



ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС МАШИН

MACHINERY TECHNICAL SERVICE

Том 62 № 1 2024

Vol. 62 N 1 2024

Научно-практический журнал «Технический сервис машин» является правопреемником издания «Труды ГОСНИТИ», основанного в 1963 году. Учредитель и издатель – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ).

Scientific-practical journal «Machinery technical service» was founded in 1963. The founder and publisher is the Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center VIM» (FSBSI FSAC VIM).

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) свидетельство о регистрации ПИ №ФС77-72932 от 25.05.2018 г.

Proceedings are registered with the Federal Service for Supervision in the Area of Communications of Information Technologies and Mass Communications (Roskomnadzor) ПИ №ФС77-72932 от 25.05.2018.

Адрес издателя, редакции и типографии:
109428, Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5, стр. 1.

Actual address of the publisher, editorial office and printing house:
109428, Moscow, 1 st Institutsky pass., 5. bld. 1.

Тел. 8 (495) 371-21-44; 8 (499) 174-88-11; e-mail: tsmvim@mail.ru; valpal-1938@mail.ru

Phone: 8 (495) 371-21-44; 8 (499) 174-88-11; e-mail: tsmvim@mail.ru; valpal-1938@mail.ru

Свидетельство о регистрации: ПИ №ФС77-72932 от 25.05.2018 года

Certificate of registration:
ПИ №ФС77-72932 from 25.05.2018.

Выходит 4 раза в год (Свободная цена).

It turns out 4 times a year (Free price).

Дата выхода в свет 22.12.2023 г.,

The format is 60x84 / 8. Circulation 100 copies.

Формат 60 x 84/8. Объем 16,5 п.л.,

Тираж 100 экз., заказ 959.

Отпечатано в типографии ФГБНУ ФНАЦ ВИМ

Printed in the printing house of the FSBSI FSAC VIM

Результаты и обсуждение. Результаты проведенных экспериментальных исследований позволили установить, что реакции на опорах двигателя при работе на всех цилиндрах изменяются от 0 до 849 Н за первые 294 мс измерений, затем постепенно уменьшаются до 600 Н на 929 мс измерений и принимают нулевое значение в конце цикла разгона. Среднее за цикл работы двигателя ускорение коленчатого вала изменяется от 0 до 201 с^{-2} за первые 508 мс разгона, затем также уменьшается до величины 173 с^{-2} на 929 мс измерений и резко снижается в конце цикла разгона (рис. 4).

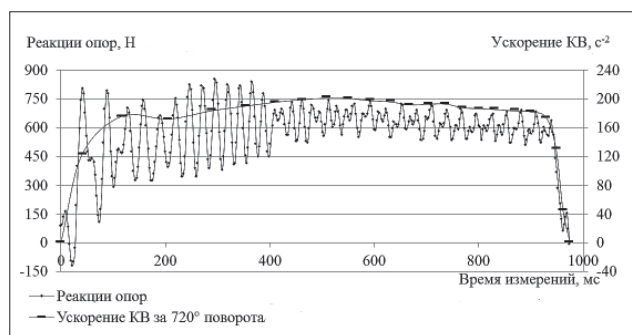


Рис. 4. Осциллограмма реакций опоры двигателя Д-243 и среднее за цикл работы двигателя ускорение КВ в процессе свободного разгона

Fig. 4. Oscillogram of the reactions of the D-243 engine support and the average KV acceleration during the engine operation cycle during free acceleration

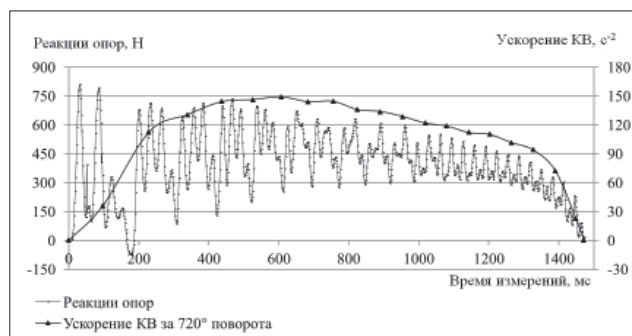


Рис. 5. Осциллограмма реакций опоры двигателя Д-243 и среднее за цикл работы двигателя ускорение КВ в процессе свободного разгона при отключенном первом цилиндре

Fig. 5. Oscillogram of the reactions of the D-243 engine support and the average KV acceleration during the engine operation cycle during free acceleration with the first cylinder turned off

Отключение первого цилиндра двигателя вызывает существенное снижение величины реакций опор и увеличение амплитуды изменения реакций (рис. 5). Величина реакции изменяется от 0 до 809 Н за первые 31 мс измерений и уменьшается до минус 79 Н на 174 мс измерений для неработающего цилиндра. Последующая работа двигателя приво-

дит к уменьшению колебаний реакций, постепенному изменению среднего значения реакций с 450 до 300 Н в интервале измерения 200-1320 мс и резкому снижению реакций в конце цикла разгона. Ускорение КВ изменяется от 0 до 149 с^{-2} в период измерения от 0 до 606 мс, постепенно уменьшается до 94 с^{-2} на 1389 мс измерений и достигает нулевого значения в конце цикла разгона.

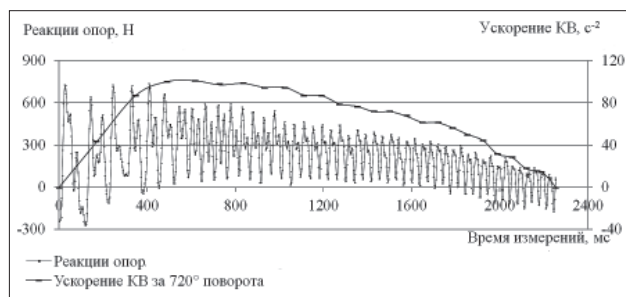


Рис. 6. Осциллограмма реакций опоры двигателя Д-243 и среднее за цикл работы двигателя ускорение КВ в процессе свободного разгона при отключенных первом и четвертом цилиндрах

Fig. 6. Oscillogram of the reactions of the D-243 engine support and the average KV acceleration during the engine operation cycle during free acceleration with the first and fourth cylinders turned off

Отключение двух цилиндров также приводит к увеличению амплитуды реакций и снижению среднего значения величины реакций (рис. 6).

Так, за первые 400 мс измерений средние значения реакций опор изменяются от 0 до 320 Н и затем постепенно уменьшаются до нуля на 2254 мс измерений. Ускорение коленчатого вала изменяется от 0 до 101 с^{-2} в период 0-616 мс и постепенно уменьшается до нуля на 2254 мс измерений.

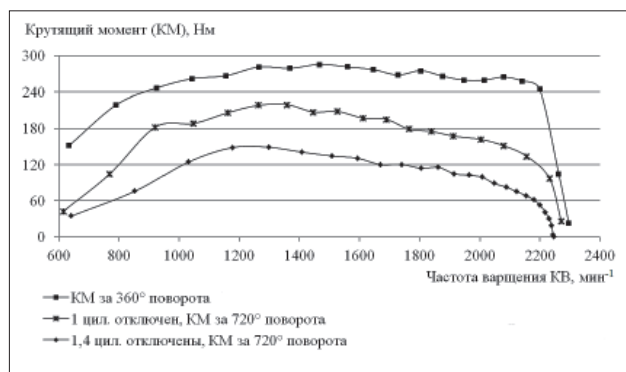


Рис. 7. Зависимость изменения усредненного крутящего момента двигателя от частоты вращения коленчатого вала

Fig. 7. Change in the average engine torque on the crankshaft speed

При работе двигателя на всех цилиндрах в режиме свободного разгона величина крутящего мо-

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИМ ПОКРЫТИЕМ



*Вячеслав Александрович Денисов, доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник, e-mail: va.denisov@mail.ru;
Никита Александрович Попов, аспирант, инженер*

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Представили результаты исследования прирабатываемости и износостойкости комбинированного покрытия восстановленных гильз цилиндров, полученного нанесением на чугунную основу слоя порошка алюминия методом холодного газодинамического напыления с последующей обработкой микродуговым оксидированием. (Цель исследования) Провести сравнительный анализ триботехнических свойств сопряжений «гильза с покрытием методом холодного газодинамического напыления и обработкой микродуговым оксидированием–контробразец 100Cr6» и «гильза (СЧ25 в состоянии поставки)–контробразец 100Cr6» (эталонное сопряжение). (Материалы и методы) Провели исследование прирабатываемости материалов эталонного и восстановленного сопряжений по РД 50-662-88 «Методические указания. Методы экспериментальной оценки фрикционной совместимости материалов трущихся сопряжений». Выполнили сравнительные стендовые испытания на износостойкость эталонного и восстановленного сопряжений по ГОСТ 23.224-86 «Обеспечение износостойкости изделий. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей». (Результаты и обсуждение) Определили оптимальные режимы длительной работы и пределы работоспособности сопряжения при ступенчатом нагружении эталонного и восстановленного трибосопряжений. Вычислили коэффициент прирабатываемости и фактор изнашивания сопряжений. Установили, что восстановленное сопряжение «гильза с покрытием методом холодного газодинамического напыления и обработкой микродуговым оксидированием–контробразец 100Cr6» имеет близкие показатели прирабатываемости с эталонным сопряжением, а его износостойкость превосходит износостойкость эталонного сопряжения, более чем в два раза. (Выводы) Высокие показатели прирабатываемости и износостойкости восстановленного сопряжения «гильза с покрытием методом холодного газодинамического напыления и обработкой микродуговым оксидированием–контробразец 100Cr6» по сравнению с гильзой эталонной (из СЧ25 в состоянии поставки) обеспечивают повышение его долговечности и указывают на целесообразность применения комбинированного метода при восстановлении гильз цилиндров.

Ключевые слова: холодное газодинамическое напыление, микродуговое оксидирование, гильза цилиндра, восстановление, износостойкость.

Для цитирования: Денисов В.А., Попов Н.А. Исследование износостойкости гильз цилиндров, восстановленных керамическим покрытием // Технический сервис машин. 2024. Т. 62. № 1. С. 101-106. DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-1-101-106 EDN: JZKXTE.

Research article

THE WEAR RESISTANCE OF CYLINDER LINERS RESTORED BY CERAMIC COATING

*Vyacheslav A. Denisov, Dr.Sc.(Eng.), professor, chief researcher;
Nikita A. Popov, postgraduate, engineer*

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The results of the study of the workability and wear resistance of the combined coating of the restored cylinder liners obtained by applying a layer of aluminum powder to the cast-iron base by cold gas-dynamic spraying with subsequent treatment by microarc oxidation were presented. (Research purpose) The research purpose is a comparative analysis of the tribotechnical properties of the conjugations "sleeve coated with cold gas-dynamic spraying and treatment with microarc oxidation-counter-sample 100Cr6" and "sleeve (SH25 in the delivery state)-counter-sample 100Cr6" (reference pairing). (Materials and methods) Conducted a study of the workability of materials of the reference and reconstructed conjugations according to RD 50-662-88 "Guidelines. Methods of experimental evaluation of frictional compatibility of materials of friction conjugations". Comparative bench tests were performed on the wear resistance of the reference and restored conjugates according to GOST 23.224-86 "Ensuring the wear resistance of products. Methods for assessing the wear resistance of restored parts". (Results and discussion) The optimal modes of long-term operation and the limits of the interface operability were determined during the stepwise loading of the reference and restored tribo-couplings. The run-in coefficient and the wear factor of the couplings were calculated. It was found that the restored coupling "sleeve coated with cold gas-dynamic spraying and microarc oxidation treatment-counter-sample 100Cr6" has similar run-in rates with the reference coupling, and its wear resistance exceeds the wear resistance of the reference coupling by more than two times. (Conclusions) High indicators of workability and wear resistance of the restored interface "sleeve coated with cold gas-dynamic spraying and microarc oxidation treatment-counter-sample 100Cr6" in comparison with the reference sleeve (from SCH25 in the state of delivery) provide an increase in its durability and indicate the expediency of using the combined method in the restoration of cylinder liners.

Keywords: cold spray, microarc oxidation, cylinder liner, restoration, wear resistance.

For citation: Denisov V.A., Popov N.A. The wear resistance of cylinder liners restored by ceramic coating. *Machinery technical service*. 2024. Vol. 62. N1. 101-106 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-1-101-106. EDN: JZKXTE.

Гильза блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания работает в тяжелых условиях. Зеркало гильзы изнашивается в результате трения поршневых колец и действия абразивных частиц, содержащихся в смазке и засасываемом воздухе. Попадание в цилиндр всего одного процента неочищенного воздуха увеличивает износ поршневых колец и гильз в два раза. Во время работы двигателя на гильзы цилиндров одновременно оказывают действие различные факторы – температурные, силовые, химические. Режим работы двигателя, качество топливосмазочных материалов, рабочая температура, запыленность воздуха – основные причины быстрого износа зеркала гильзы цилиндра [1].

Этим обусловлена актуальность необходимости восстановления и упрочнения рабочей поверхности гильзы цилиндров.

Основным способом восстановления изношенных гильз цилиндров служит расточка под ремонтный размер, что влечет за собой снижение твердости внутренней поверхности и необходимость организации производства поршней и поршневых колец ремонтного размера. Способы восстановления гильз цилиндров в номинальный размер не нашли широкого применения из-за того, что не со-

ответствуют требованиям стандарта по качеству и имеют высокую себестоимость. Среди методов восстановления в номинальный размер свою область применения нашли электроконтактная приварка стальной ленты, индукционная центробежная наплавка, термопластическое деформирование, постановка дополнительной ремонтной детали, хромирование и железнение [2]. Однако эти процессы экономически целесообразны только при серийном и массовом ремонтном производстве. Среди методов профилактики с ремонтно-восстановительными свойствами можно отметить добавление наноструктурного бемита гидротермального синтеза в смазочные композиции для цилиндро-поршневой группы [3]. Одним из технологических подходов для повышения качества ремонта гильз цилиндров можно назвать метод плосковершинного хонингования с графитным насыщением [4].

Технология восстановления гильзы цилиндра с применением технологий ХГДН и МДО (нанесения комбинированного покрытия) обеспечивает высокую износостойкость рабочей поверхности гильзы цилиндра при восстановлении в номинальный размер. Применение данной технологии расширяет перспективы использования методов микродугового оксидирования по отношению к де-

талям цилиндро-поршневой группы [5]. В исследовании говорится о высокой износостойкости и антифрикционных свойствах данного покрытия, что важно в контексте использования его для ремонта гильз цилиндров [6]. Также комбинированное покрытие показало высокую стойкость по сравнению с конструкционными материалами при гидроабразивном износе [7].

Наносимое на внутренние цилиндрические поверхности покрытие имеет толщину от 0,2 до 0,5 мм после механической обработки; слой оксида алюминия на поверхности – от 80 до 120 мкм; шероховатость поверхности – не более Ra 1,6 мкм; микротвердость поверхности покрытия – от 1500 до 2000 HV . Адгезионная прочность покрытия на срез по проведенным ранее исследованиям составляет от 12 до 27 МПа [8].

Цель исследования – провести сравнительный анализ триботехнических свойств сопряжений «гильза с покрытием ХГДН и МДО–контробразец 100Cr6» и «гильза (СЧ25 в состоянии поставки)–контробразец 100Cr6» (эталонное сопряжение).

Материалы и методы. Износостойкость покрытия оценивали в соответствии с ГОСТ 23.224-86 по методу сравнительных экспресс-испытаний, который предусматривает определение соотношения интенсивностей изнашивания исследуемых поверхностей, испытываемых при заранее определенных идентичных условиях. Прирабатываемость сопряжения оценивали в соответствии с методическими указаниями РД 50-662-88.

Исследования проводили в центре коллективного пользования «Наноцентр» ФНАЦ ВИМ.

Для испытаний образцов материалов на износостойкость применяли трибометр *TRB-S-DE* фирмы *CSM Instruments*. Испытания на трибометре *TRB-S-DE* проводили по схеме «возвратно-поступательное движение» с исследуемым образцом в виде прямоугольного параллелепипеда, по которому перемещается (скользит) контробразец в виде шарика (рис. 1).

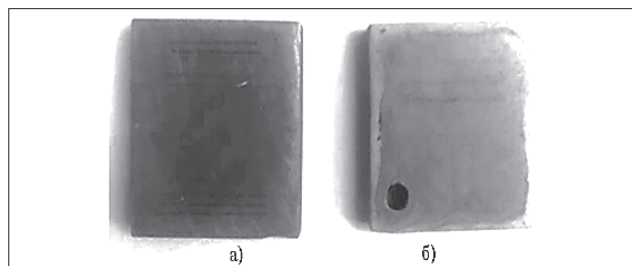


Рис. 1. Вид образцов для испытаний: а – без покрытия (эталон, СЧ25); б – с покрытием (ХГДН + МДО)

Fig. 1. Test samples: а – uncoated (standard, BS 250); б – coated (cold spray + MAO)

К индентору с шариком прикладывали нормируемую нагрузку.

Испытания выполняли со смазкой, т. е. в условиях граничного трения, аналогично условиям работы пары трения «гильза цилиндра–поршневое кольцо». В качестве смазки использовали масло *5W40*, изготовленное по стандарту ГОСТ 17479.1-2015 «Масла моторные. Классификация и обозначение». В процессе испытаний поддерживали постоянную влажность 45-50% и температуру окружающего воздуха 23-25 °С.

Образцу исследуемого материала, закрепленному в центре поверхности стола, придавали возвратно-поступательное движение с заданной частотой и средней скоростью 40 мм/с. В качестве контробразца использовали шарик диаметром 6 мм, изготовленный из стали *100Cr6*, который жестко закреплялся в торце цилиндрического штифта (индентора).

В процессе испытаний непрерывно измеряли коэффициент трения μ и глубину внедрения шарика в исследуемый образец h .

Для проведения исследования были изготовлены два призматических образца с размерами 30х30х7 мм из чугуна СЧ25. На один из образцов было нанесено ХГДН-покрытие на основе порошка А-10-01 (содержит 15% Al_2O_3) при помощи установки «Димет-403» на режиме «3-3» [9].

Пористость покрытия, согласно результатам исследования, составляла не более 2% [10].

Образец с покрытием из порошка алюминия был обработан МДО. Режимы МДО привели в таблице 1. Неравномерность толщины покрытия была вызвана неравномерностью распределения электромагнитного поля при микродуговом окислении.

Таблица 1		Table 1	
Характеристики режима МДО / Parameters of the MAO mode			
Концентрация компонентов, г/л		Длительность МДО, мин	Плотность тока, А/дм ²
Na ₂ SiO ₃	КОН	100	20
6-8	2		

На рабочих сторонах обоих образцов после механической обработки были получены поверхности с шероховатостью до Ra 0,32 мкм, что соответствует требованиям к рабочим поверхностям гильз цилиндров в соответствии с ГОСТ Р 53809-2010 «Двигатели автомобильные. Гильзы цилиндров.

Технические требования и методы испытаний». Шероховатость определяли с помощью профило-

метра Surtronic 25 ml 12/3522-01.

Результаты и обсуждение. На первом этапе испытаний образцы прирабатывались при ступенчатом повышении нагрузки P . Длительность ступеней нагружения выбирали с учетом стабилизации коэффициента трения, составлявшей не менее 5 мин. В течение испытаний непрерывно фиксировали на диаграмме коэффициент трения μ и глубину дорожки трения h (рис. 2, 3). Обработка диаграммы позволила построить зависимость изменения коэффициента трения $\Delta\mu$ от нагрузки P (рис. 4).

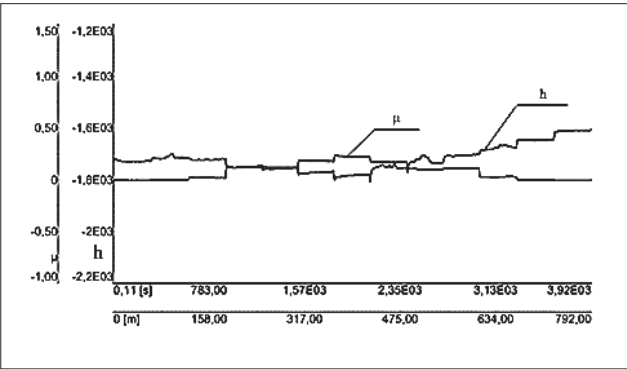


Рис. 2. Коэффициент трения в процессе испытания на прирабатываемость образца из чугуна

Fig. 2. Friction in the test for the running-in ability of a cast iron sample

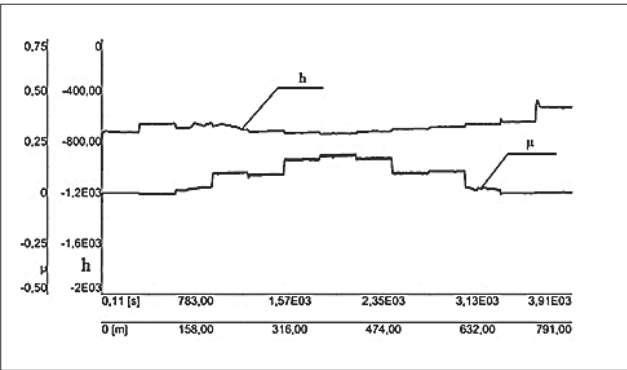


Рис. 3. Коэффициент трения в процессе испытания на прирабатываемость образца с комбинированным покрытием

Fig. 3. Friction in the testing the running-in ability of a sample with a combined coating

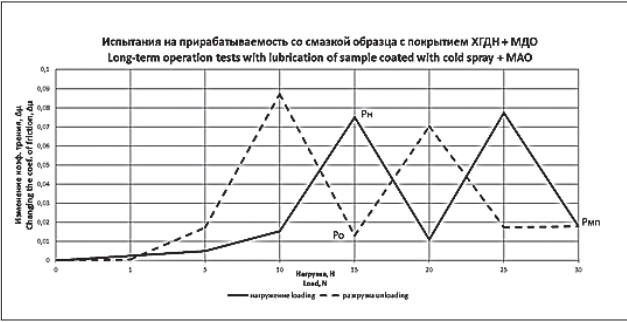
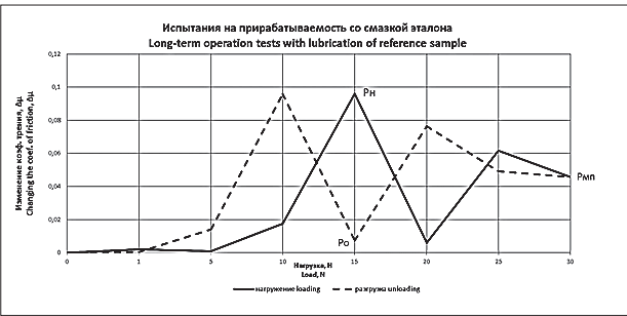


Рис. 4. Графики зависимости изменения коэффициента трения $\Delta\mu$ от нагрузки P

Fig. 4. Dependence of the change in the friction coefficient $\Delta\mu$ on the load P

По полученным графикам в соответствии с ГОСТ 23.224-86 определяли следующие параметры:

$P_{МП}$ – максимальное значение нагрузки для приработанной пары трения, H ;

P_H – максимальное значение нагрузки для неприработанной пары трения, H ;

P_O – оптимальное значение нагрузки при минимальном коэффициенте трения, выбранное для проведения испытаний на износ, H ;

f_{min} – значение коэффициента трения, соответствующее P_O .

Значения нагрузок для каждого из образцов приведены в таблице 2.

Таблица 2				Table 2		
Результаты испытаний на прирабатываемость						
The results of the running-in ability tests						
Материал образца	Материал контр- образца	Смазывание	Нагрузка (опт.)	Показатели рабо- тоспособности, H		
				P_n	P_o	P_{mn}
Чугун СЧ25	100Cr6	Капельное, масло 5W40	15	15	15	30
Комбини- рованное покрытие			15	15	15	30

Испытания на износ проводили при нагрузке P_O до накопления износа, определяемого методом взвешивания, до прохождения индентором по образцу пути трения $L = 1152$ м. В процессе испытания непрерывно фиксировали коэффициент трения μ и глубину дорожки h .

Коэффициент прирабатываемости определяли по формуле:

$$\Pi = \frac{P_{MH} - P_H}{f_{min} P_O} \quad (1)$$

Интенсивность изнашивания исследуемых соединений вычисляли по формуле:

$$I = W/L, \quad (2)$$

где W – линейный износ образца, м; L – путь трения образца, соответствующий износу W , м.

$$L = N \cdot l,$$

где l – линейный размер поверхности трения сопряженного образца в направлении скольжения, м; N – число циклов, за каждый из которых поверхности трения образца проходят путь l .

Износ определяли взвешиванием по формуле:

$$W = \frac{\Delta G}{F_c}, \quad (3)$$

где ΔG – изменение массы контробразца при испытании, кг; F_c – контурная площадь контакта образцов, м².

Взвешивание образцов и контробразцов до и после испытания осуществляли на аналитических весах ВЛР-200 и заносили в протокол.

Интенсивность изнашивания пары в целом I_Σ определяли как сумму интенсивностей изнашивания элементов сопрягаемой пары трения. Сравнительную оценку интенсивности изнашивания сопряжений проводили по показателю фактора износа:

$$\Phi = \frac{I_\Sigma}{P_0}. \quad (4)$$

Результаты испытаний на износостойкость по элементам исследуемых сопряжений привели в таблице 3.

Таблица 3 Результаты испытаний на износостойкость Results of wear resistance tests						
Наименование образца	Износ образца, г	Износ индентора, г	P, H	Коэф. трения, μ_0	Коэф. прираб., P	Фактор износа суммарный Φ_Σ, H^{-1}
Эталон чугун №1	0,0002	$1,3 \cdot 10^{-6}$	15	0,018	55,56	$1,55 \cdot 10^{-9}$
Образец с МДО №1	0	$1,5 \cdot 10^{-6}$	15	0,01	100	$1,13 \cdot 10^{-11}$
Эталон чугун №2	0,0002	$1,1 \cdot 10^{-6}$	15	0,018	55,56	$1,55 \cdot 10^{-9}$
Образец с МДО №2	0	$4,8 \cdot 10^{-6}$	15	0,024	41,67	$3,60 \cdot 10^{-11}$
Эталон чугун №3	0,002	$3,1 \cdot 10^{-6}$	15	0,018	55,56	$1,55 \cdot 10^{-8}$
Образец с МДО №3	0	$2,08 \cdot 10^{-6}$	15	0,02	50	$1,54 \cdot 10^{-10}$

Износостойкость покрытия с сочетанием технологий ХГДН и МДО превосходит износостойкость эталонного образца материала гильз цилиндров (чугуна СЧ25) не менее чем в два раза. Комбинированное покрытие способно работать в нормальных условиях при нагрузке эквивалентной нагрузке на чугун. Хорошие характеристики износостойкости го-

ворят о пригодности применения комбинированного покрытия для восстановления гильз цилиндров.

Выводы. Результаты проведенных исследований показали, что применение технологии холодного газодинамического напыления с последующим микродуговым оксидированием для восстановления и упрочнения чугунных гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания обеспечивает повышение их износостойкости более чем в два раза в сравнении с эталонным (новым) изделием.

Библиографический список

1. Каримходжаев Н., Алматаев Т., Одилов Х. Основные причины, вызывающие износ деталей автотранспортных средств, эксплуатирующихся в различных природно-климатических условиях // *Universum: технические науки*. 2020. N5(74). С. 68-71.
2. Песковацков Д. Н. Анализ способов восстановления внутренней поверхности гильз цилиндров // *Наука без границ*. 2017. N12(17). С. 55-59.
3. Федотов А.В., Дорохов А.С., Гвоздев А.А. Трибо-технические материалы для технического обслуживания сельскохозяйственной техники // *Технический сервис машин*. 2022. Т. 60. N4(149). С. 37-45. DOI: 10.22-314/2618-8287-2022-60-4-37-45.
4. Баганов Н.А., Павлюк Р.В., Захарин А.В. и др. Совершенствование технологии и оснастки повышения качества ремонта гильз цилиндров автотракторных двигателей // *Технический сервис машин*. 2021. Т. 59. N4(145). С. 95-102. DOI: 10.22314/2618-8287-2021-59-4-95-102.
5. Чавдаров А.В., Толкачев А.А. Применение холодного газодинамического напыления (ХГДН) для нанесения покрытий на внутреннюю поверхность малых диаметров // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2019. N10. С. 30-36. EDN: ONBIZB.
6. Чавдаров А.В. Перспективы использования технологии МДО для двигателей внутреннего сгорания // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2019. N10. С. 65-68. EDN: MTZHTB.
7. Комаров А.И., Романюк А.С., Золотая П.С. и др. Повышение гидроабразивной стойкости изделий совмещением методов холодного газодинамического напыления и микродугового оксидирования // *Актуальные вопросы машиноведения*. 2019. Т. 8. С. 343-347. EDN: LUKZUR.
8. Попов Н.А., Чавдаров А.В. Исследование свойств комбинированного покрытия для восстановления изношенных гильз цилиндров // *Технический сервис машин*. 2023. Т. 61. N1(150). С. 130-139. DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-1-130-139.
9. Комаров А.И., Горанский Г.Г. Упрочнение стальных изделий микродуговым оксидированием с исполь-

зованием алюминиевого подслоя, полученного холодным газодинамическим напылением // *Механика машин, механизмов и материалов*. 2018. N3. С. 75-82.

10. Кузнецов Ю.А., Марков М.А., Красиков А. В. и др. Формирование износостойких и коррозионностойких керамических покрытий комбинированными технологиями напыления и микродугового оксидирования // *Журнал прикладной химии*. 2019. Т. 92. N7. С. 819-826. DOI: 10.1134/S0044461819070016.

References

1. Karimxodjayev N., Almatayev T., Odilov X. Main factors causing the deterioration of automobile parts which are used in various natural-climate conditions. *Universum: technical sciences*. 2020. N5(74). 68-71 (In Russian).

2. Peskovatskov D.N. Analysis of ways to restore the inner surface of cylinder liners. *Science without borders*. 2017. N12(17). 55-59 (In Russian).

3. Fedotov A.V., Dorokhov A.S., Gvozdev A.A. Tribotechnical materials for the maintenance of agricultural machinery. *Machinery technical service*. 2022. Vol. 60. N4(149). 37-45 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-4-37-45.

4. Baganov N.A., Pavlyuk R.V., Zakharin A.V., et al. Improvement of technology and equipment for improving the repair quality of cylinder liners of automotive engines. *Machinery technical service*. 2021. Vol. 59. N4(145). 95-102 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2021-59-4-95-102.

5. Chavdarov A.V., Tolkachev A.A. The use of cold gas dynamic spraying (CGDN) for coating the inner surface of small diameters. *Agricultural machinery: maintenance and repair*. 2019. N10. 30-36 (In Russian). EDN: ONBIZB.

6. Chavdarov A.V. Prospects of using MDO technology for internal combustion engines. *Agricultural machinery: maintenance and repair*. 2019. N10. 65-68 (In Russian). EDN: MTZHTB.

7. Komarov A.I., Romanyuk A.S., Zolotaya P.S., et al. Increase of hydraulic formation of products by combination of methods of gas dynamic cold spraying and microarc oxidation. *Topical issues of mechanical engineering*. 2019. Vol. 8. 343-347 (In Russian). EDN: LUKZUR.

8. Popov N.A., Chavdarov A.V. Properties of the combined coating for the restoration of worn cylinder liners. *Machinery technical service*. 2023. Vol. 61. N1(150). 130-139 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-1-130-139.

9. Komarov A.I., Goransky G.G. Hardening of steel products by micro-arc oxidation using an aluminum sublayer obtained by cold gas-dynamic spraying. *Mechanics of machines, mechanisms and materials*. 2018. N3. 75-82 (In Russian).

10. Kuznetsov Yu.A., Markov M.A., Krasikov A.V., et al.

Formation of wear-and corrosion-resistant ceramic coatings by combined technologies of spraying and micro-arc oxidation. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 2019. Vol. 92. N7. 819-826 (In Russian). DOI: 10.1134/S00444618190716.

Заявленный вклад соавторов

Денисов В.А. – научное руководство, анализ результатов исследования; Попов Н.А. – подготовка текста, проведение исследований.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Contributions of the coauthors

Denisov P.A. – scientific guidance, analysis of research results;

Popov N.A. – preparation of the manuscript, conducting research.

All the authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 14.12.2023

Статья принята к публикации 21.02.2024