

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 621.922.02

DOI: 10.53083/1996-4277-2025-250-8-75-81

Н.С. Алексеев, С.В. Иванов

N.S. Alekseev, S.V. Ivanov

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МИКРОПОРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

WEAR RESISTANCE OF MICROPOROUS COATINGS AFTER ABRASIVE TREATMENT

Ключевые слова: металлические порошки, плазменные покрытия, шлифовальные круги, технология обработки, износостойкость, стендовые испытания, триботехнические свойства, пара трения, момент трения, коэффициент трения.

Процесс абразивной обработки опорных шеек различных валов сельскохозяйственной техники, восстановленных нанесением микропористых покрытий на никелевой основе, характеризуется низкими технико-экономическими показателями. Трудности, возникающие при шлифовании этих покрытий, обусловлены их специфическими свойствами, такими как низкая теплопроводность, наличие оксидов и шлаков, высокая доля содержания никеля в покрытии и др. Предлагается новая технология абразивной обработки микропористых покрытий на никелевой основе, обеспечивающая существенное повышение эффективности шлифования восстановленных деталей. Новая технология основана на использовании оптимальных режимов шлифования абразивным инструментом с оптимальной характеристикой и с применением эффективного состава смазочно-охлаждающей жидкости. Для определения эксплуатационных свойств восстановленных деталей после их размерной обработки шлифованием в работе оценивались износостойкость наращенных слоёв, а также их триботехнические характеристики. Требовалось также сравнить эксплуатационные свойства нанесённых покрытий с эксплуатационными показателями новых валов и валов, обработанных по другим технологиям. Описана методика износных стендовых испытаний высоконагруженных деталей автотракторных двигателей в сопряжении «шейка коленчатого вала-вкладыш подшипника скольжения» на машине трения ИИ5018 по схеме «диск-колодка», а также методика количественной

оценки износа образцов и контрообразцов. Приведены режимы работы машины трения, изложены результаты сравнительных износных испытаний, а также даны триботехнические характеристики микропористых покрытий. Показано, что пара трения с напылённым образцом, обработанным по новой технологии, обладает повышенной износостойкостью и лучшими триботехническими свойствами по сравнению с парой трения стального образца и образца, напылённого после обработки с применением старой технологии. Однако полученные результаты по износостойкости и триботехническим характеристикам должны быть проверены в условиях рядовой эксплуатации.

Keywords: metal powders, plasma coatings, grinding wheels, processing technology, wear resistance, bench tests, tribotechnical characteristics, friction couple, friction torque, friction coefficient.

The process of abrasive treatment of bearing journals of various shafts of agricultural machinery restored by application of microporous coatings on a nickel base is characterized by low technical and economic indices. The difficulties arising during grinding of these coatings are caused by their specific properties such as low thermal conductivity, presence of oxides and slags, high nickel content level in the coating, etc. We propose a new technology of abrasive treatment of microporous coatings on a nickel base that provides a significant increase of grinding efficiency of restored parts. The new technology is based on the use of optimal grinding modes with an abrasive tool with optimal characteristics and with the use of an effective composition of the grinding oil. To determine the operational properties of restored parts after their dimensional processing by grinding, the wear resistance of the built-up layers and their

tribotechnical characteristics were evaluated. It was also necessary to compare the performance properties of the applied coatings with the performance of new shafts and shafts processed using other technologies. The paper describes a method of wear bench tests of highly loaded parts of automotive and tractor engines in the "crank-shaft journal - plain bearing shell" coupling on an Il5018 friction machine using the "disk - shoe" scheme as well as a method of quantitative wear evaluation of samples and counter-samples. The operating modes of the friction machine and the results of comparative wear tests

are discussed, and the tribological characteristics of microporous coatings are presented. It is shown that a friction couple with a sprayed sample processed using the new technology had higher wear-resistance and better tribological properties as compared to a friction couple of a steel sample and a sprayed sample after processing using the old technology. However, the obtained results on wear resistance and tribological characteristics should be verified under normal operating conditions.

Алексеев Николай Сергеевич, к.т.н., доцент, Рубцовский индустриальный институт (филиал), ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Рубцовск, Алтайский край, Российская Федерация, e-mail: nikolay.alekseev.56@mail.ru.

Иванов Сергей Владимирович, инженер, Рубцовский индустриальный институт (филиал), ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Рубцовск, Алтайский край, Российская Федерация, e-mail: vitsal_72@mail.ru.

Alekseev Nikolay Sergeevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Rubtsovsk Industrial Institute (Branch) Polzunov Altai State Technical University, Rubtsovsk, Altai Region, Russian Federation, e-mail: nikolay.alekseev.56@mail.ru.

Ivanov Sergey Vladimirovich, Engineer, Rubtsovsk Industrial Institute (Branch) Polzunov Altai State Technical University, Rubtsovsk, Altai Region, Russian Federation, e-mail: vitsal_72@mail.ru.

Введение

В практике ремонта сельскохозяйственной техники для продления срока службы восстановленных узлов активно применяются различные методы газотермического напыления, включая металлизацию. Основной задачей таких технологий является формирование износостойких микропористых покрытий на основе никеля или железа. Среди различных видов металлизации особенно широко используется плазменная металлизация [1]. Наиболее популярным материалом для данного процесса выступают термореагирующие биметаллические порошки, например, ПТ-19Н-01. Эти порошки представляют собой сферические гранулы самонагревающегося никелевого сплава, покрытые оболочкой из алюминия [2].

Финишная механическая обработка полученных покрытий чаще всего осуществляется методом шлифования с использованием стандартных абразивных кругов и традиционных смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Так, на предприятии ООО «ПО «Плазматех» (г. Барнаул) при обработке покрытий, полученных методом плазменного напыления, применяется абразивный инструмент из зелёного карбида кремния марки 64С с характеристикой 64CF46N6V (64C40HC26K), а в качестве СОЖ используется 3%-ный водный раствор концен-

трата «Универсал» (ТУ 0258-047-23693454-201, производитель – ООО НПФ «Акрил», г. Омск) [3].

Тем не менее процесс шлифования покрытий на основе никеля сопровождается значительными трудностями. Это объясняется их низкой теплопроводностью, высоким содержанием вязкого никеля, а также сложной структурой напылённых слоёв. Как показали наши исследования, при применении кругов с характеристикой 64CF46N6V эффективность обработки оказывается недостаточной: инструмент быстро изнашивается, «засаливается», а его стойкость, даже при щадящих режимах, составляет всего 1-3 мин. Необходимость частой правки круга ведёт к прерывистости процесса и снижению производительности. Всё это указывает на неэффективность существующей технологии шлифования таких покрытий [3, 4].

Для поиска более результативных решений нами были проведены производственно-лабораторные испытания [3]. В ходе круглого наружного врезного шлифования было установлено, что использование абразивных кругов из белого электрокорунда марки 24А с характеристикой 24AF90L6V (24A16HCM26K) даёт значительно лучшие результаты. Также были подобраны оптимальные режимы обработки и состав СОЖ [4].

Электрокорундовые круги в сочетании с подобранным СОЖ обеспечили снижение усилий резания, повышение производительности, снижение шероховатости поверхности и другие технологические преимущества. Это позволяет считать предложенную технологию целесообразной для шлифования напылённых покрытий, особенно при восстановлении шеек коленчатых и распределительных валов двигателей авто-тракторной техники.

Следует отметить, что срок службы восстановленных деталей определяется не только методом напыления, но и последующей размерной обработкой. Наиболее достоверные данные по износостойкости можно получить в условиях рядовой эксплуатации, однако такие испытания требуют значительных ресурсов, поэтому на начальном этапе обычно применяются ускоренные методы сравнительной оценки износостойкости покрытий.

Цель исследования – определить износостойкость микропористых покрытий, подвергнутых обработке по усовершенствованной технологии, на основе результатов лабораторных стендовых испытаний.

Материалы и методы

Испытания по оценке износостойкости микропористых покрытий, нанесённых методом напыления, проводились на образцах, полученных из восстановленных шеек коленчатых валов автомобилей семейства ВАЗ. При этом учитывались положения стандарта ГОСТ 23.224-86 [5].

В рамках эксперимента испытаниям подверглись три группы образцов: а) эталонные образцы из стали 45 с твёрдостью HRC 50, вырезанные из шеек нового коленчатого вала и обработанные абразивным шлифованием до параметра шероховатости $R_a = 0,40$ мкм по технологии ООО «ПО «Плазматех» [6] (в дальнейшем – «старая» технология); б) образцы с нанесённым покрытием из порошка ПТ-19Н-01 (твёрдость HRC 35), также обработанные по «старой» технологии; в) образцы с аналогичным покрытием (ПТ-19Н-01, HRC 35), но прошедшие обработку по «новой» технологии с применением оптимальных параметров шлифования и эффективного состава СОЖ до шероховатости $R_a = 0,20$ мкм.

Измерение параметров шероховатости проводилось с применением оптико-цифрового

прибора Zygo New View 7300, предназначенного для анализа микротопографии поверхности.

Триботехнические испытания осуществлялись на машине трения ИИ5018 (предварительно откалиброванной и поверенной), по классической схеме «диск-колодка». Конфигурация образцов: диски с шириной $12 \pm 0,1$ мм и внешним диаметром $50 \pm 0,013$ мм; колодки в виде сегментов с внутренним радиусом 25 мм и внешним радиусом 34 мм, ширина – 10 мм.

Контробразцами выступали заготовки (темплеты), изготовленные из вкладышей коренных подшипников (второй ремонтный размер), фиксируемые к колодке потайным винтом. Площадь трения одного контробразца составляла около $1 \cdot 10^{-4}$ м². Перед началом испытаний каждый контробразец проходил проверку на плотность прилегания – контактная зона составляла не менее 95%. Во время эксперимента прилагалась нагрузка 1000 Н (102 кгс), что обеспечивало удельное давление 5,64 Мпа, соответствующее расчетным эксплуатационным значениям для шеек коленчатого вала двигателей ВАЗ [8]. Частота вращения образца составляла 500 об/мин., что эквивалентно окружной скорости 78,53 м/мин.

В качестве смазывающего материала и питочного состава для пор использовалось универсальное моторное масло полусинтетического типа (SAE 10W-40, API SG/CD), соответствующее стандартам ISO 9001:2015 и IATF 16949:2016. Перед началом испытаний образцы выдерживали в масляной ванне при комнатной температуре в течение суток для обеспечения насыщения пор.

Оценка степени износа осуществлялась в два этапа: предварительно – с использованием метода «искусственных баз», основанного на отпечатках индентора твердомера Виккерса (модель ТВ); окончательно – путём взвешивания на аналитических весах «Pioneer» (модель PA214C) с точностью $\pm 0,0001$ г.

Для повышения точности и ускорения обработки данных использовалась автоматизированная система на базе ПК Pentium-IV с установленным АЦП/ЦАП ПО-4. Фиксировались следующие параметры триботехнического взаимодействия: сила и путь трения, коэффициент и момент трения, а также частота и скорость вращения. Температура на контактной поверхности контролировалась термпарой TP-01A, интегрированной в тело колодки на глубине 0,5 мм от

зоны трения. Сигналы считывались цифровым термометром ТМ-902С.

Каждую пару трения испытывали тоекратно по программе длительностью 8 ч (4 этапа по 2 ч с интервалами охлаждения), что обеспечивало суммарный путь трения в 40000 м.

Результаты исследований и их обсуждение

Многочисленные исследования, проведённые как российскими, так и зарубежными учёными, свидетельствуют о том, что одной из ключевых причин преждевременного выхода из строя машин является абразивный износ металлических поверхностей. Он возникает при попадании твёрдых частиц в зону контакта между сопрягаемыми элементами как при сухом, так и при жидкостном трении [6]. Несмотря на постоянное усовершенствование фильтрующих систем смазки и внедрение конструктивных решений, направленных на повышение герметичности узлов, полностью исключить влияние абразивных частиц на износ деталей, особенно в агрегатах тракторов, автомобилей и сельскохозяйственной техники, в настоящее время невозможно.

С учётом конструктивных особенностей сопрягаемых деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания, выделяют три основных типа абразивного воздействия [7]: а) внедрение твёрдых частиц в одну из деталей, приводящее к износу сопряжённой поверхности; б) воздействие твёрдых структурных компонентов одной детали на другую; в) совместное воздействие абразивных частиц, перемещающихся между поверхностями обеих деталей.

В узле «шейка коленчатого вала – подшипник» преобладающим является третий тип изнашивания (в), что и определило выбор схемы триботехнических испытаний при оценке износостойкости микропористых металлизационных покрытий [3, 4, 8].

В рамках предыдущих работ [3] было предложено улучшение технологии восстановления шеек коленчатых валов. В частности, предлагалось использовать абразивные круги из белого электрокорунда марки 24А вместо зелёного карбида кремния 64С, а также уменьшить размер зерна с F46 (0,40 мм) до F90 (0,16 мм). Дополнительно обосновывалось применение кругов среднемягкой твёрдости L (СМ2) взамен средне-твёрдых кругов марки N (С2).

Такая модернизация абразивного инструмента потребовала экспериментального подтверждения её влияния на износостойкость покрытий. В частности, сравнивались образцы, прошедшие обработку по новой и старой технологиям. Результаты триботехнических испытаний с проведённой статистической обработкой представлены на рисунке 1.

Анализ полученных данных показал, что на всех этапах испытаний микропористые напылённые покрытия, обработанные по усовершенствованной технологии, демонстрировали более высокую износостойкость по сравнению с эталонными стальными образцами – в 1,36 раза, а по сравнению с напылёнными образцами, прошедшими обработку по традиционной технологии, – в 1,11 раза. При этом все образцы показали одинаковый характер износа.

Как видно из рисунка 1, износ контро образцов, работавших в паре с образцами, обработанными по новой технологии, оказался в среднем на 24% ниже, чем в парах с эталонными образцами, и более чем на 10% ниже, чем при взаимодействии с образцами, обработанными по старой технологии.

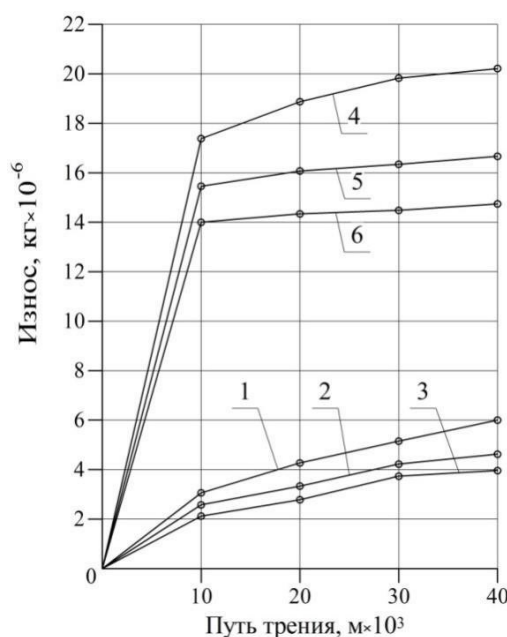


Рис. 1. Зависимость изнашивания от пути трения для образцов:
 1 – из стали; 2 – напылённых образцов, обработанных по старой технологии;
 3 – напылённых образцов, обработанных по новой технологии; 4 – контро образцов;
 работающих в паре со стальными образцами;
 5 – с образцом после обработки по старой технологии; 6 – с образцом после обработки по новой технологии

Это явление можно объяснить тем, что применение абразивного круга с оптимально подобранной характеристикой сопровождается снижением сил резания. В результате этого не происходит уплотнения поверхностных слоёв металлизационного покрытия, и микропористая структура сохраняется. Открытые поры, в свою очередь, способствуют более эффективному удержанию и распределению смазочного материала, что создаёт благоприятные условия для работы трибосопрежения.

Таким образом, полученные экспериментальные данные опровергают ранее распространённое мнение о том, что шлифовальные круги типа 24AF90L6V, вследствие мелкозернистой структуры, оказывают шаржирующее воз-

действие на микропористый слой [6]. Напротив, результаты показывают, что подобный абразив обеспечивает щадящую обработку, не разрушающую структуру покрытия.

Визуальный анализ поверхностей трения подтвердил это наблюдение: рабочая поверхность контробразца, взаимодействовавшего с напылённым образцом, прошедшим обработку по новой технологии, отличалась высокой гладкостью и металлическим блеском. В то же время поверхности контробразцов, работавших в паре с эталонными образцами и с образцами, обработанными по старой технологии, характеризовались заметной неоднородностью и повышенной шероховатостью (рис. 2).

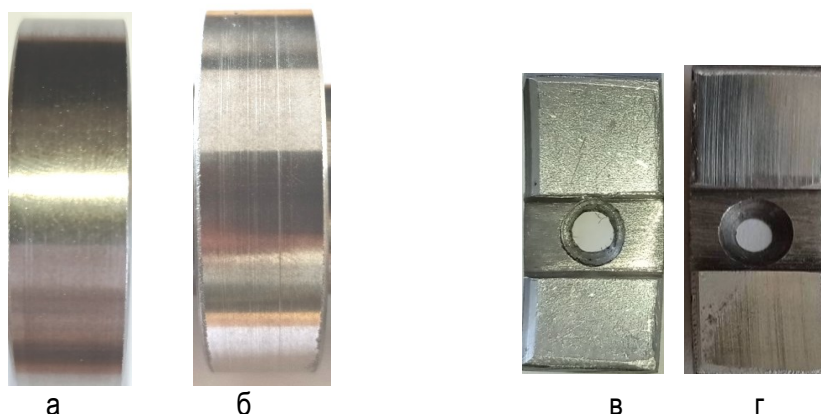


Рис. 2. Фотографии поверхностей трения образцов и контробразцов:
а – напылённый образец до испытаний; б – напылённый образец после испытаний;
в – контробразец до испытаний; г – контробразец после испытаний

В процессе изнашивания как шлифованных образцов, так и соответствующих им контробразцов наиболее интенсивный износ наблюдается на начальной стадии испытаний – в течение первого цикла, что связано с этапом приработки сопряжённых поверхностей (рис. 1). Однако при использовании напылённых образцов, обработанных по новой технологии, а также их контробразцов интенсивность изнашивания в этом начальном периоде оказалась в среднем на 1,17 раза ниже по сравнению с парами трения, включающими образцы, прошедшие обработку по старой технологии и эталонные образцы.

На последующих этапах испытаний установлено, что контробразцы, работавшие в паре с напылёнными покрытиями, демонстрируют меньшие потери материала по сравнению с контробразцами, взаимодействовавшими со стальными образцами. Подобное снижение интенсив-

ности износа объясняется способностью микропористых покрытий аккумулировать смазочный материал в порах и равномерно вовлекать его в зону трения. Это способствует формированию устойчивой смазочной плёнки в зазоре сопряжения типа «диск-колодка» и улучшает условия их взаимодействия.

Дополнительно расчёты показали, что средняя величина момента трения в паре «контробразец – напылённый образец, обработанный по новой технологии» на различных стадиях испытаний была, соответственно, в 5,45 и 2,45 раза ниже, чем в парах «контробразец – эталонный образец» и «контробразец – напылённый образец, обработанный по старой технологии» (табл.). Эти данные подтверждают более благоприятные условия трения и повышенную эффективность новой технологии финишной обработки.

Результаты стендовых износных испытаний пар трения ($n=3$, $P=0,95$)

Показатели	Путь трения, м			
	10000	20000	30000	40000
Стальной (эталонный) образец				
1. Момент трения, Н·м	0,50	0,35	0,22	0,19
2. Сила трения, Н	19,87	13,53	8,80	7,60
3. Коэффициент трения	0,020	0,014	0,009	0,008
4. Температура, °С	34	32	32	31
Напылённый образец, обработанный по «старой» технологии				
1. Момент трения, Н·м	0,42	0,16	0,13	0,06
2. Сила трения, Н	16,80	6,40	5,20	2,40
3. Коэффициент трения	0,017	0,006	0,005	0,003
4. Температура, °С	35	35	35	35
Напылённый образец, обработанный по «новой» технологии				
1. Момент трения, Н·м	0,38	0,14	0,07	0,02
2. Сила трения, Н	15,20	5,60	2,80	0,80
3. Коэффициент трения	0,015	0,005	0,003	0,001
4. Температура, °С	30	30	30	30

Как следует из данных, представленных в таблице, значения силы трения в паре «контроль – напылённый образец, обработанный по новой технологии», на различных этапах испытаний оказались в среднем в 5,4 раза ниже по сравнению с парой «контроль – эталонный образец» и в 2,1 раза ниже по сравнению с парой, включающей напылённый образец, обработанный по старой технологии.

Аналогичная закономерность наблюдается и для коэффициента трения: в паре «контроль – напылённый образец, обработанный по новой технологии», он оказался в среднем в 4,7 раза ниже по сравнению с эталонной парой и в 2,1 раза ниже по сравнению с парой, в которой использовалась старая технология обработки (табл.). Следует также отметить, что при переходе от первого к четвёртому циклу испытаний наблюдалось значительное снижение триботехнических характеристик: момент трения уменьшился, соответственно, в 2,6 раза, сила трения – в 7 раз, а коэффициент трения – в 19 раз. Эти изменения характерны для всех исследуемых пар трения: со стальным образцом, с напылённым образцом после старой технологии и с напылённым образцом после новой технологии.

Таким образом, можно сказать, что применение новой технологии обработки способствует более быстрому завершению стадии приработки напылённой поверхности в паре с подшипником скольжения, что обеспечивает стабильную работу узла в более короткие сроки. При этом

температурные условия в зоне трения для всех исследуемых пар оставались приблизительно одинаковыми: средняя температура составляла 30-35°С, что исключает влияние термического фактора на различия в износостойкости.

Выводы

1. По результатам лабораторных стендовых испытаний установлено, что износостойкость сопряжения «шейка – вкладыш» коленчатого вала автомобиля ВАЗ, восстановленного методом плазменного напыления с последующим абразивным шлифованием по новой технологии, превышает износостойкость аналогичных сопряжений в 1,11-1,36 раза.

2. Образцы, обработанные шлифовальными кругами марки 24AF90L6V при оптимальных режимах и с использованием скорректированного состава смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), продемонстрировали более высокие триботехнические характеристики по сравнению как с эталонными (невосстановленными) образцами, так и с образцами, прошедшими обработку по старой технологии.

3. Полученные в лабораторных условиях данные по износостойкости восстановленных по новой технологии коленчатых валов требуют дополнительной проверки в реальных условиях эксплуатации с целью окончательной оценки их эффективности и надёжности в производственной практике.

Библиографический список

1. Черноиванов, В. И. Организация и технология восстановления деталей машин / В. И. Черноиванов, В.П. Лялякин. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва: ГОСНИТИ, 2003. – 488 с. – Текст: непосредственный.
2. Батищев, А. Н. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники / А. Н. Батищев, И. Г. Голубев, В. П. Лялякин. – Москва: Информатротех, 1995. – 296 с. – Текст: непосредственный.
3. Алексеев, Н. С. Оптимизация операции шлифования микропористых покрытий по критерию себестоимости / Н. С. Алексеев, А. С. Шевченко, С. В. Иванов. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 2 (100). – С. 130-136.
4. Алексеев, Н. С. Совершенствование технологии восстановления валов сельскохозяйственной техники при размерной обработке микропористых покрытий на железной основе: монография / Н. С. Алексеев, В. А. Капорин. – Рубцовск, 2023. – 227 с. – ISBN 978-5-6045267-7-4. – URL: <https://www.rubinst.ru/sites/default/files/files/science/alekseev-n-s-kaporin-v-a-sovershenstvovanie-tekhnologii-vosstanovleniya-valov-selskokozyajstvennoj-tehniki.pdf>. – Текст: электронный.
5. ГОСТ 23.224-86. Обеспечение износостойкости изделий. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей. – Текст: непосредственный
6. Кашук, В. А. Справочник шлифовщика / В. А. Кашук, А. Б. Верещагин. – Москва: Машиностроение, 1988. – 480 с. – Текст: непосредственный.
7. Определение износа деталей машин за короткие периоды работы / под редакцией М. М. Хрущева. – Москва, 1965. – 76 с. – Текст: непосредственный.
8. Григорьев, М. А. Износ и долговечность автомобильных двигателей / М. А. Григорьев, Н. Н. Пономарев. – Москва: Машиностроение, 1976. – 248 с. – Текст: непосредственный.
9. Динамический расчет КШМ двигателя ВАЗ 21099. – URL: <https://www.referat911.ru/Transport/>

dinamicheskij-raschet-kshm-dvigatelya-vaz/206107-2381092-place2.html (дата обращения: 15.04.2023). – Текст: электронный.

References

1. Chernoi Ivanov, V.I. Organizatsiia i tekhnologiya vosstanovleniia detalei mashin. 2-e izd., dop. i pererab. / V.I. Chernoi Ivanov, V.P. Lialiakin. – Moskva: GOSNITI, 2003. – 488 s.
2. Batishchev, A.N. Vosstanovlenie detalei selskokhoziaistvennoi tekhniki / A.N. Batishchev, I.G. Golubev, V.P. Lialiakin. – Moskva: Informagrotekh, 1995. – 296 s.
3. Alekseev, N.S. Optimizatsiia operatsii shlifovaniia mikroporistykh pokrytii po kriteriiu sebestoimosti / N.S. Alekseev, A.S. Shevchenko, S.V. Ivanov // Izvestiia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023. No. 2 (100). S. 130-136.
4. Alekseev, N.S. Sovershenstvovanie tekhnologii vosstanovleniia valov selskokhoziaistvennoi tekhniki pri razmerno obrabotke mikroporistykh pokrytii na zheleznoi osnove: monografiia / N.S. Alekseev, V.A. Kaporin. – Rubtsovsk, 2023. – 227 s. ISBN 978-5-6045267-7-4. URL: <https://www.rubinst.ru/sites/default/files/files/science/alekseev-n-s-kaporin-v-a-sovershenstvovanie-tekhnologii-vosstanovleniya-valov-selskokozyajstvennoj-tehniki.pdf>.
5. GOST 23.224-86. Obespechenie iznosostoičnosti izdelii. Metody otsenki iznosostoičnosti voss-tanovlennyykh detalei.
6. Kashchuk, V.A. Spravochnik shlifovshchika / V.A. Kashchuk, A.B. Vereshchagin. Moskva: Mashinostroenie, 1988. – 480 s.
7. Opredelenie iznosa detalei mashin za korotkie periody raboty / pod red. M.M. Khrushchova. Moskva, 1965. – 76 s.
8. Grigorev, M.A. Iznos i dolgovechnost avtomobilnykh dvigatelei / M.A. Grigorev, N.N. Ponomarev. Moskva: Mashinostroenie, 1976. – 248 s.
9. Dinamicheskii raschet KShM dvigatel'ia VAZ 21099 – URL: <https://www.referat911.ru/Transport/dinamicheskij-raschet-kshm-dvigatelya-vaz/206107-2381092-place2.html>.

