

7. Иванов В.И., Гришко А.А. Электроискровая установка «БИГ-5» для универсального применения при упрочнении и восстановлении деталей и инструментов. / Упрочняющие технологии и покрытия, 2014, № 6, с. 20-23.

Abstract. The article presents the results of performed experimental studies of the process of electrospark alloying (ESA) in the direction of controlling the dispersion of the surface layer. The availability for each electric mode of a wide range of spark pulses for discharge energy and duration is established. The effect on the change in grain size of technological parameters of ESA in the investigated frequency range of pulses of 160 ... 1600 Hz is noted.

УДК 621.793

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

Мисько В.Г., старший преподаватель;

Василевский П.Н., магистр технических наук,
старший преподаватель

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

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ УПРОЧНЕНИЕМ И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

***Аннотация.** В статье приведены результаты исследований микроструктуры и свойств покрытий, полученных магнитно-электрическим упрочнением и лазерной обработкой.*

Для упрочнения и восстановления пустотелых 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. Вместе с тем, такие дефекты покрытий, как разнотолщинность, наличие пор не позволяют использовать МЭУ для упрочнения и восстановления поверхностей деталей машин, износ которых превышает 0,1 мм на диаметр [1, 3]. Решение этой проблемы возможно за счет обработки покрытий лазером. При этом следует отметить, что влияние лазерной обработки на кинетику фазовых превращений, структуру и свойства покрытий, полученных МЭУ, ранее не изучалось.

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

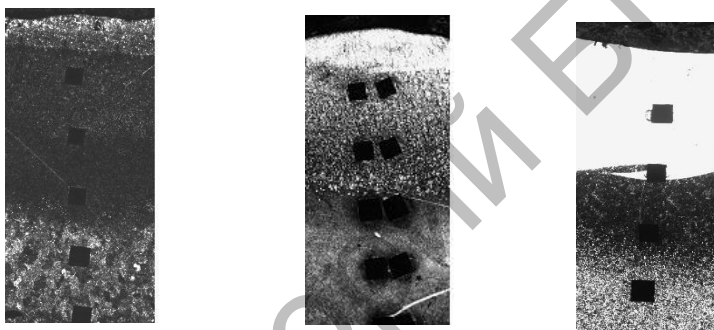
На поверхность образцов наносили покрытия из двухкомпонентных легированных порошков на основе железа Fe-5%V и Fe-Ti (ГОСТ 9849-86), сплава ФБХ-6-2 (ГОСТ 11546-75) в составе пасты (эпоксидная смола ЭДП (ТУ 2395-001-49582674-99), растворенная в жидком стекле (ТО РБ 02974150 – 015 – 99) на установке модели 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». Рентгенофазовый анализ (РФА) осуществляли с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3М. 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.

Микроструктурный анализ показал, что покрытия из ФМП Fe-Ti характеризуется мелкодендритным строением (рисунок 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 (рисунок 1, б), основу которого составляет твердый раствор ванадия в α -железе, остаточный аустенит, карбиды ванадия (V_2C , $V_4C_{2,67}$) и железа (FeC , FeC_8). 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 троосто-мартенсит.



Покрытия из ФМП: а – Fe-Ti ($\times 50$), б – Fe-5%V ($\times 50$), в – ФБХ-6-2 ($\times 50$)

Рисунок 1 – Фотографии микроструктуры покрытий после МЭУ и лазерной обработки

В покрытии из ФБХ-6-2 наплавленный слой имеет микроструктуру мелкодисперсного строения (рисунок 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 (Fe_2C), бориды (FeB , CrB_2 , Cr_3B_3) и ферроборида ($Cr_{1,65}Fe_{0,35}B_{0,96}$).

В результате РФА установлено, что в покрытиях из ФМП ФБХ-6-2 и Fe-5%V доля аустенита значительно больше, чем в покрытии из

ФМП Fe-Ti (таблица 1). Это обусловлено достаточно высокой концентрацией углерода стабилизирующего аустенит, что объясняется особенностью формирования структуры в процессе МЭУ. При лазерной обработке покрытий из ФМП ФБХ-6-2 и Fe-5%V в результате подплавления материала основы происходит встречная диффузия углерода в покрытие, а также частичное расплавление карбидов в жидком металле.

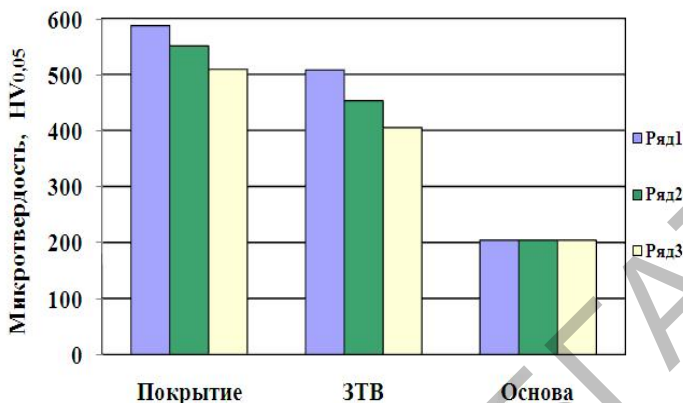
Таблица 1 – Фазовый состав покрытий из ФМП Fe-Ti, Fe-5%V и ФБХ-6-2

Присутствующие фазы	Содержание, %	Присутствующие фазы	Содержание, %	Присутствующие фазы	Содержание, %
Покрытие из ФМП Fe-Ti		Покрытие из ФМП Fe-5%V		Покрытие из ФМП ФБХ-6-2	
FeTi	1,10	V ₂ C	1,30	FeB	1,90
Fe ₂ Ti	0,90	V ₄ C _{2,67}	0,90	CrB ₂	1,60
TiC	1,90	FeC	1,60	Cr ₅ B ₃	1,80
FeC	2,40	FeC ₈	0,50	Cr ₇ C ₃	1,50
тврд. раств. Ti в α Fe	91,50	тврд. раств. V в α -Fe	91,10	Fe ₂ C	2,10
остаточный аустенит	2,20	остаточный аустенит	4,60	тврд. раств. Cr в α -Fe	87,00
				остаточный аустенит	4,10

Результаты исследований (рисунок 2) показывают, 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.

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}.

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



Ряд: 1 – ФБХ-6-2; 2 – Fe-5%V; 3 – Fe-Ti

Рисунок 2 – Диаграмма результатов исследований на микротвердость

Результаты исследований (таблица 2) 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 2 – 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. В покрытиях из ФМП ФБХ-6-2 и Fe-5%V значительно большую долю аустенита, чем в покрытии из ФМП Fe-Ti;
3. Уменьшение объемной пористости покрытий в 2,7–3,3 раза и их средней разнотолщинности в 1,16 – 1,21 раза.

Список использованной литературы

1. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. – Полоцк : 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.

Abstract. The article presents of the thickness and microstructure of coatings obtained by magnetic-electric hardening and laser treatment.

УДК 621.9

Дудников А.А., кандидат технических наук, профессор;

Беловод А.И., кандидат технических наук, доцент;

Келемеш А.А., кандидат технических наук;

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

Дудник В.В., кандидат технических наук

Полтавская государственная аграрная академия,

г. Полтава, Украина

ВЛИЯНИЕ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

Аннотация. В статье рассмотрены различные методы повышения надёжности деталей сельскохозяйственных машин. Исследован процесс вибрационной обработки деталей.