

**ХАРАКТЕРИСТИКА ПОКРЫТИЙ
ПОСЛЕ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ
И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ**

Л. М. АКУЛОВИЧ

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
Беларусь;*

О. Г. ДЕВОЙНО

Белорусский национальный технический университет, Беларусь;

А. В. МИРАНОВИЧ, В. Г. МИСЬКО

*Белорусский государственный аграрный технический университет,
Беларусь*

Приведены результаты исследований толщины и микроструктуры покрытий, полученных магнитно-электрическим упрочнением и лазерной обработкой.

Для упрочнения и восстановления тонкостенных и нежестких деталей машин в условиях ремонтных предприятий применяются современные технологии, основанные на использовании концентрированных потоков энергии [1, 2]. К их числу относится магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ) композиционными ферромагнитными порошками (ФМП), обладающее такими достоинствами, как отсутствие специальной предварительной подготовки поверхности детали, незначительная зона термического влияния и высокая прочность сцепления покрытия с основным материалом детали. К дефектам покрытий относится их разнотолщинность и наличие пор, что ограничивает их область применения [1, 3]. Для устранения указанных дефектов были проведены исследования возможности обработки покрытий лазером.

Эксперименты проводили на цилиндрических образцах из стали 45 (ГОСТ 1050-88), микроструктура которых после закалки представляла собой смесь феррита и сорбитообразного перлита.

На поверхность образцов наносили покрытия из двухкомпонентных легированных порошков на основе железа Fe-5%V и Fe-Ti (ГОСТ 9849-86), а также сплава ФБХ-6-2 (ГОСТ 11546-75) на установке модели УМЭУ-1. Последующая лазерная обработка покрытий на образцах производилась на CO₂-лазере модели «Комета-2» мощностью 1 кВт.

Микроструктура покрытий изучались методом оптической металлографии поперечных шлифов с использованием светового микроскопа Mef-3 фирмы «Reichert-Jung» (Австрия) и цифрового фотоаппарата «HP photosmart 715 digital camera». Микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3М при величине статической нагрузки на индентор $P \sim 0,49$ Н (50 г). Толщину покрытий определяли по распределению микротвердости в поперечном сечении образцов при помощи окулярной вставки с увеличением в 200 раз. Разнотолщинность покрытий определялась по разности максимальной и минимальной местных толщин покрытий образца. Объемная пористость покрытий определялась методом гидростатического взвешивания.

Обсуждение результатов. Микроструктурный анализ показал, что покрытия из ФМП Fe-Ti характеризуется мелкодендритным строением (рис. 1, а), основу которого составляет твердый раствор титана в α -железе, а также незначительного количества остаточного аустенита, интерметаллидов (FeTi, Fe₂Ti), карбидов титана (TiC) и железа (FeC). Граница раздела имеет плавный переход, в котором происходит полная фазовая перекристаллизация материала основы с образованием дислокационного мартенсита и рекристаллизованного феррита.

Покрытие из ФМП Fe-5%V также характеризуется мелкодендритным строением (рис. 1, б), основу которого составляет твердый раствор ванадия в α -железе, остаточный аустенит, карбиды ванадия (V₂C, V₄C_{2,67}) и железа (FeC, FeC₈). Диффузионная зона имеет структуру дислокационного мартенсита. Зона термического влияния (ЗТВ) представляет собой область неполной закалки, структура которой представляет феррит и отдельные участки перлита, превратившегося в троостомартенсит.

В покрытии из ФБХ-6-2 наплавленный слой имеет микроструктуру мелкодисперсного строения (рис. 1, в). Поверхностные слои состоят из частиц очень тонкого игольчатого строения, которые вытянуты в сторону основного металла. Основу покрытия составляет твердый раствор хрома в α -железе, остаточный аустенит, а также карбиды железа (Fe₂C), бориды (FeB, CrB₂, Cr₃B₃) и ферроборида (Cr_{1,65}Fe_{0,35}B_{0,96}).

Результаты исследований показывают (рис. 2), что наибольшее значение средней микротвердости наблюдается у покрытий, полученных МЭУ ФМП ФБХ-6-2, и составляет 587 HV_{0,05}, что в 2,9 раза больше по сравнению с материалом основы.

Снижение микротвердости возможно по причине перераспределения внутренних напряжений на границе раздела «покрытие-основа детали».

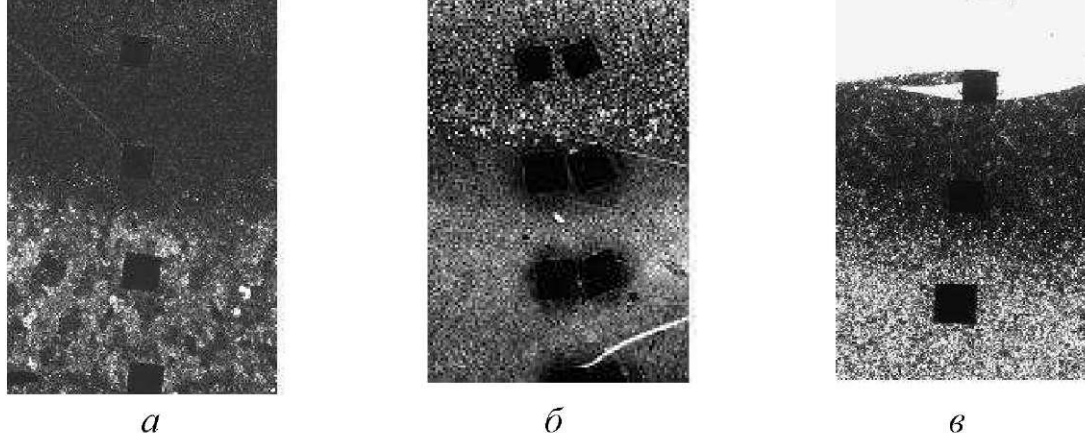


Рис. 1. Фотографии микроструктуры покрытий после МЭУ и лазерной обработки. Покрытия из ФМП: *а* – Fe-Ti ($\times 50$), *б* – Fe-5%V ($\times 50$), *в* – ФБХ-6-2 ($\times 50$)

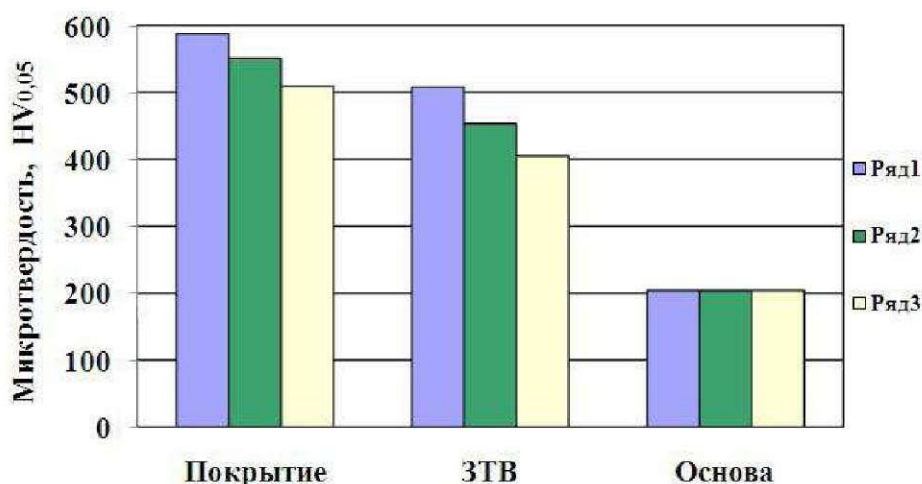


Рисунок 2 – Диаграмма результатов исследований на микротвердость. Ряд: 1 – ФБХ-6-2; 2 – Fe-5%V; 3 – Fe-Ti

Это обусловлено формированием мелкодисперсной структуры слоев в результате их скоростного охлаждения. Следует отметить, что после лазерной обработки покрытий из ФМП ФБХ-6-2 средняя микротвердость уменьшилась примерно в 1,2 раза и составляет 508 HV_{0,05}.

Результаты экспериментальных исследований (таблица) показывают, что лазерная обработка покрытий, полученных МЭУ, при уменьшении

средней их толщины в 1,12 раза, позволяет повысить качество поверхностного слоя за счет снижения их объемной пористости в 2,7–3,3 раза и средней разнотолщинности в 1,16–1,21 раза.

Таблица

Пористость, толщина и разнотолщинность покрытий, полученных МЭУ и лазерной обработки

Материал ФМП	Средняя толщина покрытий, мкм	Средняя разнотолщинность покрытий, мкм	Объемная пористость покрытий, %
Магнитно-электрическое упрочнение			
Fe-Ti	257	63	6,8
Fe-5%V	263	57	4,6
ФБХ-6-2	274	51	5,1
Магнитно-электрическое упрочнение и лазерная обработка			
Fe-Ti	229	54	2,3
Fe-5%V	235	49	1,4
ФБХ-6-2	244	42	1,9

Выводы.

Экспериментальными исследованиями установлено, что лазерная обработка покрытий, полученных МЭУ, обеспечивает:

- 1) снижение средней микротвердости поверхностного слоя примерно в 1,2 раза;
- 2) уменьшение объемной пористости покрытий в 2,7–3,3 раза и их средней разнотолщинности в 1,16–1,21 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле / Л.М. Акулович. – Новоолоцк : ПГУ, 1999. – 240 с.
2. Черноиванов, В.И. Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы) / В.И. Черноиванов, И.Г. Голубев. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 376 с.
3. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.