

СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ МАГНИТНО- ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ И ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Мисько В.Г.

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет»*

Введение. Актуальной проблемой в машиностроительном и ремонтном производствах является улучшение качества, повышение надежности и долговечности быстроизнашивающихся деталей машин и механизмов. Сельскохозяйственные машины содержат множество деталей, работающих в условиях трения как с открытым грунтом, когда превалирует абразивный и коррозионный виды изнашивания, так и в парах сопряжений [1]. Восстановление и упрочнение изношенных поверхностей рабочих органов сельскохозяйственных машин осуществляют путем нанесения покрытий и(или) упрочняющей термической обработки [2-4].

Для нанесения покрытий используют современные электрофизические методы, которые обеспечивают высокую прочность сцепления наносимых материалов с основой, минимальную зону термического влияния и высокую производительность. К их числу относятся электроискровое легирование, лазерное упрочнение (ЛУ), магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ) и др.

По физической сущности механизма формирования покрытия электроискровое легирование и МЭУ являются наиболее близкими способами. Их отличие состоит в том, что при МЭУ нанесение покрытий происходит путем многоэлектродного воздействия электрических разрядов [5], что повышает производительность обработки. К тому же при МЭУ импульсное магнитное поле оказывает модифицирующее воздействие на материал поверхностного слоя.

При магнитно-электрическом упрочнении (МЭУ) нанесение покрытий происходит путем многоэлектродного воздействия

электрических разрядов, что повышает производительность обработки. Упрочняемую поверхность располагают с определенным зазором относительно поверхности полюсного наконечника электромагнита, сообщают кинематическое движение, в зазор из бункера-дозатора непрерывно подают ферромагнитный порошок (ФМП). Под действием электрического разряда происходит плавление частиц ФМП в местах их контакта с поверхностью заготовки, что приводит к формированию на упрочняемой поверхности покрытия в виде множества точечных вкраплений.

Достоинствами магнитно-электрического упрочнения являются отсутствие специальной предварительной подготовки поверхности детали, незначительная зона термического влияния и высокая прочность сцепления покрытия с основным материалом.

Поверхностный слой после МЭУ обладает рядом существенных недостатков. К ним относятся:

- неравномерность распределения по упрочняемой поверхности отдельных точечных вкраплений материала ФМП, вызванная спонтанным формированием токопроводящих цепочек из зерен ФМП, что приводит к снижению сплошности наносимого покрытия и его разнотолщинности;

- высокая шероховатость поверхности ($Ra \geq 12,5$ мкм);

- вероятность образования микротрещин в поверхностном слое, вызванная высоким градиентом температуры при действии дугового разряда.

Перечисленные дефекты покрытий ограничивают область применения МЭУ. Для устранения дефектов некоторых показателей качества покрытий, сформированных после МЭУ, были проведены исследования их последующей обработки непрерывным лазером.

Лазерные методы упрочнения основаны на использовании тепла, генерируемого световым лучом с высокой концентрацией передаваемой энергии (не менее 10^6 Вт/см²). При взаимодействии с материалом детали лазерный луч за короткое время (10^2 - 10^3 с) оказывает интенсивное тепловое воздействие на материал поверхностного слоя, что обуславливает его модифицирование [6-9]. Лазерная обработка покрытий, полученных МЭУ, позволяет повысить качество поверхностного слоя за счет снижения их объемной пористости и средней разнотолщинности.

Экспериментально установлено, что толщина упрочненного слоя увеличивается с уменьшением скорости передвижения лазерного луча. При увеличении интенсивности теплового воздействия лазерным лучом, превышающем определенное значение, материал детали начинает испаряться, в результате чего на нем образуется кратер (каверна), а толщина упрочненного слоя увеличивается.

Эксперименты проводили на цилиндрических образцах из стали 45 (ГОСТ 1050-88) представляющих собой кольца с наружным диаметром 40 мм, внутренним — 16 мм и высотой 12 мм. Исходные образцы подвергали нормализации и поверхность, подлежащую упрочнению, обрабатывали до параметра шероховатости $Ra = 12,5$ мкм.

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. Последующую лазерную обработку покрытий производили на CO₂-лазере модели «Комета-2» мощностью 1 кВт.

Микроструктуру покрытий изучали 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 определяли по разности максимальной и минимальной местных толщин покрытий образца. Объемную пористость покрытий определяли методом гидростатического взвешивания.

Результаты исследований. Упрочненный поверхностный слой формируется в результате взаимодействия материалов ФМП и детали с образованием твердых растворов и взаимным диффузионным проникновением.

Микроструктура упрочненного слоя, обеспечивающая его физикомеханические параметры, определяется химическим составом ФМП и материала основы. По структурному строению в

упрочненном слое после МЭУ можно выделить три зоны: наплавленную, диффузионную и зону термического влияния (рис. 1, а).

Воздействие непрерывным лазером на поверхностный слой с покрытием после МЭУ уменьшает градиент структурной неоднородности, приводит к исчезновению микротрещин, повышает сплошность покрытия и уменьшает разнотолщинность (рис. 1, б,в).

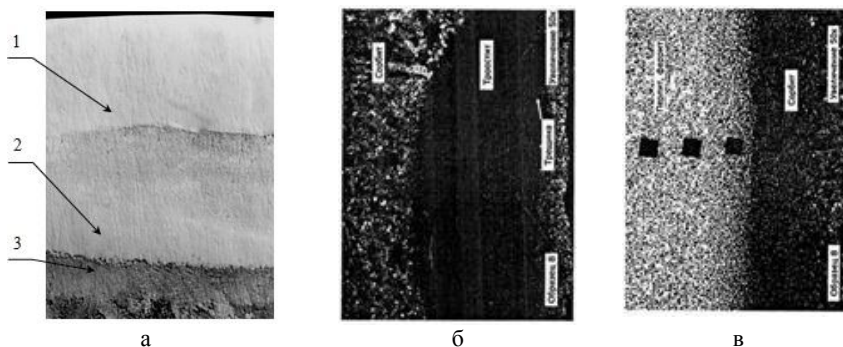


Рисунок 1. – Фотографии микроструктур покрытий после МЭУ из композиционного ферромагнитного порошка Fe-Ti
 а - структурное строение покрытия после МЭУ; б - после МЭУ между зонами структурного строения ($\times 50$); в - после МЭУ и лазерной обработки между зонами структурного строения ($\times 50$);
 1 - покрытие; 2 - зона термического влияния; 3 - основной материал

Микроструктурный анализ показал, что покрытия из ФМП Fe-Ti характеризуется мелкодендритным строением (рис. 2, 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 на глубине до 50-90 мкм происходит полная фазовая перекристаллизация материала основы с последовательным образованием структур - однофазной (дислокационного мартенсита) и двухфазной (дислокационного мартенсита и рекристаллизованного феррита).

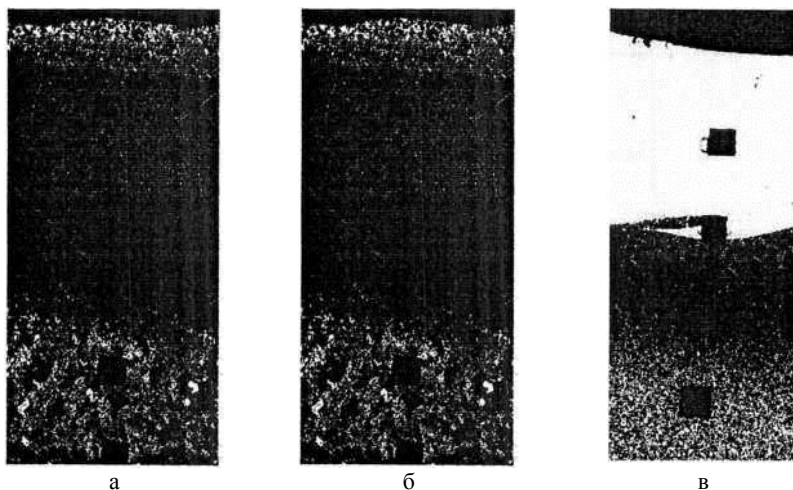


Рисунок 2. – Фотографии микроструктуры различных покрытий после МЭУ и лазерной обработки
 а - Fe-Ti (x50); б - Fe-5% V (x50); в - ФБХ-6-2 (x50)

Покрытие из порошка Fe-5% V также характеризуется мелкодендритным строением (рис. 2, б), основу которого составляет твердый раствор ванадия в α -железе. Структура наплавленного металла состоит из основы - твердого раствора ванадия в α -железе, остаточного аустенита, карбидов ванадия (V_2C , V_4C_{2-67}) и железа (FeC , $FeCs$). Диффузионная зона имеет структуру дислокационного мартенсита.

В покрытии из ФБХ-6-2 наплавленный слой имеет микроструктуру мелкодисперсного строения (рис. 2, 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_5B_3) и ферробориды ($Cr_{1,65}Fe_{0,35}B_{0,96}$). Структура покрытия состоит из основы - твердого раствора хрома в α -железе, а также остаточного аустенита, карбидов железа (Fe_2C), боридов (FeB , CrB_2 , Cr_5B_3) и ферроборида ($Cr_{1,65}Fe_{0,35}B_{0,96}$).

Результаты исследований микротвердости упрочненного слоя показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Микротвердость поверхностного слоя покрытий из композиционного ферромагнитного порошка Fe-Ti после МЭУ и лазерной обработки

Расстояние от поверхности, мм	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,5	5,0
Микротвёрдость, НV	437	467	438	346	376	371	209	201

Результаты экспериментальных 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 средней разнотолщинности в 1,16-1,21 раза

Таблица 2 – Толщина и разнотолщинность покрытий, полученных МЭУ и лазерной обработкой

Материал ФМП	Средняя толщина покрытий, мкм	Средняя разнотолщинность покрытий, мкм
Fe-Ti	257	63
Fe-5%V	263	57
ФБХ-6-2	274	51
Fe-Ti	229	54
Fe-5%V	235	49
ФБХ-6-2	244	42

Закключение. Показаны основные полученные результаты применения новой технологии обработки непрерывным лазером покрытий поверхности деталей сельскохозяйственных машин, выполненных МЭУ. Проведены экспериментальные исследования. Научно обоснована новизна и возможность целесообразности широкого применения обработки непрерывным лазером покрытий, полученных после МЭУ. Экспериментальными исследованиями установлено, что лазерная обработка таких покрытий значительно уменьшает градиент структурной неоднородности, приводит к полному исчезновению микротрещин, уменьшает среднюю разнотолщинность покрытий до 1,2 раза и объемную пористость покрытий до 3-х раз, а также наблюдается снижение микронапряжений с 0,74 % до 0,1%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черноиванов, В. И. Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы) / В. И. Черноиванов, И. Г. Голубев. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2010. - 376 с.
2. Казаровец, Н. В. Инновационные технологии упрочнения деталей сельскохозяйственной техники / Н.В. Казаровец, Г.Ф. Бетенья, Г.И. Анискович // Сборник докладов 12 МНТК (10–12 сентября 2012 г., г. Углич). М., ФГУП «Изд-во «Известия», 2012. – С. 219–228.
3. Бетенья, Г.Ф. Упрочнение деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин в условиях импульсного закалочного охлаждения / Г.Ф. Бетенья, А.В. Кривцов // Агропанорама. 2015. – №3. – С. 15–19.
4. Анискович, Г.И. Экономическая эффективность импортозамещающего производства запасных частей для тракторных плугов / Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2018. - №4. - С. 10-17.
5. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. - Минск : БГАТУ, 2016. - 236 с.
6. Перспективные методы модификации поверхности металлов лазерной обработкой / В. Е. Архипов [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2008. – № 12. –С. 26–31.
7. Шатульский, А.А. Применение методов прототипирования для изготовления изделий машиностроения / А.А. Шатульский, М.А. Шаповалова // Научные технологии в машиностроении. – 2011. – № 1. – С. 24–29.
8. Девойно, О.Г. Поверхностное упрочнение серого чугуна совмещенной лазерной и ультразвуковой обработкой / Наука и техника. – 2013. – №2. – С. 3–6.
9. Григорьянц, А.Г. Создание композиционных покрытий из металлических порошков лазерной объемной наплавкой / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, Р.С. Третьяков // Сварочное производство. – 2018. – №5. – С. 21–28.