

УДК 621.791.92 : 621.81

Миранович А.В., кандидат технических наук, доцент;

Щурский Д.С., студент

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

***Аннотация.** Проведены исследования влияние параметров комбинированной обработки на износостойкость покрытий в условиях трения скольжения и трения качения. Установлено, что обработка магнитно-электрическим упрочнением с электромеханической обработкой поверхностей детали машин позволяет повысить их износостойкость в 1,7 – 2,2 раза.*

Долговечность деталей современной сельскохозяйственной техники существенно зависят от работоспособности и срока службы узлов трения различных систем и механизмов. Процессы разрушения деталей машин преимущественно начинаются с их рабочих поверхностей, которые подвергаются изнашиванию и коррозии [1, 2]. При этом надежность трибосистем определяется в основном износостойкостью подвижно сопряженных деталей, которая зависит главным образом от структуры, физико-механических свойств материалов и параметров шероховатости поверхностных слоев этих деталей [3, 4]. В связи с этим повышение износостойкости деталей трибосистемы является актуальной задачей ремонтного и машиностроительного производств.

В последнее время одним из путей повышения износостойкости деталей узлов трения являются технологии получения высокопрочных покрытий высокоэнергетической обработкой [2, 5]. К ним относится и магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ) композиционными ферромагнитными порошками (ФМП) деталей машин. При этом МЭУ обладает такими достоинствами, как отсутствие специальной предварительной подготовки поверхности детали, незначительная зона термического влияния и высокая прочность сцепления

покрытия с основным материалом детали [5, 6]. Тем не менее, в процессе МЭУ металлических поверхностей возможно образование таких дефектов, как разнотолщинность и пористость наносимых покрытий, присутствие в них микротрещин, окисных и других неметаллических включений [6, 7]. Для устранения указанных недостатков были проведены исследования, в результате которых разработана и изготовлена установка модели УНП-1 с магнитной системой на основе постоянных магнитов и сварочного инвертора, обеспечивающая стабилизированные во времени технологические параметры режима упрочнения поверхностных слоев деталей [7, 8]. Вместе с тем, при МЭУ в постоянном магнитном поле незначительно улучшаются параметры шероховатости обрабатываемой поверхности, что существенно снижает износостойкость упрочненных поверхностных слоев и ограничивает область применения способа МЭУ. Поэтому одним из перспективных направлений упрочнения металлических поверхностей является обработка комбинированными способами – последовательным проведением совмещенных в одной технологической схеме МЭУ с поверхностным пластическим деформированием (ППД) или с электромеханической обработкой (ЭМО).

Цель исследований – исследовать влияния стабилизированных технологических параметров различных комбинированных способов на износостойкость покрытий, выполнить сравнительный анализ износостойкости поверхностных слоев в условиях трения скольжения и качения.

Исследования проводились на цилиндрических образцах из стали 45 с покрытиями из ФМП Fe-5%V (ГОСТ 9849-86) и ФБХ-6-2 (ГОСТ 11546-75), полученными МЭУ с ППД, а также МЭУ и электромеханической обработкой. Обработка поверхностей выполнялась на установке для комбинированной обработки модели УМЭУ-1 в последовательности: МЭУ, накатывание роликовым электродоминструментом без подвода при ППД и с подводом технологического тока при ЭМО. Технологические режимы обработки были выбраны согласно рекомендациям [7] и варьировались в зависимости от материала используемого ФМП в следующих пределах: для МЭУ – плотность разрядного тока i (1,9– А/мм²), расход композиционного порошка q (0,32–0,39 г/с·мм²), окружная скорость заготовки V (0,05–0,07 м/с), магнитная индукция в рабочем зазоре B (0,7 Тл), скорость подачи S (0,18–0,22 мм/об), расход рабочей жидкости q (2,86–2,95·10⁻³ дм³/(с·мм²);

для ППД – усилие накатывания электродом-инструментом P_d (0,5–1,0 кН); для ЭМО – плотность технологического тока i_3 (100–110 А/м²), напряжение U_3 (2 – 6 В), усилие накатывания электродом-инструментом P_3 (0,25–0,75 кН). Триботехнические испытания упрочненных образцов проводились в условиях изнашивания со смазочным материалом и смазочным материалом с частицами абразива при трении скольжения и трении качения с 10 %-м проскальзыванием на машине трения модели 2070 СМТ-1 по схемам «диск-колодка» (контртело из чугуна ХТВ ГОСТ 3185-74, смазочный материал – масло промышленное И-Г-А-32 ГОСТ 14479.4-87) и «диск-диск» (контртело из стали ШХ15 ГОСТ 801-78, закаленное до твердости 60 – 62 HRC, смазочный материал – трансмиссионное масло ТМ-3-18 (ТАП-15В) ГОСТ 23652-79). Эталон – образец из стали 45, закаленный до твердости 52 – 54 HRC. Величины износа образцов с покрытиями и эталона определялись оптическим микромером ИЗВ-1.

Образцы после нанесения покрытий шлифовались на станке модели ЗБ12 до шероховатости поверхности $Ra = 0,63$ мкм. Затем они прирабатывались с колодкой. Окончание приработки определяли по стабилизации величины момента трения пары.

В результате проведенных экспериментов с применением ортогонального планирования получены математико-статистические модели, устанавливающие зависимости интенсивности изнашивания упрочненных поверхностных слоев из ФМП Fe-5%V и ФБХ-6-2 в условиях изнашивания при трении качения с проскальзыванием со смазочным материалом и смазочным материалом с частицами абразива от параметров, характеризующих условия работы деталей трансмиссий автотракторной техники: нагрузка на образец P (0,5–2,5 кН), температура масла t_m (25–90°C), концентрация абразивных частиц в масле K_a (0,05–0,25 г/см³), относительная скорость качения V_k (0,5–3,0 м/с) [5, 7].

Выявлено, что износ имеет нелинейный характер, увеличение концентрации абразивных примесей в масле приводит к росту интенсивности изнашивания покрытий по зависимости близкой к линейной. При трении со смазкой, загрязненной частицами абразива, интенсивность изнашивания возрастает при нижней величине нагрузки 0,5–0,75 кН. При этом наблюдается процесс разрушения трущихся поверхностей, сопровождающийся резким увеличением интенсивности тепловыделения и износа образцов. Это обстоятельство, вероятно, связано с влиянием выкрошившихся боридных частиц покрытий и продуктов износа, попавших в зону трения. В связи с этим

необходимо исключить попадание абразивных частиц в масло в условиях эксплуатации таких узлов трения, как «шейка вала - ролики».

Установлено, что по степени влияния на интенсивность изнашивания I упрочненных поверхностей параметры можно расположить в ряд при трении качения с проскальзыванием со смазочным материалом: $Y_1 = I: P \rightarrow t_m \rightarrow V_k$ и в ряд – при трении качения с проскальзыванием со смазочным материалом с частицами абразива: $Y_2 = I: K_q \rightarrow P \rightarrow t_m \rightarrow V_k$. При этом установлено, что относительная скорость трения качения V_k не оказывает существенного влияния на интенсивность изнашивания поверхностей образцов, а интенсивность изнашивания поверхностных слоев из ФМП Fe-5%V в 1,5 – 2,1 раза ниже, чем для поверхностей из порошка ФБХ-6-2. Это можно объяснить повышенным содержанием метастабильного аустенита, приводящим к увеличению пластичности основы упрочненного слоя. С применением графоаналитического метода двумерных сечений для принятых условий изнашивания определена рациональная область работы исследуемых трибосопрежений при трении качения с проскальзыванием со смазочным материалом: $P = 0,5 - 1,0$ кН и $t_m = 25 - 45$ °С; при трении качения с проскальзыванием со смазочным материалом с частицами абразива: $P = 0,5 - 0,8$ кН, $t_m = 25 - 40$ °С, $K_q = 0,05$ г/см³.

В результате исследований износостойкости поверхностей образцов, полученных МЭУ с ППД и МЭУ с ЭМО (таблица), установлено, что по сравнению со сталью 45, закаленной до твердости 52 – 54 HRC, наибольшей износостойкостью при трении качения с проскальзыванием обладают покрытия из ФМП Fe-5%V (превышает образец в 1,7 – 2,2 раза), а при трении скольжения – покрытия из ФМП ФБХ-6-2 (превышает образец в 1,7–1,9 раза).

Таблица – Результаты триботехнических испытаний

| Материал ФМП | Относительная износостойкость упрочненного поверхностного слоя | |
|--------------|--|--------------------|
| | при трении скольжения | при трении качения |
| МЭУ с ППД | | |
| Fe-5%V | 1,58 | 1,70 |
| ФБХ-6-2 | 1,70 | 1,62 |
| МЭУ с ЭМО | | |
| Fe-5%V | 1,74 | 2,21 |
| ФБХ-6-2 | 1,91 | 2,03 |

Список использованных источников

1. Черноиванов, В.И. Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы). – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 376 с.
2. Алимбаева, Б.Ш. Формирование упрочненных поверхностных слоев методом электроискрового легирования в различных технологических условиях / Б.Ш. Алимбаева, Д.Н. Коротаев, М.Ю. Байбарацкая // Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика: в 2-х ч. Часть 2: Материалы 15-й Междунар. науч.-практ. конф. – Санкт-Петербург. – 2013. – С. 20-23.
3. Восстановление деталей машин : справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.] ; под ред. В.П. Иванова. – М. : Машиностроение, 2003. – 672 с.
4. Обработка упрочненных поверхностей в машиностроении и ремонтном производстве : учеб. пособие / С.И. Богодухов [и др.]. – М : Машиностроение, 2005. – 256 с.
5. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк: ПГУ, 1999. – 240 с.
6. Обработка заготовок деталей машин: учеб. пособие / Миранович А.В. [и др.]; под ред. Мрочка Ж.А. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. – 172 с.
7. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.
8. Акулович, Л.М. Исследование влияния стабилизированных параметров электромагнитной наплавки на износостойкость покрытий / Л.М. Акулович, А.В. Миранович // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. / ФТИ НАН Беларуси ; редкол. : С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск , 2014. – Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. – С. 17–29.

Abstract. The influence of the parameters of the combined treatment on the wear resistance of coatings under conditions of sliding friction and rolling friction has been studied. It has been established that the treatment by magnetic-electric hardening with the electromechanical treatment of the surfaces of the machine parts makes it possible to increase their wear resistance 1,7 – 2,2 times.