

УДК 620.178.16:620.198:621.771.06

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАЗМЕННЫМ СЕЛЕКТИВНЫМ ПРИПЕКАНИЕМ ПОРОШКОВ НА МАШИНЕ ТРЕНИЯ СМЦ-2<sup>1</sup>

© С. П. Нефедьев<sup>2</sup>, М. В. Харченко<sup>2</sup>, Р. Р. Дема<sup>2</sup>,  
А. Н. Шаповалов<sup>3</sup>, К. Н. Вдовин<sup>2</sup>

Статья поступила 24 апреля 2017 г.

Для повышения износостойкости деталей машин используют множество способов, направленных на упрочнение материала: термическое упрочнение, поверхностное пластическое деформирование, легирование материала заготовки, дополнительную механическую обработку, нанесение специальных износостойких покрытий на поверхность детали при ее изготовлении или восстановлении. Основные методы определения износостойкости полученных или восстановленных деталей машин в настоящий момент стандартизованы: «Метод испытаний машиностроительных материалов на ударно-абразивное изнашивание» (ГОСТ 23.207–79), «Метод испытаний материалов на износостойкость при трении о нежестко закрепленные абразивные частицы» (ГОСТ 23.208–79), «Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине» (ГОСТ 9490–75). Кроме того, известны методы [1–3], которые дают лишь приближенный результат и удобны в тех случаях, когда происходит взаимодействие материала детали непосредственно с абразивом (зуб ковша экскаватора, лемех плуга и т.д.) или со смазочным материалом. Их недостатком является отсутствие возможности воспроизводства реальных условий эксплуатации фрикционной пары тяжело нагруженного узла трения.

**Ключевые слова:** износостойкость покрытий; порошковые материалы; плазменное припекание; машина трения.

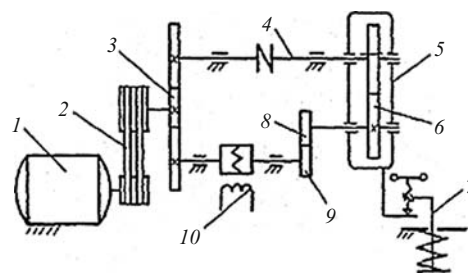
В данной работе представлена методика экспериментального определения износостойкости как восстановленных деталей методами плазменного селективного припекания металлическими порошками, так и деталей с нанесенными износостойкими покрытиями с помощью универсального трибометра СМЦ-2. Технические характеристики машины СМЦ-2 приведены ниже.

Частота вращения нижнего образца, с<sup>-1</sup>. . . . . 5,0; 8,33; 16,7  
 Диапазон измерения момента трения, Нм . . . . . 1,5 – 15,0  
 Нагрузка на образцы, кН . . . . . 0,2 – 2,0  
 Мощность, потребляемая, кВт . . . . . 2,2  
 Масса машины, кг . . . . . 500

Машина трения СМЦ-2 состоит из механической части, а также электронного блока управления и контроля (см. рисунок). Основными узлами механической части являются электродвигатель 1, ременная пе-

редача 2, редуктор 3, муфта 4, откидная каретка 5, зубчатая передача 6, механизм нагружения 7, индуктивный датчик момента трения 10. На валах редуктора и зубчатой передачи установлены образец 8 и контртелло 9. В блок управления и контроля входят кнопки «ПУСК» и «СТОП», электрический счетчик числа циклов и цифровой блок, регистрирующий изменения момента трения и температуры в зоне контакта в процессе испытаний.

Внешняя нагрузка создается с помощью винтового механизма нагружения. Путь трения определяли на основе снимаемых счетчиком оборотов. Момент трения в ходе эксперимента измеряли с помощью бесконтактного индуктивного датчика по скручиванию вала.



Кинематическая схема машины трения СМЦ-2

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по проекту № 11.2054.2017/4.6 в рамках государственного задания на 2017 – 2019 гг.

<sup>2</sup> Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия; e-mail: kharchenko.mv@bk.ru

<sup>3</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Новотроицкий филиал, г. Новотроицк, Россия.

Температурные условия взаимодействия пары трения определяли контактным (с помощью термодпары) и бесконтактным (пирометром) способами, а значения момента трения и температуры регистрировали с помощью электронно-вычислительного блока. В данный блок входят устройство оцифровки входящих сигналов и устройство вывода и обработки информации (ЭВМ). Цифровой блок регистрирует четыре измерения в секунду. Погрешность измерения моментометра составляет 0,5 % (0,015 Н·м), термодпары и пирометра —  $\pm 1$  °С.

При реализации методики необходимо соблюдать требования, предъявляемые к образцам, оборудованию, проведению исследований.

1. Образцы следует изготавливать из одной заготовки, обеспечивая единство геометрических параметров для конкретного исследуемого процесса. Технология нанесения покрытия на образцы с одинаковыми технологическими условиями эксплуатации должна обеспечивать его однородность по химическому составу, а также равномерность толщины наносимого слоя.

2. Оборудование для проведения испытаний на износостойкость покрытий, полученных плазменным селективным припеканием порошков, должно создавать различные условия контактного взаимодействия — режимы нагружения, взаимного проскальзывания (качение, скольжение, качение с проскальзыванием), скоростные параметры, позволять определять микротвердость и микроструктуру образцов до и после испытаний.

3. Необходимо, чтобы исследования обеспечивали получение достоверных значений исследуемых параметров.

Условия реализации экспериментов следующие:

диаметр верхних роликов — 45 мм;

диаметр нижних (ненаплавленных) роликов — не менее 35 мм;

ширина верхнего и нижнего роликов зависит от условий контактного взаимодействия фрикционной пары тяжело нагруженного узла в реальных условиях; число оборотов нижнего ролика — 300, 500, 1000 об/мин;

верхний ролик — холостой;

внешняя нагрузка — 300 – 900 Н;

материал эталонных роликов — сталь 45 (ГОСТ 1050–88);

материал роликов с покрытием: сердцевина — сталь 45 (ГОСТ 1050–88), поверхностный слой — азотсодержащий сормайт 240X17Г19АС [4, 5], нанесенный с помощью плазменного припекания.

Перед каждым испытанием образцы взвешивали на аналитических весах с точностью до  $1 \cdot 10^{-4}$  г, измеряли их микротвердость с помощью микротвердомера ПМТ-3М и исследовали микроструктуру с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Основные этапы проведения экспериментов:

1) запуск электродвигателя лабораторной установки;

2) работа лабораторной установки на холостом ходу (без приложенной внешней нагрузки) — происходит вращение только нижнего (приводного) ролика с износостойким покрытием;

3) прижатие верхнего ролика, создающее предварительную нагрузку, равную 100 Н;

4) приложение внешней нагрузки.

В процессе экспериментального исследования контролировали следующие параметры:

момент трения  $M_{тр}$ ;

путь трения — через счетчик оборотов исследуемого образца с возможностью задания предельного значения;

время проведения испытания;

температуру;

износ (весовым методом);

параметры шероховатости;

микротвердость (с помощью микротвердомеров);

микроструктуру (с помощью сканирующих микроскопов).

Коэффициент трения во фрикционном контакте лабораторной установки рассчитывали по формуле [2]

$$f = \frac{2M_{тр}}{d_2 P},$$

где  $M_{тр}$  — момент трения, Нм;  $d_2$  — диаметр нижнего ролика, мм;  $P$  — нагрузка трибосопряжения, Н.

Разработанная методика позволяет исследовать износостойкость поверхностных слоев, полученных различными способами упрочнения, как в условиях установившегося режима трения, так и в момент разгона (ускорения) и торможения фрикционной пары. Разгон и торможение машины происходят с помощью вводимого оператором времени выхода машины на заданную характеристику. Кроме того, методика дает возможность определения наиболее эффективной технологии нанесения покрытий с точки зрения наименьших потерь на трение при эксплуатации.

На основе представленной методики были проведены три серии экспериментов по восемь опытов в каждом. Усредненные результаты этих экспериментов представлены в таблице.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что нанесенное с помощью плазменного припекания металлическое покрытие на железной основе способствует снижению момента трения. Причем максимальное снижение момента трения (как и коэффициента трения) наблюдается при высоких значениях внешней нагрузки (850 Н) и малых скоростях вращения (500 об/мин). При повышении скорости вращения роликов в два раза (до 1000 об/мин) момент трения увеличивается лишь на небольшое значение (в данном

## Результаты проведенных исследований

Номер опыта	Нагрузка, Н	Количество оборотов, об/мин	Наличие покрытия	Момент трения, Н · м	Коэффициент трения	Износ, г
1	290	500	Да	0,98	0,19	0,8767
2	850	500	Да	1,01	0,06	0,6859
3	290	1000	Да	1,33	0,26	1,2691
4	850	1000	Да	1,52	0,10	1,4217
5	290	500	Нет	1,13	0,22	1,1146
6	850	500	Нет	1,39	0,09	0,7928
7	290	1000	Нет	1,50	0,29	1,5362
8	850	1000	Нет	1,77	0,12	1,8401

случае на 0,51 Н · м). Представленные результаты отчасти можно описать действием нормальных и касательных составляющих сил трения, на которые влияет приложенная извне сила. Однако использовать данное предположение без учета свойств сформированного покрытия, а также возможных фазовых превращений в процессе контактного взаимодействия однозначно нельзя. Поэтому в настоящее время исследования антифрикционных свойств материалов с нанесенными методом плазменного припекания порошковыми покрытиями продолжаются.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Перепелкина С. Ю., Коваленко П. П., Печенко Р. В., Нуждин К. А. Методика исследования трибологических характеристик материалов на машине трения / Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59. № 8. С. 636 – 640.
2. Абрамов А. Н., Харченко М. В., Дема Р. Р., Пельмская И. С., Харченко А. А. Исследование влияния различных режимов смазывания валков стана горячей прокатки на межвалковый момент трения с помощью физического моделирования процесса на лабораторной установке / Производство проката. 2016. № 12. С. 8 – 12.
3. Абрамов А. Н., Харченко М. В., Дема Р. Р. Исследование условий формирования адсорбционного монослоя в линейном фрикционном контакте на поверхностях трения с использованием безабразивного смазочного материала / Изв. вузов. Машиностроение. 2017. № 2. С. 70 – 78.
4. Нефедьев С. П., Дема Р. Р., Котенко Д. А. Абразивная и ударно-абразивная износостойкость твердых наплавленных покрытий / Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Металлургия. 2015. Т. 15. № 1. С. 103 – 106.
5. Nefedyev S. P., Vdovin K. N., Emelyushin A. N. Peculiarities of forming of the wear resistant cast iron coating structure on steel 45 upon plasma-powder surfacing / Materials Science Forum. 2016. Vol. 870. P. 141 – 148.

UDC 620.178.16:620.198:621.771.06

## A TECHNIQUE FOR EXPERIMENTAL STUDY OF THE WEAR RESISTANCE OF COATINGS OBTAINED BY PLASMA SELECTIVE BAKING OF POWDERS ON A SMTs-2 FRICTION MACHINE

© S. P. Nefedyev, M. V. Kharchenko, R. R. Dema, A. N. Shapovalov, and K. N. Vdovin

*Submitted April 24, 2017.*

A technique for determination of the wear resistance of the surface layers of rubbing frictional pair is presented. The layers were obtained by different methods of hardening, including coatings applied by the plasma bake on procedures both in conditions of the steady-state friction and upon of acceleration or deceleration of the frictional pair. The method is based on determination of the wear and antifricition properties of cylindrical disc-type specimens, one of them is the reference one, and the other is hardened under conditions of rolling and sliding friction at a normal temperature. The error of measuring the friction coefficient is 0.5%. To increase the wear resistance of the machine parts, a large number of methods aimed at strengthening the material are used: thermal hardening, surface-plastic deformation, alloying of the workpiece material, additional machining, depositing of special, wear-resistant coatings on the surface of the part upon manufacturing or reconditioning. Experimental studies of the wear resistance of the coatings recovered by plasma selective baking demonstrated that the developed technique is advantageous for high accuracy and can be successfully used for evaluation of the quality of coatings.

**Keywords:** wear resistance of coatings; powder materials; plasma baking; friction machine.

## REFERENCES

1. **Perepelkina S. Yu., Kovalenko P. P., Pechenko R. V., Nuzhdin K. A.** Method for investigating the tribological characteristics of materials on a friction machine / *Izv. Vuzov. Pribostr.* 2016. Vol. 59. No. 8. P. 636 – 640 [in Russian].
2. **Abramov A. N., Kharchenko M. V., Dema R. R., Pelymskaya I. S., Kharchenko A. A.** Investigation of the influence of different modes of lubrication of rolls of a hot rolling mill on the inter-roll friction moment by means of physical modeling of the process on a laboratory installation / *Proizvod. Prokata.* 2016. No. 12. P. 8 – 12 [in Russian].
3. **Abramov A. N., Kharchenko M. V., Dema R. R.** Investigation of the formation conditions of an adsorption monolayer in linear frictional contact on friction surfaces using an abrasive lubricant / *Izv. Vuzov. Mashinostr.* 2017. No. 2. P. 70 – 78 [in Russian].
4. **Nefed'ev S. P., Dema R. R., Kotenko D. A.** Abrasive and shock-abrasive wear resistance of deposited hard coatings / *Vestn. Yuzh.-Ural. Gos. Univ. Ser. Metallurg.* 2015. Vol. 15. No. 1. P. 103 – 106 [in Russian].
5. **Nefedyev S. P., Vdovin K. N., Emelyushin A. N.** Peculiarities of forming of the wear resistant cast iron coating structure on steel 45 upon plasma-powder surfacing / *Materials Science Forum.* 2016. Vol. 870. P. 141 – 148.