

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ КОМБИНИРОВАННЫМИ СПОСОБАМИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ

Акулович Л.М., Миранович А.В., Афанасенко Д.Е.

Белорусский государственный аграрный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

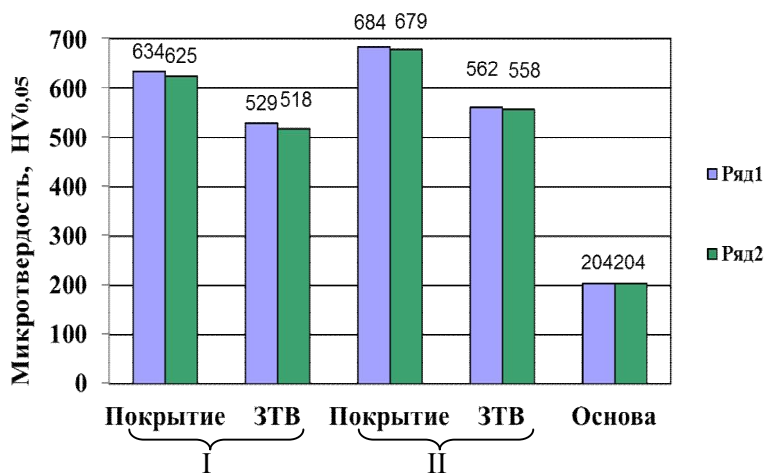
Повышение эффективности использования техники, экономии материальных и топливно-энергетических ресурсов возможно за счет внедрения в производство комбинированных способов упрочняющей обработки, реализация которых обеспечивается посредством одновременного или последовательного воздействия на поверхности деталей несколькими видами энергии, например, электрической и магнитной, тепловой и механической [1, 2]. К числу таких технологий относится способ магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) с поверхностным пластическим деформированием (ППД), наряду с преимуществами (простота и экологичность метода, компактность и относительно низкая стоимость оборудования), присущи и недостатки, ограничивающие область его применения (невысокие физико-механические свойства формируемых покрытий: разнотолщинность, присутствие в них микротрещин, раковин и пустот, значительная шероховатость упрочненной поверхности) [2, 3]. Для устранения указанных дефектов, увеличения прочностных и триботехнических характеристик упрочненных поверхностей, предложено совмещать в одной технологической схеме с МЭУ термомеханическую обработку (ТМО), обеспечивающую термодеформационное воздействие на формируемые покрытия из композиционных ферромагнитных порошков (КМП) [3].

Цель исследований: выполнить сравнительный анализ параметров качества и микротвердости поверхностных слоев, полученных комбинированными способами магнитно-электрического упрочнения с ППД и ТМО.

Исследования проводились на цилиндрических образцах из стали 45 с покрытиями, полученными нанесением паст, состоящих из КМП (ФБХ-6-2, Р6М5Ф3) и связующего (эпоксидная смола ЭДП, растворенная в жидком стекле (ТО РБ 02974150 – 015 – 99), и последующей их обработкой МЭУ с ППД и МЭУ с ТМО. Упрочнение поверхностей выполнялось на оптимальных режимах [1, 2]: МЭУ – на установке модели УМЭУ-1; ППД – накатным устройством с шариковым электродом-инструментом; ТМО – накатным устройством с роликовым электродом-инструментом и пропусканием в зоне контакта технологического тока силой 0,5 кА. Толщина упрочненных поверхностных слоев определялась по распределению микротвердости на приборе ПМТ-3М; разнотолщинность – по разности максимальной и минимальной местных

толщин покрытий образца; объемная пористость покрытий – методом гидростатического взвешивания. Измерение шероховатости поверхности производилось на профилографе-профилометре Mitutoyo SJ-201P.

Обсуждение результатов. Установлено, что наибольшее значение средней микротвердости (рисунок) наблюдается у покрытий из КМП ФБХ-6-2, полученных МЭУ с ТМО, и составляет $684 \text{ HV}_{0,05}$, что на 7,3% больше микротвердости покрытий, полученных МЭУ с ППД ($634 \text{ HV}_{0,05}$), и в 3,4 раза больше по сравнению с материалом основы ($204 \text{ HV}_{0,05}$). Обусловлено это формированием мелкодисперсной структуры нанесенных слоев в результате их разогрева, пластического деформирования и последующего скоростного охлаждения.



Ряд: 1 – КМП ФБХ-6-2; 2 – КМП Р6М5Ф3;
ЗТВ – зона термического влияния

Рисунок – Диаграмма результатов исследований микротвердости упрочненных поверхностей МЭУ с ППД (I), МЭУ с ТМО (II)

ФБХ-6-2 максимальная микротвердость объясняется присутствием в структуре слоев закалочного мартенсита и комплексных боридов хрома, ферроборида, боридов на основе железа. Выявлено, что незначительные колебания и плавное изменение значений микротвердости по толщине покрытий из КМП ФБХ-6-2 и Р6М5Ф3 обусловлены однородностью и плотностью нанесенных слоев.

Результаты исследований (таблица) показывают, что ТМО по сравнению с ППД нанесенных слоев МЭУ при уменьшении средней их толщины до 5,3%, позволяет повысить качество упрочненных поверхностей за счет снижения их объемной пористости в 1,5–2,0 раза, средней шероховатости по параметру Ra до 20% и средней разнотолщинности до 1,1 раза.

Следует отметить, что после ТМО микротвердость покрытий из КМП ФБХ-6-2 и Р6М5Ф3 повышается на 5–10%, что объясняется равномерным распределением по обрабатываемой поверхности расплава материала порошков, уменьшением концентрации остаточного аустенита (частичным превращением аустенита в мартенсит), выделением дисперсных карбидов. Так, для покрытия из КМП

Таблица – Показатели качества упрочненных поверхностей

Материал ФМП	Средняя толщина покрытий, мкм	Средняя разнотолщинность покрытий, мкм	Объемная пористость покрытий, %	Средняя шероховатость поверхности, мкм
Магнитно-электрическое упрочнение с ППД				
Р6М5Ф3	239	46	1,8	6,4
ФБХ-6-2	244	38	1,6	5,8
Магнитно-электрическое упрочнение с ТМО				
Р6М5Ф3	228	41	1,2	5,2
ФБХ-6-2	232	34	0,8	4,6

Выводы. В результате выполненных исследований установлено:

1. ТМО покрытий, полученных МЭУ, позволяет увеличить микротвердость покрытий на 7,3% по сравнению с обработанными поверхностями МЭУ с ППД.

2. ТМО по сравнению с ППД нанесенных покрытий МЭУ позволяет уменьшить среднюю их толщину до 5,3%, снизить их объемную пористость в 1,5 – 2,0 раза, среднюю шероховатость по параметру *Ra* до 20% и среднюю разнотолщинность до 1,1 раза.

1. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк : ПГУ, 1999. – 240 с.
2. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.
3. Акулович, Л.М. Методика синтеза комбинированных способов упрочнения поверхностей деталей в магнитном поле наплавки / Л.М. Акулович, А.В. Миранович, В.Г. Мисько // Машиностроение: респ. межведомств. сб. науч. тр. – Минск : БНТУ, 2022. – Вып. 34. – С. 5 – 12.