

УДК 621.791.92 : 621.81

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

Матяс Д.С., студент

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ, ПОЛУЧЕННЫХ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ УПРОЧНЕНИЕМ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

***Аннотация.** Проведены экспериментальные исследования параметров качества, микротвердости и износостойкости поверхностных слоев, полученных магнитно-электрическим упрочнением и последующей термомеханической обработкой. Установлено, что термомеханическая обработка покрытий, полученных магнитно-электрическим упрочнением, позволяет увеличить их микротвердость и износостойкость, снизить среднюю толщину и шероховатость, объемную пористость.*

Одним из направлений повышения ресурса автотракторной техники, снижения затрат на запасные части является применение технологий восстановления и упрочнения деталей с использованием высококонцентрированных потоков энергии (плазменная, индукционная, лазерная наплавки и др.), в том числе и способа магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) [1, 2]. Способ получил достаточное применение для упрочнения и восстановления деталей машин и имеет ряд преимуществ в сравнении с другими электрофизическими способами поверхностной обработки [3, 4].

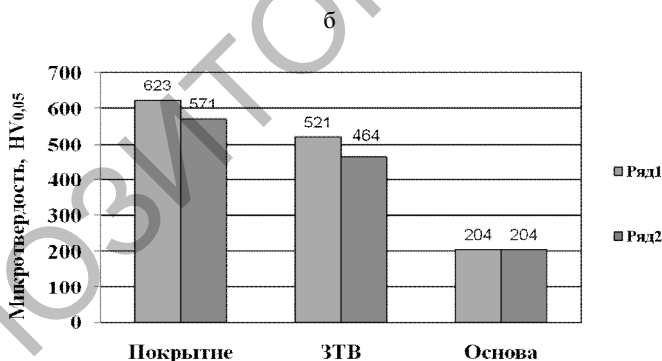
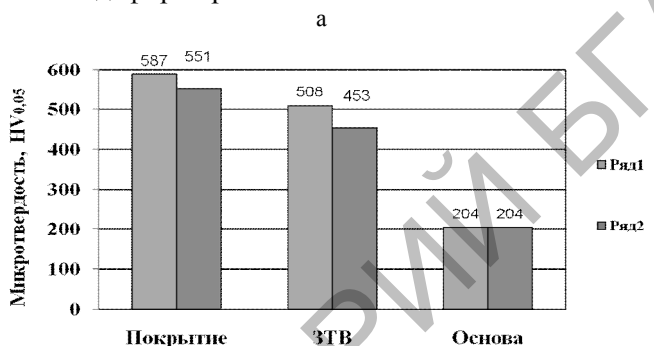
Тем не менее, наряду с преимуществами (простота и экологичность способа, низкая стоимость оборудования, компактность, возможность локальной обработки поверхностей) МЭУ обладает рядом недостатков, которые ограничивают его область применения из-за сложности получения нанесением покрытий высокого качества (с требуемой плотностью, толщиной, шероховатостью) [1, 3]. Это объясняет необходимость последующей обработки поверхностных

слоев, полученных МЭУ, другими видами высокоэнергетического воздействия, например, перспективным способом, основанным на контактной обработке поверхностей источником электрической энергии (термомеханической обработкой). В связи с этим проведены исследования возможности обработки металлических поверхностей комбинированным способом – последовательным проведением МЭУ и последующей термомеханической обработки (ТМО).

Цель исследований – выполнить сравнительный анализ параметров качества, микротвердости и износостойкости поверхностных слоев, полученных МЭУ и комбинированным способом МЭУ с последующей ТМО.

Исследования проводились на цилиндрических образцах из стали 45 с покрытиями из ферромагнитных порошков Fe-5%V (ГОСТ 9849-86) и ФБХ-6-2 (ГОСТ 11546-75), полученными МЭУ с последующей термомеханической обработкой. Обработка поверхностей выполнялась на оптимальных режимах [1, 2, 4]: МЭУ – на установке модели УМЭУ-1; ТМО – накатным устройством с роликовым электродом-инструментом. Толщина упрочненных поверхностных слоев определялась по распределению микротвердости на приборе ПМТ-3М в поперечном сечении образцов при помощи окулярной вставки с увеличением в 200 раз; разнотолщинность – по разности максимальной и минимальной местных толщин покрытий образца; объемная пористость покрытий – методом гидростатического взвешивания. Измерение достигаемой шероховатости поверхности производилось на профилографе-профилометре Mitutoyo SJ-201P. 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 индустриальное ИГ-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. Износ образцов с покрытиями и эталона определялся на оптическом длинномере ИЗВ-1.

В результате исследований микротвердости установлено, что ее наибольшее среднее значение (рисунок, а и б) отмечается у покрытий из ФМП ФБХ-6-2, полученных МЭУ с ТМО, и составляет $623 \text{ HV}_{0,05}$, что в 1,06 раза больше микротвердости покрытий, полученных МЭУ ($587 \text{ HV}_{0,05}$), и в 3,05 раза больше по сравнению с материалом основы. Данное обстоятельство обусловлено формированием мелкодисперсной структуры слоев в результате их скоростного охлаждения и последующего пластического деформирования.



Ряд: 1 – ФБХ-6-2; 2 – Fe-5%V

Рисунок – Диаграмма результатов исследований микротвердости упрочненных поверхностей МЭУ(а), МЭУ с ТМО (б)

Результаты исследований (таблица 1) показывают, что ТМО нанесенных покрытий МЭУ при уменьшении средней их толщины в 1,15 – 1,18 раза, позволяет повысить качество упрочненных по-

верхностей за счет снижения их объемной пористости в 4,64 – 5,11 раза, средней шероховатости в 1,56 – 1,63 раза и средней разнотолщинности в 1,32 – 1,42 раза.

Таблица 1 – Показатели качества упрочненных поверхностей, полученных различными способами

Материал ФМП	Средняя толщина покрытий, мкм	Средняя разнотолщинность покрытий, мкм	Объемная пористость покрытий, %	Средняя шероховатость поверхности, мкм
Магнитно-электрическое упрочнение				
Fe-5%V	263	57	4,6	9,8
ФБХ-6-2	274	51	5,1	10,3
Магнитно-электрическое упрочнение с ТМО				
Fe-5%V	223	43	0,9	6,0
ФБХ-6-2	238	36	1,1	6,6

В результате выполненных 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 , температура масла t_m , концентрация абразивных частиц в масле $K_ч$, относительная скорость качения V_k). Установлено, что по степени влияния на интенсивность изнашивания 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: $Y_2 = I: K_ч \rightarrow P \rightarrow t_m \rightarrow V_k$. Относительная скорость трения качения V_k не оказывает существенного влияния на интенсивность изнашивания поверхностей образцов. Установлено, что интенсивность изнашивания поверхностных слоев из ФМП Fe-5 %V в 1,3–1,9 раза ниже, чем для поверхностей из ферромагнитного порошка ФБХ-6-2, из-за большего содержания метастабильного аустенита, обеспечивающего пластичность основы упрочненного слоя. С применением графоаналитического метода двумерных се-

чений для принятых условий изнашивания определена рациональная область работы исследуемых трибосопряжений при трении качения с проскальзыванием со смазочным материалом: $P = 0,5–0,9$ кН и $t_m = 23–47$ °С; при трении качения с проскальзыванием со смазочным материалом с частицами абразива: $P = 0,5–0,7$ кН, $t_m = 25–42$ °С, $K_q = 0,04$ г/см³.

В результате исследований износостойкости поверхностей образцов, полученных МЭУ, а также МЭУ с ТМО (таблица 2), 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 (выше в 1,5–2,0 раза), при трении скольжения – покрытия из ФМП ФБХ-6-2 (выше в 1,5–1,7 раза).

Таблица 2 – Результаты триботехнических испытаний образцов

Материал ФМП	Относительная износостойкость упрочненного поверхностного слоя	
	при трении скольжения	при трении качения
МЭУ		
Fe-5%V	1,42	1,63
ФБХ-6-2	1,61	1,54
МЭУ с ТМО		
Fe-5%V	1,67	2,14
ФБХ-6-2	1,84	1,95

Это обстоятельство позволило рекомендовать для пар трения, работающих при трении качения с проскальзыванием использовать покрытия из ФМП Fe-5%V, а при трении скольжения – покрытия из ФМП ФБХ-6-2. При этом следует отметить, что ТМО нанесенных покрытий из ФМП Fe-5%V и ФБХ-6-2 МЭУ позволяет повысить износостойкость упрочненных поверхностей в 1,18 – 1,27 раза.

Выполненные исследования позволили установить следующее:

1. ТМО покрытий, полученных МЭУ, позволяет увеличить микротвердость покрытий в 1,06 раза по сравнению с покрытиями, полученными МЭУ;
2. ТМО нанесенных покрытий МЭУ позволяет уменьшить среднюю их толщину в 1,15 – 1,18 раза, снизить их объемную пористость в 4,64 – 5,11 раза, среднюю шероховатость в 1,56 – 1,63 раза и среднюю разнотолщинность в 1,32 – 1,42 раза, повысить износостойкость упрочненных поверхностей в 1,18 – 1,27 раза.

Список использованных источников

1. Черноиванов, В.И. Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы). – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 376 с.
2. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк: ПГУ, 1999. – 240 с.
3. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А. В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.
4. Восстановление деталей машин : справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.] ; под ред. В.П. Иванова. – М. : Машиностроение, 2003. – 672 с.
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.

Abstract. Experimental studies of the parameters of quality, microhardness and wear resistance of surface layers obtained by magnetic-electric hardening and subsequent thermo-mechanical processing were carried out. It is established that the thermo-mechanical treatment of coatings obtained by magnetic-electric hardening, allows to increase the microhardness and wear resistance, reduce their average thickness, bulk porosity and average roughness.

УДК 621.793.7

Лузан А.С., аспирантка

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, г. Харьков, Украина

МИКРОСТРУКТУРА И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БОРСОДЕРЖАЩИМ КОМПОЗИЦИОННЫМ МАТЕРИАЛОМ

Аннотация. В работе представлены результаты исследований микроструктуры и триботехнических свойств наплавленных износостойких покрытий сплавом ПГ-10Н-01, модифицированных борсодержащим композиционным материалом, который синтезирован с применением СВС-процесса.