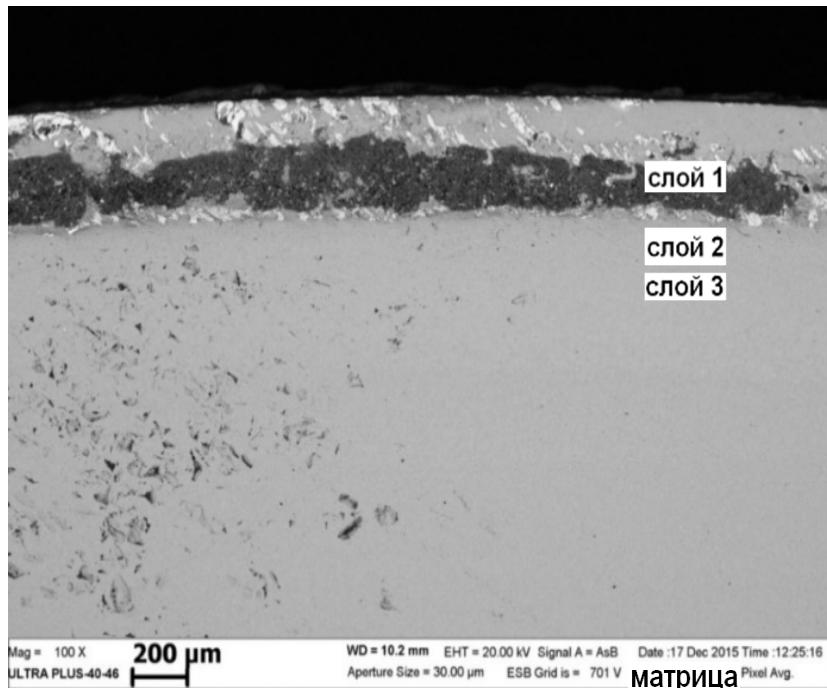


Рис. 6. Микроструктура модифицированного и упрочненного слоя

Fig. 6. Microstructure of the modified and reinforced layer

– слой 2 (рис. 7), представляющий собой слабонасыщенный вольфрамом феррит, по границам зерен которого выделяется сетка карбida вольфрама: толщина порядка 200 мкм, микротвердость порядка 600 HV;

– слой 3 насыщен частицами карбida вольфрама: толщина порядка 40 мкм, микротвердость порядка 500 HV;

– матрица из стали 45, микротвердость 220 HV.

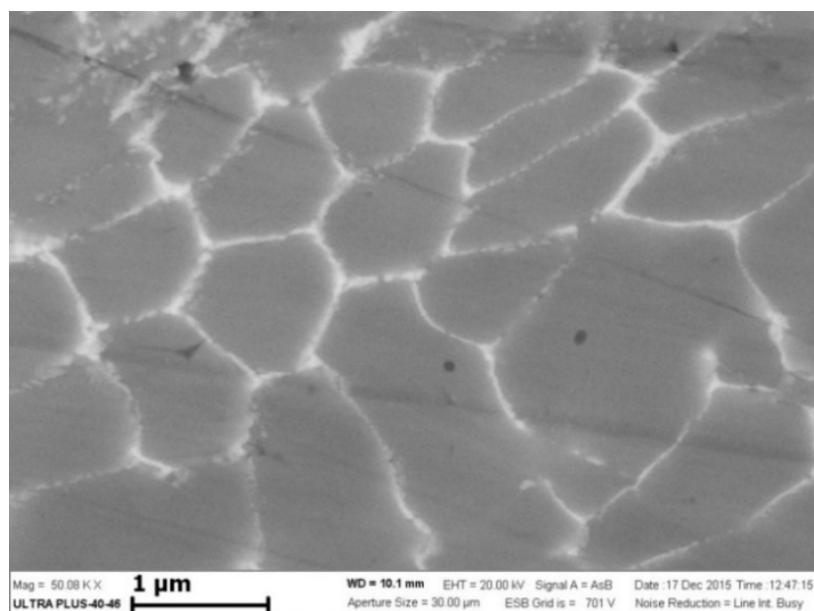


Рис. 7. Микроструктура покрытия в слое 2

Fig. 7. Microstructure of the coating in layer 2

Экспериментально установлено, что применение комбинированной обработки восстановления и упрочнения изношенных деталей целесообразно для цилиндрических поверхностей трения диаметром 20...200 мм, изготовленных из средне- и

высокоуглеродистых сталей, в том числе легированных и инструментальных.

Результаты исследований были применены к паре трения «сателлит – ось сателлита» дифференциала переднего моста специального колесного шасси грузового автомобиля (рис. 8).



Рис. 8. Детали восстановленного и упрочненного дифференциала: а – в сборе; б – оси сателлитов

Fig. 8. Details of the restored and reinforced differential: a – assembled; б – satellite axles

Сравнительные испытания износостойкости пары трения «сателлит – ось сателлита» (заводская технология и комбинированная) проводились на стенде для испытаний переднего моста, созданном на АО «Брянский автомобильный завод». По результатам испытаний, интенсивность изнашивания пары трения «сателлит – ось сателлита» по заводской технологии составила $J_{h1} = 8,46 \cdot 10^{-10}$, а изготовленной с применением технологии ИКЭМО – $J_{h2} = 4,08 \cdot 10^{-10}$.

На основании проведенных исследований, направленных на повышение износостойкости деталей дифференциала трансмиссии автомобиля, установлено, что свойства восстановленных и упрочненных поверхностей крестовины дифференциала зависят от состава и структуры сформированного поверхностного слоя путем имплантации вольфрамсодержащих материалов и последующей об-

катки двухроликовой головкой. В частности установлено, что износостойкость рабочих поверхностей деталей, восстановленных и упрочненных по новой комбинированной технологии, увеличивается в 2,07 раза по сравнению с новыми при сопоставимом увеличении ресурса.

Заключение

Поставленная цель достигнута, а именно решена проблема повышения износостойкости деталей дифференциала трансмиссии автомобиля путем их имплантации с последующей обработкой поверхности-пластической деформацией. Полученные в данной работе результаты работы могут найти практическое применение при организации ресурсосберегающих и импортозамещающих технологий, которые, в свою очередь, будут способствовать созданию высокотехнологичных производств.

Список литературы

1. Современные тенденции развития машиностроения / М.В. Александров, Ю.М. Зубарев, А.В. Вебер, Н.Н. Солнцев // Судостроение. 2025. № 4(881). С. 3-9. EDN IZXHCX.
2. Горленко А.О., Шевцов М.Ю., Болдырев Д.А. Повышение износостойкости поверхностей трения углеродистых и легированных сталей имплантированием наноразмерных частиц // Сталь. 2022. № 3. С. 28-33. EDN AIQQPQ.
3. Оценка влияния жидкого смазочного композиционного материала с наночастицами геомодификатора на трение в подшипниковом узле / А.Д. Бреки, О.В. Толочко, Н.Е. Стариakov, Д.А. Провоторов, Н.Н. Сергеев, Е.В. Агеев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2015. № 3(16). С. 17-23. EDN UZCDRR.
4. Получение износостойких порошков из отходов твердых сплавов / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 12. С. 39-44. EDN NBXQRT.
5. Быстрорежущая сталь, диспергированная в керосине / Е.В. Агеева, Е.В. Агеев, Е.А. Воробьев, М.А. Зубарев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. № 5(56). С. 21-25. EDN TCUFQH.
6. Агеева Е.В., Агеев Е.В. Повышение качества ремонта и восстановления деталей современных транспортных систем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. № 3. С. 503-509. EDN PVJTYV.
7. Влияние технологии получения электродного материала из отходов быстрорежущей стали на износостойкость электроискровых покрытий / Е.В. Агеева, Е.В. Агеев, В.Ю. Карпенко, А.Ю. Алтухов // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2015. № 1(43). С. 36-41. EDN TIJQXT.
8. Триботехнические характеристики композиционных покрытий с матрицей из полигетиороарилена ПМ-ДАДФЭ и наполнителями из наночастиц дихалькогенидов вольфрама при трении скольжения в среде жидкого смазочного материала / А.Д. Бреки, А.Л. Диденко, В.В. Кудрявцев, Е.С. Васильева, О.В. Толочко, А.Г. Колмаков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 3(66). С. 17-28. EDN WXFUOF.
9. Триботехнические свойства пластичных смазочных композиционных материалов с наполнителями из дисперсных частиц меди и цинка / В.В. Медведева, А.Д. Бреки, Н.А. Крылов, С.Е. Александров, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариakov // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 2(65). С. 109-119. EDN WWRKFD.
10. Исследование противоизносных свойств пластичного смазочного композиционного материала, содержащего дисперсные частицы слоистого модификатора трения / В.В. Медведева, А.Д. Бреки, Н.А. Крылов, М.А. Скотников, Ю.А. Фадин, С.Е. Александров // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 1(64). С. 75-82. EDN VXDVQZ.
11. Агеев Е.В., Грашков С.А. Практикум по технологии ремонта машин. Курск: Университетская книга, 2019. 147 с. EDN ZJMANV.
12. Агеев Е.В., Севостьянов А.Л., Родионов Ю.В. Проблемы и перспективы развития технической эксплуатации автомобилей. Пенза: Пенз. гос. ун-т архитектуры и строительства, 2014. 200 с. EDN VTGFUD.
13. Агеев Е.В., Кудрявцев А.Л., Севостьянов А.Л. Алгоритм диагностирования цилиндропоршневой группы с применением технического эндоскопа // Мир транспорта и технологических машин. 2012. № 1(36). С. 116-122. EDN PUNLJB.
14. Агеев Е.В., Кудрявцев А.Л., Севостьянов А.Л. Повышение качества диагностики двигателей автомобилей // Мир транспорта и технологических машин. 2011. № 3(34). С. 24-27. EDN NKYRAJ.
15. Электроконтактная приварка. Теория и практика / Р.А. Латыпов, В.В. Булычев, П.И. Бурак, Е.В. Агеев. Курск: Университетская книга, 2016. 371 с. EDN WGAMTF.

16. Агеева Е.В., Зубарев М.В. Установка для получения порошковых материалов, пригодных для технологических процессов восстановления и упрочнения деталей // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 129. С. 169-173. EDN ZTMFCB.

References

1. Alexandrov M.V., Zubarev Yu.M., Weber A.V., Solntsev N.N. Modern trends in the development of mechanical engineering. *Sudostroenie = Shipbuilding*. 2025;(4):3-9. (In Russ.) EDN IZXHCX.
2. Gorlenko A.O., Shevtsov M.Y., Boldyrev D.A. Increasing the wear resistance of friction surfaces of carbon and alloy steels by implanting nanoscale particles. *Stal' = Steel*. 2022;(3):28-33. (In Russ.) EDN AIQQPQ.
3. Breki A.D., Tolochko O.V., Starikov N.E., Provotorov D.A., Sergeev N.N., Ageev E.V. Assessment of the effect of a liquid lubricating composite material with geomodifier nanoparticles on friction in a bearing assembly. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2015;(3):17-23. (In Russ.) EDN UZCDRR.
4. Ageev E.V., Gadalov V.N., Semenikhin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A. Obtaining wear-resistant powders from waste of hard alloys. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii = Procurement production in mechanical engineering*. 2010;(12):39-44. (In Russ.) EDN NBXQRT.
5. Ageeva E.V., Ageev E.V., Vorobyov E.A., Zubarev M.A. High-speed steel dispersed in kerosene. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Southwest State University*. 2014;(5):21-25. (In Russ.) EDN TCUFQH.
6. Ageeva E.V., Ageev E.V. Improving the quality of repair and restoration of parts of modern transport systems. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Proceedings of Tula State University. Technical sciences*. 2011;(3):503-509. (In Russ.) EDN PVJTYV.
7. Ageeva E.V., Ageev E.V., Karpenko V.Yu., Altukhov A.Yu. The influence of technology for obtaining electrode material from high-speed steel waste on the wear resistance of electric spark coatings. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii = High-tech technologies in mechanical engineering*. 2015;(1):36-41. (In Russ.) EDN TIJQXT.
8. Breki A.D., Didenko A.L., Kudryavtsev V.V., Vasilyeva E.S., Tolochko O.V., Kolmakov A.G. Tribotechnical characteristics of composite coatings with a polyheteroarylene PM-DADFE matrix and fillers made of tungsten dichalcogenide nanoparticles during sliding friction in a liquid lubricant medium. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Southwest State University*. 2016;(3):17-28. (In Russ.) EDN WXFUOF.
9. Medvedeva V.V., Breki A.D., Krylov N.A., Alexandrov S.E., Gvozdev A.E., Starikov N.E. Tribotechnical properties of plastic lubricating composite materials with fillers from dispersed particles of copper and zinc. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Southwest State University*. 2016;(2):109-119. (In Russ.) EDN WWRKFD.
10. Medvedeva V.V., Breki A.D., Krylov N.A., Skotnikov M.A., Fadin Yu.A., Alexandrov S.E. Investigation of the anti-wear properties of a plastic lubricating composite material containing dispersed particles of a layered friction modifier. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Southwest State University*. 2016;(1):75-82. (In Russ.) EDN VXDVQZ.
11. Ageev E.V., Grashkov S.A. Practicum on machine repair technology. Kursk: Universitetskaya kniga; 2019. 147 p. (In Russ.) EDN ZJMANV.
12. Ageev E.V., Sevostyanov A.L., Rodionov Yu.V. Problems and prospects of development of technical operation of cars. Penza: Penz. gos. un-t arkhitektury i stroitel'stva; 2014. 200 p. (In Russ.) EDN VTGFUD.

13. Ageev E.V., Kudryavtsev A.L., Sevostyanov A.L. Algorithm for diagnosing the cylindrical piston group using a technical endoscope. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin = World of transport and technological machines*. 2012;(1):116-122. (In Russ.) EDN PUNLJB.
14. Ageev E.V., Kudryavtsev A.L., Sevostyanov A.L. Improving the quality of diagnostics of car engines. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin = The world of transport and technological machines*. 2011;(3):24-27. (In Russ.) EDN NKYRAJ.
15. Latypov R.A., Bulychev V.V., Burak P.I., Ageev E.V. Electrical contact welding. Theory and practice. Kursk: Universitetskaya kniga; 2016. 371 p. (In Russ.) EDN WGAMTF.
16. Ageeva E.V., Zubarev M.V. Installation for obtaining powder materials suitable for technological processes of restoration and hardening of parts. *Trudy GOSNITI = Proceedings of GOSNITI*. 2017;129:169-173. (In Russ.) EDN ZTMFCB.

Информация об авторах / Information about the Authors

Горленко Александр Олегович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Производство и сервис в транспортном машиностроении», Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Российская Федерация, e-mail: bugi12@bk.ru, ORCID: 0000-0003-0807-9537

Агеева Екатерина Владимировна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8457-6565, SPIN-код: 2561-0708

Табольская Наталья Владимировна, студент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: N.tabolskaya@mail.ru

Гладских Иван Романович, студент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: gladikivan88@gmail.com

Мищенко Виталий Викторович, студент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: vvitz0851@gmail.com

Alexander O. Gorlenko, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor of the Department of "Production and Service in Transport Engineering", Bryansk State Technical University, Bryansk, Russian Federation, e-mail: bugi12@bk.ru, ORCID: 0000-0003-0807-9537

Ekaterina V. Ageeva, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor of the Department of Materials Technology and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8457-6565, SPIN-код: 2561-0708

Natalia V. Tabolskaya, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: N.tabolskaya@mail.ru

Ivan R. Gladskikh, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: gladikivan88@gmail.com

Vitaly V. Mishchenko, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: vvitz0851@gmail.com