

ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

*Студенты – Алексеенко А.С., 32 тс, 4 курс, ФТС;
Щурский Д.С., 29 тс, 5 курс, ФТС*

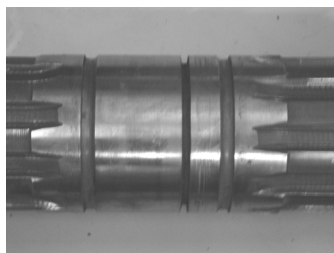
*Научный
руководитель – Миранович А.В., к.т.н., доцент
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В работе изучено влияние параметров комбинированной электрофизической обработки на износостойкость покрытий в условиях трения качения.

Ключевые слова: автотракторная техника, рабочая поверхность, комбинированная обработка, покрытие, износостойкость.

Для упрочнения и восстановления деталей автотракторной техники в условиях ремонтных предприятий применяются современные технологии, основанные на использовании концентрированных потоков энергии [1, 2]. К ним относится магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ) композиционными ферромагнитными порошками (ФМП). При этом различными способами МЭУ наряду с их достоинствами [2, 3] характерны следующие недостатки [3, 4]: разнотолщинность и пористость покрытий, присутствие в них микротрещин и окислых включений, шероховатость обработанной поверхности. В соответствии с этим МЭУ применяют для обработки посадочных поверхностей деталей типа «тело вращения» под слабо- и средненагруженные подшипники скольжения.

Вместе с тем, известны детали, у которых рабочие поверхности находятся в контакте с роликоподшипниками. Например, вторичный вал коробки перемены передач автомобиля КаМАЗ – 5320 (рисунок 1, а) и первичный вал коробки перемены передач трактора К-701 (рисунок 1, б), у которых триботехническая система «ролики шестерни передачи – шейка вала» работает в условиях трения качения со смазкой и смазкой, загрязненной частицами абразива. Износ рабочих поверхностей валов происходит в результате усталостных и коррозионных повреждений и составляет 0,05–0,10 мм. Характерными повреждениями контактирующих деталей являются: ямки, раковины, местное отслаивание или выкрашивание поверхностных слоев на роликах, а также уменьшение диаметра шейки вала и появление углублений в виде дорожек качения.



а – вал вторичный коробки перемены передач автомобиля КаМАЗ - 53212;
б – вал первичный коробки перемены передач трактора К-701
Рисунок 1 – Фотографии изношенных посадочных поверхностей деталей
автотракторной техники

Для устранения указанных недостатков и повышения износостойкости поверхностных слоев в условиях трения качения проведены исследования возможности их обработки комбинированным способом – последовательным проведением МЭУ и поверхностного пластического деформирования (ППД), совмещенных в одной технологической схеме.

Цель исследований – изучить влияние технологических параметров комбинированной электрофизической обработки на износостойкость упрочненных поверхностей, в условиях трения 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. Обработка поверхностей выполнялась на установке модели УМЭУ-1 в последовательности: МЭУ с последующим накатыванием роликовым электродом-инструментом без подвода технологического тока при ППД. Технологические режимы обработки были выбраны согласно рекомендациям [1, 2]. Триботехнические испытания упрочненных образцов проводились в условиях изнашивания со смазочным материалом и смазочным материалом с частицами абразива при трении качения с 10 %-м проскальзыванием на машине трения модели 2070 СМТ-1 по схеме «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 микрометром ИЗВ-1.

Для обеспечения точности и достоверности исследований на износостойкость образцы с покрытиями испытывались в условиях максимально приближенным к эксплуатационным с применением метода математического планирования эксперимента.

Режим испытаний соответствовал усредненным условиям работы деталей в реальных условиях работы узла машины, для которых характерна

относительная скорость качения V_k , 0,5–3,0 м/с; нагрузка P , задающая давление в контакте, 0,5–2,5 кН; концентрация абразивных частиц в масле K_a , 0,05–0,25 г/см³; температура масла в ванне t_m , 25–90 °С. Испытывали партии по пять образцов.

В целях сокращения числа опытов применен центральный композиционный ортогональный план (ЦКОП) второго порядка. В качестве параметра оптимизации приняли интенсивность изнашивания образцов I , а независимыми переменными – факторы P , K_a , t_m и V_k .

С учетом результатов исследований [2, 3, 5] установили условия проведения экспериментов (таблица), которые рандомизировались во времени при помощи таблицы случайных чисел.

Таблица – Условия проведения экспериментов

Уровень факторов	Факторы			
	P , кН	K_a , г/см ³	t_m , °С	V_k , м/с
	X_1	X_2	X_3	X_4
Основной (0)	1,5	0,15	60	1,75
Верхний (+1)	2,0	0,20	77,5	2,37
Нижний (-1)	1,0	0,10	42,5	1,12
Звездная точка (+ α)	2,5	0,25	90	3,0
Звездная точка (- α)	0,5	0,05	25	0,5
Интервалы варьирования: основной	0,5	0,05	17,5	0,62
по α	1,0	0,10	35	1,25

Обработка результатов экспериментов, полученных по матрице ЦКОП второго порядка, с использованием прикладных программ Mathcad и Excel пакета MS Office, работающих в среде Windows, позволили получить статистические модели (1 и 2), определяющие зависимости исследуемого параметра I покрытий, полученных ЭМН, от факторов $X_1 = P$, $X_2 = K_a$, $X_3 = t_m$ и $X_4 = V_k$.

$$\begin{aligned}
 Y_1 = I_{ФБХ-6-2} = & 1,221 - 0,815 \cdot X_1 + 5,594 \cdot X_2 - 0,039 \cdot X_3 - 0,0043 \cdot X_4^* + \\
 & + 0,119 \cdot X_1 X_2 + 1,527 \cdot X_1 X_3 - 0,0037 \cdot X_1 X_4^* - 1,129 \cdot X_2 X_3 - 0,001 \cdot X_2 X_4^* - \\
 & - 0,0019 \cdot X_3 X_4^* + 0,699 \cdot X_1^2 + 5,812 \cdot X_2^2 + 0,00051 \cdot X_3^2 + 0,0023 \cdot X_4^{2*};
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 Y_2 = I_{Fe-5\%V} = & 1,43 - 1,039 \cdot X_1 + 6,230 \cdot X_2 + 0,0007 \cdot X_3 + 0,00069 \cdot X_4^* + \\
 & + 0,578 \cdot X_1 X_2 + 1,893 \cdot X_1 X_3 - 0,0098 \cdot X_1 X_4^* - 2,317 \cdot X_2 X_3 - 0,0015 \cdot X_2 X_4^* - \\
 & - 0,00719 \cdot X_3 X_4^* + 0,915 \cdot X_1^2 + 6,959 \cdot X_2^2 + 0,00094 \cdot X_3^2 + 0,00043 \cdot X_4^{2*}.
 \end{aligned} \quad (2)$$

Выявлено, что не все коэффициенты регрессий (1 и 2) значимы с 95 %-й доверительной вероятностью по критерию Стьюдента (* – коэффициент не значим). Установлено, что модель адекватна при 5 %-м уровне значимости по критерию Фишера.

Анализ статистических моделей (1 и 2) показывает, что в принятых пределах варьирования относительная скорость трения не оказывает существенного влияния на интенсивность изнашивания образцов.

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 меньшей величине нагрузки 0,5–0,75 кН. При этом наблюдается процесс разрушения трущихся поверхностей, сопровождающийся резким увеличением интенсивности тепловыделения и износа образцов. Это 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 с уменьшением концентрации абразивных частиц в масле, влияние температуры масла в ванне на изнашивание покрытий из ФМП ФБХ-6-2, Fe-5 %V, полученных комбинированной обработкой, увеличивается. Так, при температуре масла более 50°C интенсивность изнашивания покрытий резко увеличивается, что, возможно, связано с нарушением гидродинамического режима смазки и значительным снижением прочности и толщины смазочного слоя.

Анализ результатов испытаний износостойкости контртела и покрытий (рисунок 2) показывает, что наибольшей износостойкостью обладают покрытия из ФМП Fe-5%V. Износостойкость этого покрытия при трении качения со смазкой при наличии частиц абразива в 1,7–1,8 выше износостойкости эталона. Износостойкость покрытий по сравнению с эталоном для ФБХ 6-2 больше в 1,3–1,5.

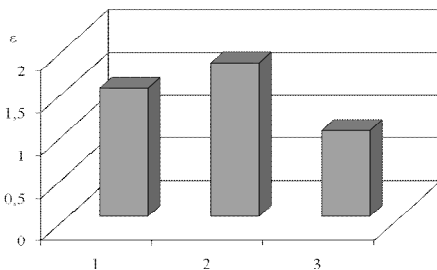


Рисунок 2 – Диаграммы относительной износостойкости покрытий из ФМП ФБХ 6-2 (1), Fe – 5%V (2) и эталона (3) в условиях трения качения со смазкой, загрязненной частицами абразива

Результаты исследований на износостойкость свидетельствуют о высоком уровне физико-механических свойств покрытий, полученных комбинированной электрофизической обработкой. Преимущество таких покрытий в том, что обусловлено это тем, что при нанесении покрытий МЭУ с последующим их ППД снижается пористость, шероховатость, повышается однородность покрытий. При этом достаточно высокое содержание метастабильного аустенита обеспечивает необходимую пластичность основы ФМП Fe-5%V и ФБХ-6-2, в результате чего приповерхностные микрообъемы покрытий способны выдерживать большее количество циклов передоформирования в процессе изнашивания.

На основании полученных результатов исследований износостойкости покрытий, полученных комбинированной электрофизической обработкой, можно сделать следующие выводы:

1. Статистические модели, определяющие зависимости исследуемого параметра – интенсивности изнашивания покрытий в условиях трения качения от нагрузки P показывают, что износ имеет нелинейный характер, а увеличение концентрации абразивных примесей в масле приводит к росту интенсивности изнашивания покрытий по зависимости близкой к линейной. Выявлено, что с уменьшением концентрации абразивных частиц в масле, влияние температуры масла в ванне на изнашивание покрытий, полученных ЭМН ФМП ФБХ-6-2 и Fe-2%V, увеличивается.

2. Установлено, что наибольшей износостойкостью обладают покрытия из ФМП Fe-5%V. Износостойкость этого покрытия при трении качения со смазкой при наличии частиц абразива в 1,7–1,8 выше износостойкости эталона. Износостойкость покрытий по сравнению с эталоном для ФБХ-6-2 больше в 1,3–1,5.

Список использованных источников

1. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электро-магнитном поле. – Полоцк: ПГУ, 1999. – 240 с.
2. Кожуро, Л.М. Обработка деталей машин в магнитном поле / Л.М. Кожуро, Б.П. Чемисов. – Минск: Наука и техника, 1995. – 232 с.
3. Акулович Л.М., Миранович А.В. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.
4. Акулович, Л.М. Повышение качества покрытий при электромагнитной наплавке в постоянном магнитном поле / Л.М. Акулович, А.В. Миранович // Вестник ПГУ. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2008. – № 8. – С. 58–65.
5. Акулович, Л.М. Структурообразование покрытий после магнитно-электрического упрочнения и лазерной обработки // Технология-Оборудование-Инструмент-Качество : материалы 33-ей Междунар. науч.-техн. конференции, 11 апреля 2018 г., г. Минск, 2018. 182 с. С. 107–109.