

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРОЧНЕНИЯ И  
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ В  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ**

**Акулович Л.М. проф., д.т.н., Миранович А.В. инж., Новиков М.И. студ.**

*(Белорусский государственный аграрный технический университет)*

**Счастный Д.В. инж.**

*(Республиканское унитарное предприятие «Завод Минскагропромаш»)*

*В статье рассматриваются технологические методы упрочнения и восстановления деталей автотракторной техники в комбинированных электрическом и магнитном полях.*

Для повышения износостойкости посадочных поверхностей деталей автотракторной техники и рабочих органов землеобрабатывающих машин применяют методы упрочнения, использующие высокоинтенсивные источники энергии (плазменная, индукционная, лазерная наплавки и др.). К ним относится и наплавка в комбинированном электромагнитном поле [1].

Известны различные технологические схемы упрочнения и восстановления деталей машин нанесением покрытий в электромагнитном поле [1 ... 2]. Наплавка ферропорошка в комбинированном электромагнитном поле осуществляется в составе смазочно-охлаждающей жидкости на детали типа тела вращения (рис. 1, а) и на плоские поверхности деталей (рис. 1, б). Оба варианта имеют свои преимущества и недостатки. Так, применение первой схемы приводит к уменьшению коэффициента использования ферропорошка (0,70 – 0,78), так как при нанесении покрытий происходит выброс частиц из рабочей зоны. При этом значительно уменьшается тепловая нагрузка на полюсный наконечник, благодаря чему облегчаются условия (устойчивость,

стабильность процесса наплавки) и ресурс работы. В случае применения второй схемы нанесение покрытий происходит недостаточно стабильно в результате дозированной подачи ферропорошка. Однако данная технологическая схема упрочнения позволяет осуществлять наплавку торцевых и боковых поверхностей изделий одновременно.

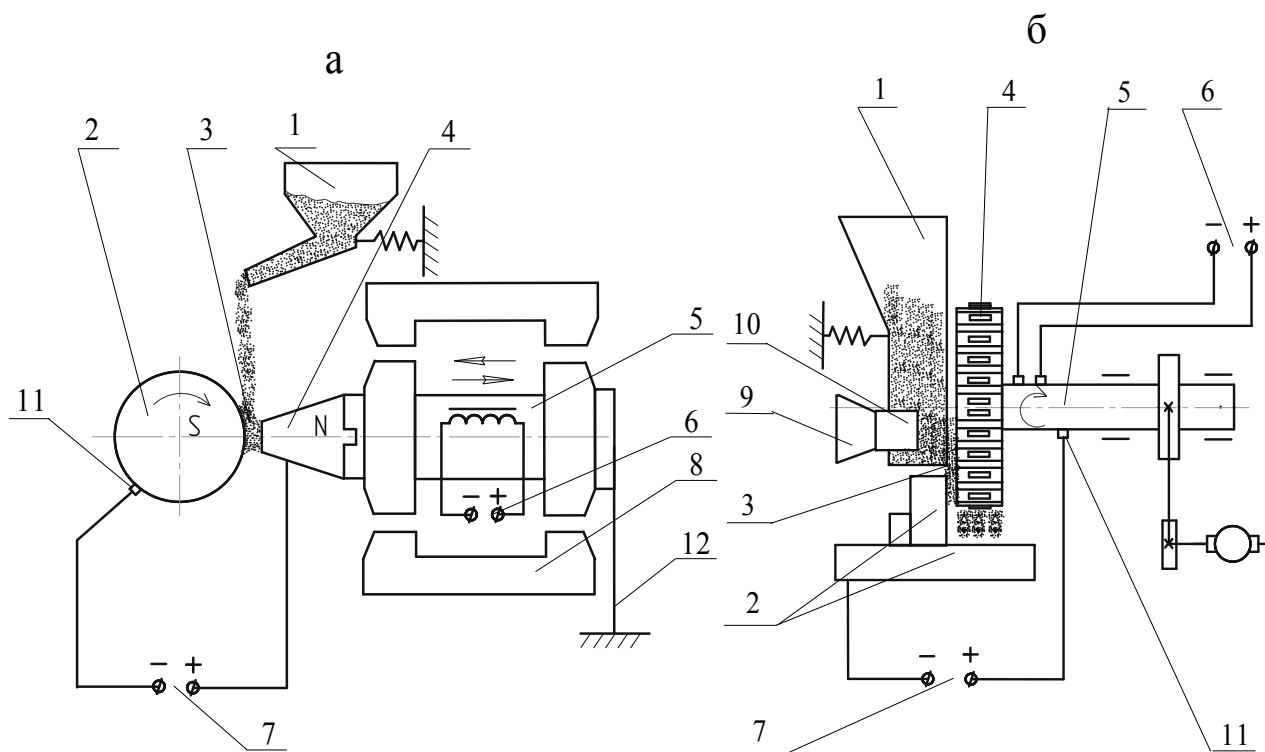


Рисунок 1. Схемы наплавки ферропорошка в комбинированном электромагнитном поле в составе смазочно-охлаждающей жидкости на детали типа тела вращения (а) и на плоские поверхности деталей (б): 1 – бункер-дозатор; 2 – изделие; 3 – ферропорошок; 4 – полюсный наконечник; 5 – сердечник; 6 – источник питания электромагнита; 7 – источник технологического тока; 8 – электромагнитная катушка; 9 – кран; 10 – спрейер; 11 – скользящий контакт; 12 – пружина плоская

Известно [2, 3], что формирование покрытий на поверхности изделий с использованием установок наплавки происходит в рабочей зоне – пространстве, ограниченном полюсными наконечниками и деталью, в котором образуется многоэлектродная система из частиц ферропорошка в результате воздействия на них комбинированного электромагнитного поля. Рабочая зона установок

образуется магнитной системой, представляющей собой совокупность источников электрического и магнитного полей с магнитопроводами. При этом формирование комбинированного электромагнитного поля в рабочем зазоре обеспечивается сочетанием контура наплавки и внешнего электромагнитного поля.

Так, электромагнитное поле наплавочного контура создается током наплавки, проходящим по цепочкам-микроэлектродам в рабочем зазоре и током, протекающим по основному металлу изделия. Направления силовых линий в обоих случаях совпадают, согласно принципу суперпозиции, и индукция электромагнитного поля наплавочного контура составляет

$$B_n = B_u + B_m,$$

где  $B_u$ ,  $B_m$  – индукция электромагнитного поля, создаваемого соответственно током, проходящим по цепочкам-микроэлектродам и током, протекающим по основному металлу изделия, Тл.

Согласно закону Био-Саварра индукция электромагнитного поля проводника с током определяется по формуле

$$B = \mu \frac{I}{2\pi\ell},$$

где  $I$  – ток наплавки, А;

$\ell$  – расстояние от проводника с током (сердечника с полюсным наконечником) до изделия, м;  $\mu$  – магнитная проницаемость среды, Гн/м.

Индукция электромагнитного поля наплавочного контура на расстоянии от поверхности изделия в этом случае описывается следующей зависимостью:

$$B_n = \mu\mu_0 \left( \frac{I}{2\pi\ell_u} + \frac{I}{2\pi\ell_m} \right), \quad (1)$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная, равная  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;

$\ell_u$  – расстояние рассматриваемой точки от цепочек-микроэлектродов, по которым проходит ток наплавки, м;

$\ell_m$  – расстояние рассматриваемой точки по отношению к составляющей тока, протекающего по основному металлу изделия, м.

Согласно (1), индукция электромагнитного поля наплавочного контура увеличивается при повышении тока наплавки и приближении к поверхности изделия проводника с током, т.е. полюсного наконечника.

Как известно, распределение индукции в рабочем зазоре по торцу полюсного наконечника зависит от источника внешнего магнитного поля (переменного, импульсного или постоянного). В установках в основном используются электромагниты на выпрямленном или переменном (пульсирующем) токе, которые позволяют получать периодически изменяющуюся во времени величину магнитной индукции

$$B_{\varepsilon} = B_m \sin \omega t, \quad (2)$$

где  $B_{\varepsilon}$ ,  $B_m$  – мгновенное и максимальное величины магнитной индукции в рабочем зазоре, Тл;

$\omega = 2\pi f$  – круговая частота, Гц;

$t$  – время, с.

Бесступенчатое регулирование магнитного поля осуществляют за счет изменения величины тока в электромагнитной катушке. При этом индукция поля, создаваемого электромагнитом в рабочем зазоре определяется по зависимости [1, 3]

$$B_{\varepsilon} = \frac{I \omega_n \mu_{ст} \mu_0}{\mu_{ст} \delta + \ell_{ср}},$$

где  $I$  – сила тока электромагнитной катушки, А;

$\omega_n$  – число витков катушки;

$\mu_{ст}$  – относительная магнитная проницаемость стали, Гн/м;

$\delta$  – рабочий зазор, м;

$\ell_{ср}$  – длина средней магнитной линии, равная суммарной длине участков стали магнитопровода, м.

Установлено [4], что для эффективных электромагнитных воздействий на расплав капле ферропорошка и, соответственно, обеспечения благоприятных условий формирования покрытий на изделиях необходимо получение равномерного распределения градиента индукции и стабильной величины временных характеристик магнитного поля в рабочем зазоре. При этом в процессе упрочнения управляющим воздействием в рабочей зоне является внешнее электромагнитное поле, которое при взаимодействии с электрическим полем тока наплавки создает силы, определяющие движение капле расплава ферропорошка и расплавленного металла изделия в микролунке. Так, электромагнитные силы воздействуют на легкодеформируемые жидкие и газообразные частицы ферропорошка, изменяя их геометрические формы и движение в рабочем зазоре, определяют производительность процесса наплавки и качество формируемого покрытия.

Анализ параметров зависимости (2), при их взаимодействии показывает, что величина магнитной индукции оказывает влияние на интенсивность образования цепочек-микроэлектродов и их электрическую проводимость. Переменный характер магнитной индукции на границах участков с различным магнитным сопротивлением способствует хаотичному распределению ферропорошка в рабочем зазоре. В результате градиент магнитной индукции  $\text{grad}\vec{B}$  на отдельных участках рабочего зазора изменяется с частотой образования разрядных цепочек из частиц ферропорошка. При таких условиях магнитная сила  $F_m$ , удерживающая цепочки-микроэлектроды в рабочей зоне, будет неодинакова для частиц ферропорошка.

Известно [4], что на электрическое поле контура наплавки действуют внешние управляемые продольные и поперечные магнитные поля (рис. 2). При этом продольное магнитное поле удерживает цепочки-микроэлектроды ферропорошка в рабочем зазоре, придает им требуемую жесткость и устойчивость. Поперечное магнитное поле обеспечивает вращательное движение капле расплава ферропорошка с заданным эксцентриситетом вдоль магнитных силовых линий. Так, при совпадении поперечного и электрического

полей создается избыточное магнитное давление и происходит отклонение дуговых разрядов в сторону более слабого поля [3, 4].

Наиболее эффективным направлением устранения выше указанных недостатков является использование комбинированных внешних магнитных полей, которые при взаимодействии с током наплавки создают электромагнитные силы, позволяющие управлять качеством наплавляемых покрытий. Для исключения колебаний цепочек-микроэлектродов ферропорошка в рабочем зазоре предложено применять системы с постоянными магнитами. Это технологическое решение позволяет отказаться от источника питания с переменными или импульсными электрическими магнитами, упростить конструкцию установки для нанесения покрытий, исключить необходимость в герметизации катушек от попадания смазочно-охлаждающей жидкости, уменьшить габаритные размеры и массу.

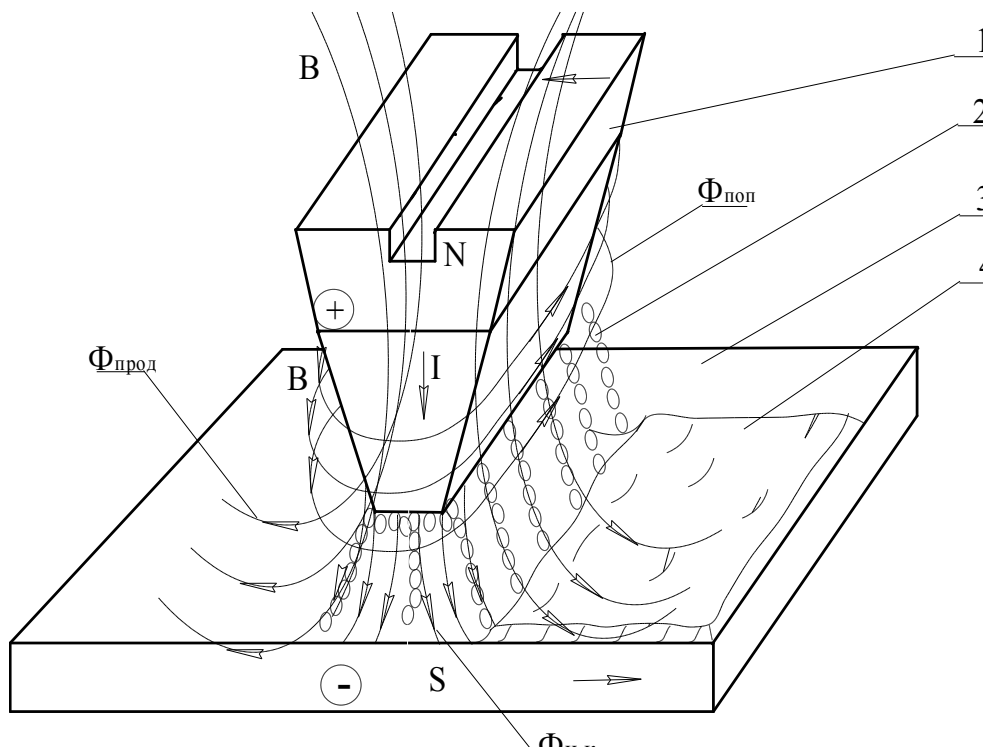


Рисунок 2. Схема рабочей зоны при упрочнении плоских поверхностей: 1 – полюсный наконечник; 2 – цепочки-микроэлектроды из ферропорошка; 3 – упрочняемая поверхность изделия; 4 – покрытие;  $\Phi_{\text{прод}}$ ,  $\Phi_{\text{перп}}$ ,  $\Phi_{\text{н.к.}}$  – направление силовых линий продольного магнитного поля, поперечного

магнитного поля, магнитного поля наплавочного электрического контура соответственно

В результате принятых технологических решений изготовлено устройство для упрочнения плоских поверхностей в комбинированном электромагнитном поле [5]. Используемая в устройстве конструкция магнитной системы в виде двух магнитов E-образной формы, расположенных перпендикулярно друг к другу, создает оптимальную конфигурацию магнитных потоков, которая обеспечивает требуемую величину индукции в рабочем зазоре и приближает распределение магнитного поля по длине рабочих торцев полюсных наконечников (центрального и боковых) к однородному.

С целью проверки эффективности разработанной магнитной системы по обеспечению стабильности и устойчивости процесса наплавки проведены сравнительные испытания, результаты которых приведены в табл.

Таблица – Результаты сравнительных испытаний

Показатели	Магнитная система	
	с электрическими магнитами	с постоянными магнитами
Величина индукции, Тл	0,6 – 1,2	0,4 – 0,8
Величина напряжения, В	36,0	–
Расход порошка, $г/(с \cdot мм^2) \cdot 10^{-3}$	2,9	2,55
Расход СОЖ, $дм^3/(с \cdot мм^2) \cdot 10^{-3}$	0,5	0,4
Плотность тока, $А/мм^2$	2,2	1,8
Коэффициент использования порошка	0,6 – 0,8	0,7 – 0,9
Производительность, мг	220 – 240	260 – 270
Потребляемая мощность, кВт	5,1	3,5
Габаритные размеры, мм	215x180x250	130x190x110
Масса, кг	20	7,5

Устройство применяется для упрочнения в комбинированном электромагнитном поле дисков сошника сеялки СЗП – 3,6А, а также восстановления и упрочнения посадочных мест под подшипники качения и скольжения валов коробки перемены передач трактора К – 701 и автомобилей КаМАЗ – 5320. Разработанная технология восстановления и упрочнения посадочных поверхностей деталей автотракторной техники и рабочих органов землеобрабатывающих машин внедрена в условиях производства ОАО

«Вилейская райагропромтехника» и РУП «Завод Минскагропромаш». Годовой экономический эффект на предприятиях составил 4,5 и 7,2 млн. рублей соответственно.

## **Список литературы**

1. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле / Ящерицын П. И., Кожуро Л. М., Ракомсин А. П. и др. – Мн.: Изд-во ФТИ, 1997. – 416 с.

2. Василевский И. Н., Кожуро Л. М., Миранович А. В., Тризна В. В. Повышение эксплуатационных свойств деталей машин наплавкой паст в электромагнитном поле // Агропанорама. – Мн., 2003. – № 4. – С. 11 – 12.

3. Иродов И. Е. Основные законы электромагнетизма: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.

4. Теория сварочных процессов / Волченко В. Н., Ямпольский В. М., Винокуров В. А. и др.; Под ред. В. В. Фролова – М.: Высш. шк., 1988. – 559 с.

5. Пат. №1378. МКИ С23С26/00. Устройство для нанесения металлических покрытий / Витязь П. А., Ильющенко А. Ф., Кожуро Л.М., Миранович А. В. – u20030410; Заявл. 22.09.03; Оpubл. 30.06.04 Бюл. №30. – 2 с.

## **Аннотация**

### **Технологические методы упрочнения и восстановления деталей автотракторной техники в электромагнитном поле**

Акулович Л. М., Миранович А. В., Счастный Д.В., Новиков М.И.

*В статье рассматриваются технологические методы упрочнения и восстановления деталей автотракторной техники в комбинированных электрическом и магнитном полях.*

## **Abstract**



**Technological methods of hardening and restoration of details of autotractor  
technics in an electromagnetic field**

L.M. Akulovich, A.V. Miranovich, D.V. Schastny, M.I. Novikov

*In article technological methods of hardening and restoration of details of  
autotractor technics in the combined electric and magnetic fields are considered.*