

НАНЕСЕНИЕ И ОБРАБОТКА В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

**Акулович Л.М., д.т.н., профессор,
Миранович А.В., к.т.н., доцент**

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет»*

Введение. Потеря работоспособности агрегатов и узлов сельскохозяйственной техники обусловлена, в большинстве случаев, процессами изнашивания поверхностей деталей [1, 2]. Изношенные поверхности большинства деталей могут быть восстановлены в условиях ремонтных предприятий применением современных технологий нанесения износостойких покрытий с использованием концентрированных потоков энергии [3]. Разнообразие условий работы сельскохозяйственных машин обусловило появление множества способов упрочнения и восстановления поверхностей изнашиваемых в узлах трения деталей. В условиях ремонтных производств выбор технологий восстановления и последующей размерной обработки поверхностей определяется простотой их реализации и условиями эксплуатации изделия. Одним из наиболее экономичных решений этой задачи является использование поверхностного модифицирования деталей трибосопряжений с последующей финишной обработкой, а также комбинированное совмещение различных энергетических воздействий. Электромагнитные потоки энергии наиболее просты в реализации и удобны в управлении, и, в этой связи, особенно перспективны при создании установок для комбинированной упрочняющей и размерной обработки.

Цель исследования – оценка влияния комбинированной упрочняющей обработки стальных поверхностей деталей машин в электромагнитном поле на интенсивность обработки и качество формируемых покрытий.

Основная часть. Методика экспериментальных исследований. Нанесение покрытий из ФМП на образцы из стали 45 проводили способом МЭУ на установке модели УНП-1, содержащей электромагнитную систему и сварочный источник инверторного типа модели Inverter V270T. Режимы МЭУ: величина магнитной индукции в рабочем зазоре $B_3 = 1,0$ Тл; сила технологического тока $I = 110$ А; величина рабочего зазора $\delta = 1,5$ мм; скорость вращения заготовки $V = 0,06$ м/с; подача упрочняющего порошка $q = 2,9 \cdot 10^{-3}$ г/(с·мм²); размер частиц ФМП $\Delta = 320$ мкм; расход рабочей жидкости $q = 2,0 \cdot 10^{-3}$ дм³/(с·мм²). В качестве рабочей жидкости использовали 5%-й раствор эмульсола Э2 в воде. Микроструктуру покрытий исследовали на образцах (кольца 40×16×12) с применением светового микроскопа Mef-3 с диапазоном увеличения 100 – 1000 раз, фирмы «Reichert-Jung». В процессе исследования параметров качества покрытий изучалось по пять наиболее характерных участков одного образца с покрытием.

Предпочтительными являются технологии, пригодные как для упрочнения новых, так и для восстановления изношенных изделий. При этом следует учитывать возможность создания на детали такого покрытия, которое удовлетворяло бы эксплуатационным требованиям к рабочей поверхности и сохраняло бы физико-механические свойства основы. Одним из таких способов нанесения покрытий является магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ), позволяющее осуществлять поверхностное упрочнение и восстановление стальных поверхностей.

Сущность способа МЭУ (рис. 1а) состоит в том, что заготовку 1 и полюсный наконечник 3 электромагнита подключают к источнику технологического тока 5 с помощью скользящего контакта 4. В зазор из бункера-дозатора 6 подают ферромагнитный порошок (ФМП), частицы которого выстраиваются в токопроводящие «цепочки» 2 и замыкают электрическую цепь. При прохождении электрического разряда по «цепочке» частицы ФМП, находящиеся в контакте с поверхностью заготовки, оплавляются, а на месте расплавленных «цепочек» образуются точечные вкрапления расплава порошка. Поскольку ФМП подается непрерывно, то на месте расплавленных «цепочек» образуются новые, и процесс продолжается. Упрочненный слой формируется путем образования

на поверхности детали множества точечных вкраплений из расплавленного материала частиц порошка. Покрытие наносят в один слой: первоначально на поверхности формируются единичные точечные вкрапления округлой формы, затем свободные участки заполняются новыми вкраплениями. При этом сплошность покрытия и его масса увеличиваются, а толщина практически не изменяется. Физико-механические свойства упрочненного поверхностного слоя зависят от химического состава композиционных ФМП, упрочняемого металла и технологических режимов обработки.

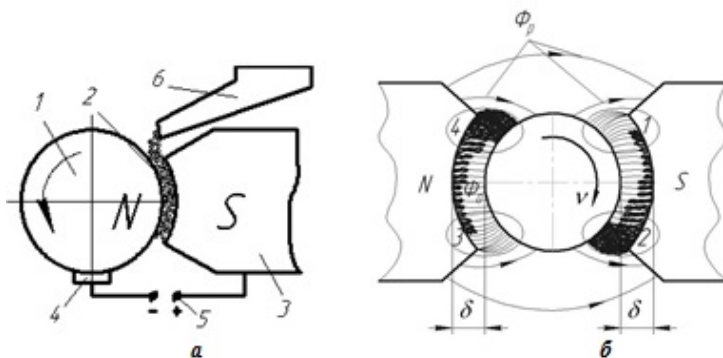


Рисунок 1. – Схемы МЭУ (а) и МАО (б) наружных цилиндрических поверхностей 1 – заготовка, 2 – токопроводящие «цепочки» из ФМП, 3 – полюсный наконечник, 4 – скользящий контакт, 5 – источник технологического тока, 6 – бункер-дозатор ФМП, Φ_0 – магнитный поток, Φ_p – поток рассеивания, δ – рабочие зазоры, 1-4 – зоны формирования режущего инструмента

МЭУ имеет ряд существенных достоинств: не требуется специальной подготовки поверхности перед упрочнением; отсутствует температурная деформация детали; управление технологическими режимами производится достаточно просто. Вместе с тем для процесса МЭУ свойственна неравномерность распределения по упрочняемой поверхности отдельных вкраплений материала композиционного ферромагнитного порошка (ФМП), вызванная спонтанным формированием токопроводящих цепочек из зерен ФМП и, как следствие, местом возникновения электрических разрядов. Это приводит как к снижению сплошности наносимого покрытия, так и к неэффективному использованию упрочняющего порошка.

Для повышения точности и качества обрабатываемых поверхностей деталей в настоящее время широкое развитие получил метод магнитно-абразивной обработки (МАО), кинематика которой аналогична кинематике при МЭУ (рис. 1,б).

Если через токопроводящие цепочки пропускать импульсный электрический ток, то происходит оплавление частиц ФМП в местах их контакта с поверхностью детали и перенос расплава на упрочняемую поверхность, т.е. осуществляется процесс МЭУ. При отсутствии тока происходит царапание частицами ферроабразивного порошка (ФАП) микронеровностей на поверхности детали, т.е. осуществляется процесс МАО. Принципиальное отличие этих методов обработки состоит в том, что при МАО источник технологического тока отсутствует, а ферромагнитный порошок обладает режущими свойствами. Режущим инструментом при МАО является абразивная щётка, формирующаяся из ФАП в рабочем зазоре под действием магнитного поля. Важнейшей отличительной особенностью МАО от других финишных абразивных способов обработки является возможность управлять плотностью и жесткостью режущего инструмента, изменяя величину и топографию магнитного поля в рабочем зазоре. МАО обеспечивает шероховатость поверхности $Ra \leq 0,02$ мкм, снижение волнистости в 8-10 раз, гранности до 2 раз [4].

Проведенные исследования процесса МЭУ [2, 3] были направлены на интенсификацию нанесения покрытий управлением электрическими разрядами, изменяющими усилия прижима зерен ФМП к упрочняемой поверхности. Однако комплексное влияние параметров магнитного поля и электрической проводимости рабочего зазора между упрочняемой поверхностью и полюсным наконечником магнита на сплошность наносимого покрытия и его износостойкость не установлена. Кроме того, на износостойкость упрочненной поверхности существенное влияние оказывают геометрические параметры качества, формируемые при ее последующей обработке.

Одним из эффективных методов повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей является комбинирование МЭУ и МАО. Эти способы обработки могут быть реализованы в едином технологическом процессе на одном оборудовании.

Структура покрытий, полученных МЭУ, характеризуется наличием трех зон: наплавленной, диффузионной и зоны термического влияния (рис. 2).

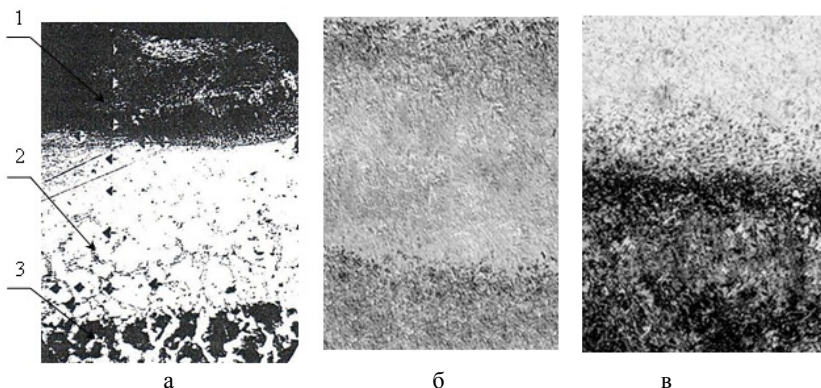


Рисунок 2. – Фотографии микроструктуры покрытий из различных ФМП после МЭУ стали 45

1 – наплавленная зона; 2 – диффузионная зона; 3 – зона термического влияния; покрытия из ФМП: а – ФБ-17 ($\times 200$), б – ФБХ-6-2 ($\times 500$), в – Fe-Ti ($\times 500$)

Покрытие представляет собой монолитный слой, полученный из множества капель расплава ФМП.

Микроструктуры нанесенных ФМП мелкодендритного строения с равномерным распределением легирующих элементов. Верхняя часть покрытия имеет равноосное ячеистое строение, а на границе с основой – столбчатое дендритно-ячеистое, которое ориентировано в направлении максимального теплоотвода, т.е. перпендикулярно поверхности образца. Зона термического влияния (ЗТВ) имеет структуру дислокационного мартенсита. Под ЗТВ находится зона неполной закалки, структура которой представляет феррит и отдельные участки перлита, превратившегося в троосто-мартенсит.

Технологический маршрут комбинированного процесса нанесения покрытий в электромагнитном поле на восстанавливаемые поверхности деталей: очистка и мойка деталей от загрязнений – дефектация и сортировка деталей – МЭУ совмещенное с поверхностным пластическим деформированием (ППД) или шлифованием – МАО.

Наибольший эффект получен при совмещении МЭУ с ППД. При этом происходит дополнительно термомеханическое упрочнение. На упрочняемую поверхность одновременно воздействуют электромагнитные и термомеханические потоки энергии. Для разогрева поверхностного слоя используется технологическое тепло электрических разрядов. При таком комбинированном воздействии происходит формирование покрытия, нагрев образовавшихся неровностей, их деформирование и сглаживание. Происходящие структурные и фазовые превращения определяют физико-механические свойства покрытий. Шероховатость поверхности уменьшается до Ra (1,25÷0,63) мкм (рис. 3).

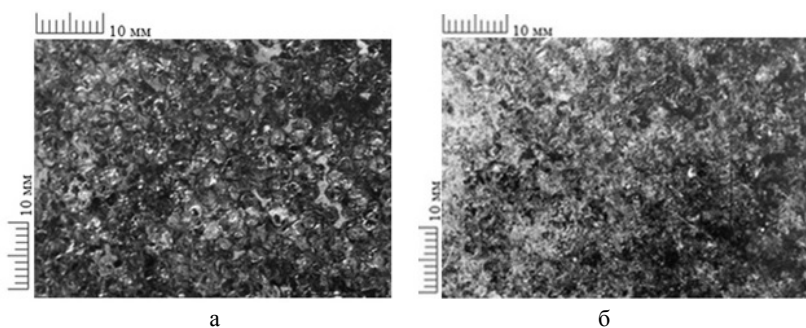


Рисунок 3. – Фотографии поверхностей: *а* – после МЭУ, *б* – МЭУ с ППД
После последующей МАО шероховатость поверхности уменьшилась и ее среднее значение составило $Ra = 0,02$ мкм.

Заключение. 1. Комбинированный процесс магнитно-электрического упрочнения, поверхностного пластического деформирования и магнитно-абразивной обработки повышает производительность за счет совмещения во времени энергетических воздействий и качество поверхности наносимых покрытий.

2. При комбинированном нанесении покрытий в электромагнитном поле процесс преобразования структуры поверхностного слоя происходит в результате одновременного протекания двух и более энергетических воздействий. Установлено, что микроструктура нанесенных покрытий из композиционных

ферромагнитных порошков имеет мелкодендритное строение с равномерным распределением легирующих элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черноиванов, В.И. Восстановление деталей машин (Состояние и перспективы) / В.И. Черноиванов, И.Г. Голубев. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 376 с.
2. Горохова, М.Н. Повышение эффективности комбинированного способа восстановления деталей ферромагнитными порошками : автореф. дис. ... док. техн. наук / М.Н. Горохова ; ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии. – М., 2013. – 32 с.
3. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.
4. Акулович, Л. М. Магнитно-абразивная обработка сложнопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин / Л. М. Акулович, Л.Е. Сергеев – Минск : БГАТУ, 2019. – 272 с.

УДК 621.923

МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ШАРОВЫХ ПАЛЬЦЕВ ШАРНИРОВ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Акулович Л.М., д.т.н., профессор; Сергеев Л.Е., к.т.н., доцент

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Введение. В настоящее время для финишной обработки сложнопрофильных поверхностей тел вращения требуется создание дорогостоящих специальных абразивных инструментов, у которых профиль режущей кромки должен геометрически или программно отражать топологию обрабатываемой поверхности. При обработке таким инструментом поверхностей с переменной кривизной изменяются значения фактических углов резания, поскольку давление инструмента и скорость резания на различных участках контура деталей имеют разные значения. В результате на