

Литература

1. Улучшение гидравлических характеристик глушителей шума / Кунаш М.В., Белохвостов Г.И, Ткачёва Л.Т., Бренч М.В., Мельнов А.И // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сб. ст. VI Междунар. науч.-практ. конференции, 30-31 марта 2023 г. / редкол.: В.Я. Груданов [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 294–296
2. Средства индивидуальной защиты и санитарно-бытовое обеспечение работающих: метод. рекомендации / И. П. Семёнов, И. А. Кураш, В. П. Филонов. – Минск: БГМУ, 2017 – 35 с.
3. О типовых нормах бесплатной выдачи средств индивидуальной защиты работникам, занятым в сельском и рыбном хозяйстве: Постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, 16 апреля 2020 года, № 36 в редакции Постановления Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 28.09.2021 года № 68 «ООО «ЮрСпектр», Минск, 2023
4. Андруш, В. Г. Охрана труда: учеб. / В. Г. Андруш, Л. Т. Ткачёва, К. Д. Яшин. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск: РИПО, 2021. – 334 с. : ил. ISBN 978-985-7253-54-8.
5. Охрана труда. Лабораторный практикум: учебное пособие / 0-92 сост.: В. Г. Андруш [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2020. – 176 с. ISBN 978-985-25-0024-1.
6. Кунаш М.В. Совершенствование глушителя шума тракторов «БЕЛАРУС» / М.В.Кунаш, Г.И. Белохвостов, Н.И. Зезетко //Агропанорама. – 2024. - №1 (161). – С. 12-16.

УДК 621.791.92 : 621.81

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ УПРОЧНЕНИЕМ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Миранович А.В., к.т.н., доцент, **Афанасенко Д.Е.**, аспирант

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Известно [1, 2], что металлические поверхности деталей машин после магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) композиционными ферромагнитными порошками (КМП) в составе пасты, не обладают требуемыми параметрами (точности размеров, шероховатости поверхности), которые в значительной степени влияют на износостойкость формируемых покрытий. В связи с этим поверхности, полученные МЭУ на технологическом модуле, последовательно подвергают механической обработке – черновой (шлифование) и чистовой (полирование, магнитно-абразивная обработка (МАО) или пневмовибродинамическая обработка (ПВДО), совмещенных в одной технологической схеме [3, 4].

Так как при обработке комбинированным способом в покрытии наблюдаются неоднородные структура и химический состав, колебания твердости и внутренние напряжения, то в работе проводились исследования триботехнических характеристик и физико-механических свойств (микроструктура и микротвердость) покрытий из различных КМП.

Испытания износостойкости образцов с покрытиями из КМП Fe-5%V и ФБХ-6-2, полученными комбинированной обработкой при оптимальных условиях и режимах процессов, проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 23.224-86 «Обеспечение износостойкости изделий. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей» на машине трения модели 2070 СМТ-1 по стандартной методике по схемам «диск-колодка» при сравнительной оценке износостойкости покрытий при трении скольжения. При этом контртела выполнялись из чугуна ХТВ. На образцы из стали 45, подвергнутые нормализации, с наружным диаметром 40,0 мм, внутренним 16,0 мм и высотой 12,0 мм наносились МЭУ покрытия толщиной до 0,6 мм на диаметр и далее проводились черновое шлифование и последующие исследуемые методы чистовой механической обработки (полирование, МАО или ПВДО). Для ускорения процесса изнашивания использовали масляно-абразивную смесь (масло индустриальное И-ГН-Е-68 ГОСТ 14479.4-87 с добавками 2 % карбида бора с размерами зерен 4–5 мкм). Такие условия наиболее близки к реальным

условиям эксплуатации сопряжений «вал-подшипник скольжения» сельскохозяйственных, дорожно-транспортных и других машин, которые выходят из строя из-за абразивного изнашивания. Образцы после МЭУ, чернового шлифования и последующей финишной механической обработки (полирования, MAO или ПВДО) прирабатывались с колодкой. Режим испытаний: скорость скольжения 1,2 м/с, удельная нагрузка 3,0 МПа. Измерения образцов производили оптическим длинномером ИЗВ-1. В качестве эталона принимали сталь 45, закаленную с нагрева ТВЧ на глубину 1,2–1,6 мм до твердости 52–54 НRC. Приведенные значения интенсивностей изнашивания, моментов и коэффициентов трения получены как средние из пяти измерений.

Исследования макро- и микроструктуры выполнялись с использованием светового микроскопа Mef-3 (фирма «Reichert-Jung») и растрового электронного микроскопа LEO 1455 VP (фирма «Carl Zeiss»). Рентгенофазовый анализ осуществлялся с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3. Микротвердость измерялась на приборе ПМТ-3 при величине нагрузки на индентор 0,49 Н.

В результате выполненных исследований макро- и микроструктуры покрытия из порошка ФБХ-6-2 установлено, что в наплавленных слоях отсутствуют дефекты в виде раковин и посторонних включений. Покрытие имеет микроструктуру мелкодисперсного строения. Рентгенофазовым анализом установлено, что структура покрытия представляет собой конгломерат твердых и пластичных фаз, когерентно связанных между собой, и состоит из основы – твердого раствора хрома в α -железе, а также остаточного аустенита, карбидов (Fe_2C , Cr_7C_3), боридов (FeB , CrB_2 , Cr_5B_3) и ферроборида ($\text{Cr}_{1,65}\text{Fe}_{0,35}\text{B}_{0,96}$).

Рентгеноструктурным анализом и выполненным расчетом параметров тонкой структуры выявлено, что покрытие имеет тонкодисперсное строение с размером кристаллитов в пределах 17,10–30,80 нм; плотность дислокаций (хаотических), в объемах кристаллов в пределах $(11,2813–12,9356) \cdot 10^8$, $1/\text{см}^2$; относительную среднеквадратическую микродеформацию в пределах $(23,54–35,98) \cdot 10^{-4}$.

В результате выполненных исследований микротвердости установлено, что незначительные колебания и плавное изменение значений микротвердости по толщине в пределах 5,4–6,7 ГПа для покрытий из КМП Fe-5%V и в пределах 7,9–9,1 ГПа для покрытия из КМП ФБХ-6-2 обусловлены достаточной однородностью нанесенных слоев. Установлено, что покрытие из порошка ФБХ-6-2 имеет максимальную микротвердость (9,1 ГПа), что обусловлено присутствием в структуре слоев закалочного мартенсита и комплексных боридов хрома, ферроборида, боридов на основе железа.

Результаты сравнительных испытаний триботехнических характеристик покрытий, полученных МЭУ с последующими методами черновой механической обработки (шлифование) и чистовой (полирование, MAO и ПВДО) приведены в таблице.

В результате выполненных исследований выявлены преимущества ПВДО по сравнению с другими финишными методами обработки (полированием и MAO) полученных поверхностей МЭУ. Этот способ обработки обеспечивает повышение износостойкости по сравнению с другими соответственно на 1,9–8,7 и 4,7–14,6%. Так, интенсивность изнашивания упрочненных поверхностей КМП Fe-5%V и ФБХ-6-2, окончательно обработанных ПВДО по сравнению с полированием и MAO, меньше на 4,1–6,2% и 8,1–10,8% соответственно. При этом момент и коэффициент трения практически не изменяются.

Таблица – Триботехнические характеристики металлических поверхностей, полученных МЭУ с последующей механической обработкой

Материал КМП	Параметры				
	Интенсивность изнашивания, мкм/км	Момент трения, Нм		Коэффициент трения	
		с маслом	без смазки	с маслом	без смазки
Полирование					
Fe-5 % V	3,44	0,95	1,51	0,15	0,22
ФХ-6-2	2,17	0,79	1,02	0,11	0,15
Эталон	4,05	0,84	1,26	0,12	0,19
Магнитно-абразивная обработка					
Fe-5 % V	3,39	0,96	1,55	0,14	0,23
ФХ-6-2	2,07	0,75	0,94	0,11	0,14
Эталон	4,06	0,82	1,29	0,12	0,19
Пневмовибродинамическая обработка					
Fe-5 % V	3,11	0,96	1,51	0,14	0,22
ФХ-6-2	1,85	0,72	0,93	0,11	0,14
Эталон	4,02	0,81	1,31	0,12	0,19

Установлено (таблица), что наибольшей износостойкостью обладают покрытия из КМП ФХ-6-2, обработанные ПВДО. Износостойкость этого покрытия значительно выше износостойкости эталона. Износостойкость покрытия из КМП Fe-5% V имеют износостойкость почти равную эталону.

Таким образом, в порядке убывания износостойкости покрытий последние можно расположить в последовательности

ФХ-6-2 → Fe-5% V → сталь 45 (эталон).

Очевидно, что повышение износостойкости упрочненных поверхностей МЭУ после ПВДО связано с более благоприятным микрорельефом обработанной поверхности, имеющим стохастический характер. Микрорельеф поверхности, полученной после полирования и МАО, характеризуется наличием отдельных рисок, расположенных в направлении скорости резания. Установлено, что в ходе ПВДО формируется более благоприятное напряженное состояние в поверхностных слоях образцов для испытаний.

Литература

1. Черноиванов, В.И. Восстановление деталей машин / В.И. Черноиванов, И.Г. Голубев. – М.: ФГНУ «Росинформротех», 2010. – 376 с.
2. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк : ПГУ, 1999. – 240 с.
3. Кожуро, Л.М. Обработка деталей машин в магнитном поле / Л.М. Кожуро, Б.П. Чемисов. – Минск: Наука и техника, 1995. – 232 с.
4. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.