

#### Список использованных источников

1. Черноиванов, В.И. Восстановление деталей машин / В.И. Черноиванов, И.Г. Голубев. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 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.

УДК 621.791.92 : 621.81

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТНОЙ ПНЕВМОВИБРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ**

Авторы: Д.Е. Афанасенко, аспирант; А.А. Косак, магистрант  
Научный руководитель: А.В. Миранович, канд. техн. наук, доцент  
*УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Известно [1, 2], что металлические поверхности после последовательного проведения магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) композиционными ферромагнитными порошками (КМП) в составе пасты и последующей термомеханической обработки (ТМО), помещенных в одной технологической схеме, не обладают такими требуемыми параметрами, как точность размеров, шероховатость поверхности. Поэтому упрочненные поверхности комбинированным способом МЭУ с ТМО на технологическом модуле комбинированной обработки подвергают механической обработке [3, 4].

При выборе режима упрочнения КМП Fe-2%V и ФБ-3 металлических поверхностей комбинированным способом, немаловажно оценить возможное влияние структуры на свойства материала по-

крытия и поверхностных слоев основы. Кроме того, необходимо учитывать то, что МЭУ обеспечивает получение толщины нанесенного слоя в пределах 0,3–0,6 мм, а после ТМО только 0,1–0,5 мм. Поэтому размерная механическая обработка покрытий зависит от соотношения допусков на размеры заготовки, детали и покрытия соответственно  $\delta_{\text{заг}}$ ,  $\delta_{\text{дет}}$ ,  $\delta_{\text{п}}$ . Общеизвестно [5], что возможны три случая:  $\delta_{\text{заг}} > \delta_{\text{дет}}$  – при любых значениях  $\delta_{\text{п}}$  покрытие подвергают размерной обработке;  $\delta_{\text{заг}} = \delta_{\text{дет}}$  – покрытие также подлежит размерной обработке;  $\delta_{\text{заг}} > \delta_{\text{дет}}$  – при  $\delta_{\text{дет}} - \delta_{\text{заг}} > \delta_{\text{п}}$  исключается размерная обработка покрытия, при  $\delta_{\text{дет}} - \delta_{\text{заг}} < \delta_{\text{п}}$  – покрытие подвергают размерной обработке.

В связи с тем, что при обработке комбинированным способом в покрытии наблюдаются неоднородные структура и химический состав, колебания твердости и внутренние напряжения, то представляет интерес оценка износостойкости покрытий из различных композиционных ферропорошков, обработанных методами механической обработки.

В работе испытания износостойкости образцов с покрытиями из КМП Fe-2%V и ФБ-3, полученными МЭУ с ТМО 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 последовательно проводилась ТМО. Далее образцы с покрытиями предварительно шлифовались на круглошлифовальном станке модели ЗБ64 до получения шероховатости поверхности  $Ra = 0,63$  мкм. После этого покрытия образцов подвергались различным финишным способам обработки – чистовому шлифованию, полированию и магнитно-абразивной обработке (МАО).

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 со-

пряжений «вал-подшипник скольжения» сельскохозяйственных, дорожно-транспортных и других машин, которые выходят из строя из-за абразивного изнашивания. Образцы после МЭУ с ТМО и финишной механической обработки 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 HRC. Температуры фрикционного разогрева в данном исследовании не измеряли.

Приведенные значения интенсивностей изнашивания, моментов и коэффициентов трения получены как средние из пяти измерений.

Анализировались три способа финишной обработки – чистовое шлифование, полирование и MAO. Результаты сравнительных испытаний триботехнических характеристик приведены в таблице.

Таблица – Триботехнические характеристики упрочненных металлических поверхностей МЭУ с ТМО после различных методов финишной обработки

Материал ФМП	Параметры				
	Интенсивность изнашивания, мкм/км	Момент трения, Нм		Коэффициент трения	
		с маслом	без смазки	с маслом	без смазки
Шлифование					
Fe-2 % V	3,45	0,95	1,51	0,14	0,22
ФБ-3	2,15	0,79	1,02	0,12	0,15
Сталь 45 (эталон)	4,10	0,84	1,26	0,12	0,19
Полирование					
Fe-2 % V	3,37	0,96	1,55	0,14	0,23
ФБ-3	2,05	0,75	0,94	0,11	0,14
Сталь 45 (эталон)	4,00	0,82	1,29	0,12	0,19
Магнитно-абразивная обработка					
Fe-2 % V	3,12	0,96	1,51	0,14	0,22
ФБ-3	1,87	0,72	0,93	0,11	0,14
Сталь 45 (эталон)	3,89	0,81	1,31	0,12	0,19

В результате выполненных исследований выявлены преимущества MAO по сравнению с другими финишными методами обработки (полированием и чистовым шлифованием)

упрочненных поверхностей МЭУ с ТМО. Этот способ обработки обеспечивает повышение износостойкости по сравнению с другими соответственно на 1,9–8,8 и 4,8–14,7%. Так, интенсивность изнашивания упрочненных поверхностей композиционными ферромагнитными порошками Fe-2%V и ФБ-3, окончательно обработанных МАО по сравнению с полированием и чистовым шлифованием, меньше на 4,2–6,1% и 8,2–10,9% соответственно. При этом момент и коэффициент трения практически не изменяются.

Показано (таблица), что наибольшей износостойкостью обладают покрытия из порошков ферробора ФБ-3, обработанные МАО. Износостойкость этого покрытия значительно выше износостойкости эталона. Износостойкость покрытия из КМП Fe-2%V имеют износостойкость почти равную эталону.

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

ФБ-3 → Fe-2%V → сталь 45 (эталон).

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

#### Список использованных источников

1. Акулович Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. Полоцк : ПГУ, 1999. – 240 с.
2. Акулович Л.М., Миранович А.В. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники. Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.
3. Хейфец М.Л., Кожуро Л.М., Хейфец М.Л. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей. Гомель : ИММС НАНБ, 1999. – 276 с.
4. Кожуро Л.М., Чемисов Б.П. Обработка деталей машин в магнитном поле. Минск : Наука и техника, 1995. – 232 с.
5. Справочник шлифовщика / Л.М. Кожуро [и др.] ; под общ. ред. Л.М. Кожуро. Минск : Вышэйшая школа 1981. – 296 с.