

ЛИТЕРАТУРА

1. Драгилев А. И. Технологические машины и аппараты пищевых производств / А. И. Драгилев, В. С. Дроздов. – М. : Колос, 1999. – 376 с.
2. Скворчевский Н. Я. Эффективность магнитно-абразивной обработки / Н. Я. Скворчевский, Э. Н. Федорович, П. К. Ящерицын. – Мн. : Наука и техника, 1991. – 215 с.

УДК 621.793

ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ В КОМБИНИРОВАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Миранович А. В., ст. преподаватель;
Немизанский А. В., магистрант

(УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск)

Практика эксплуатации землеобрабатывающих машин показывает, что в качестве рабочих органов в основном используют плоские детали (фасонные или сплошные диски сеялок и борон, лемеха и полевые диски плугов и др.). Для повышения износостойкости их рабочие поверхности упрочняют способами, использующими высокоинтенсивные источники энергии (плазменная, индукционная, лазерная наплавки и др.). К ним относится и электромагнитная наплавка (ЭМН), позволяющая получить толщину покрытия 0,4–0,8 мм [1].

Известны две схемы ЭМН ферропорошка на плоские поверхности деталей машин [2]. При осуществлении наплавки по первой схеме (рис. 1, а) в рабочий зазор вводится ферропорошок в составе смазочно-охлаждающей жидкости, а по второй (рис. 1, б) – в составе пасты (смесь эпоксидной смолы и жидкого стекла). Оба варианта имеют свои преимущества и недостатки. Так, применение первой схемы приводит к уменьшению коэффициента использования ферропорошка (0,70–0,78), так как зерна порошка при нанесении покрытий вы-

брасываются из рабочей зоны в результате действия гидродинамических сил при электрических разрядах. При этом значительно уменьшается тепловая нагрузка на полюсный наконечник, благодаря чему облегчаются условия формирования покрытий (устойчивость, стабильность процесса ЭМН) и ресурс работы. В случае использования второй схемы требуется строго дозированная подача ферропорошка и пасты, что усложняет процесс ЭМН. Однако в процессе наплавки происходят нагрев и разложение пасты с выделением значительного количества углекислого газа и водорода, которые образуют экран рабочей зоны, предохраняющий процесс ЭМН от воздействия окружающей среды.

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

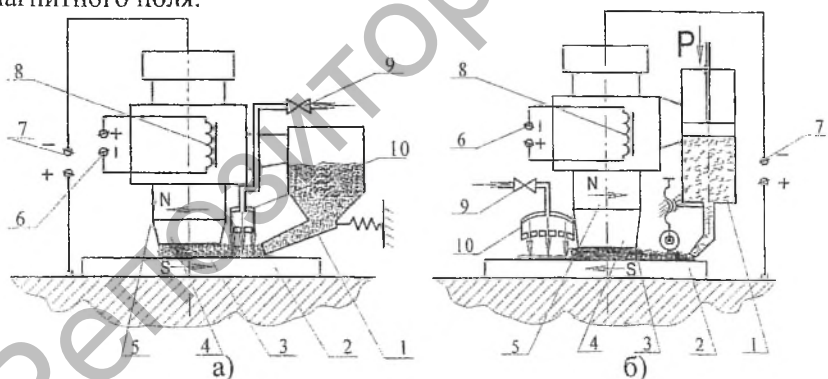


Рис. 1. Схемы ЭМН ферропорошка в составе смазочно-охлаждающей жидкости (а) и в составе пасты (б) на плоские поверхности деталей машин: 1 – бункер-дозатор; 2 – изделие; 3 – ферропорошок; 4 – полюсный наконечник; 5 – сердечник; 6 – источник питания электромагнита; 7 – источник технологического тока; 8 – электромагнитная катушка; 9 – кран; 10 – спрейер

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

$$B_z = B_m \sin \omega t, \quad (1)$$

где B_z, B_m – мгновенные и максимальные величины магнитной индукции в рабочем зазоре, Тл;

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

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 [3]

$$B_z = \frac{I \omega_n \mu_{ст} \mu_0}{\mu_{ст} \delta + \ell_{ср}}, \quad (2)$$

где I – сила тока электромагнитной катушки, А;

ω_n – число витков катушки;

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

δ – 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 ЭМН управляющим воздействием в рабочей зоне является внешнее электромагнитное поле, которое при взаимодействии с электрическим полем тока наплавки создаст силы, определяющие движение капле расплава ферропорошка и расплавленного металла изделия в микролунке. Так, электромагнитные силы воздействуют на легкодеформируемые зерна ферропорошка, изменяя их геометрические формы и движение в рабочем зазоре, определяют производительность процесса наплавки и качество формируемого покрытия.

Анализ параметров зависимости (1) 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 зерен ферропорошка. При таких условиях магнитная сила, удерживающая цепочки – микроэлектроды в рабочей зоне, будет неодинакова для зерен ферропорошка. По этой причине важно было дать оценку влияния временных характеристик электромагнитного поля и распределения индукции в рабочем зазоре на процесс формирования покрытий на поверхности изделия.

Для этого проведены исследования распределения индукции внешнего магнитного поля в рабочей зоне установок ЭМН с электромагнитами для схем (рис. 1, а и б). Питание электромагнитных катушек в первом случае осуществлялось от сети переменного тока промышленной частоты, а во втором – от выпрямителя, обеспечивающего частоту магнитного поля 0,5–12,5 Гц (рис. 2, а). Измерения выполняли теслаамперметром Ф4354/1 и специальными щупами с датчиками Холла, имеющими размеры 80×5,0×0,8 мм, установленными на краях и в центре рабочего зазора. По изменению величины индукции в различных точках оценивали интенсивность магнитного поля в рабочей зоне. Анализ результатов эксперимента показывает, что знакопеременные магнитные поля (частотой $\nu = 0,5$, $\nu = 12,5$ и $\nu = 50$ Гц, индукцией в рабочей зоне $B = 0,5\text{--}0,9$ Тл) недостаточно однородны (рис. 2, б, в, и г), что вызывает поперечные колебания и миграцию не только цепочек – микроэлектродов в рабочем зазоре, но и дуговых разрядов. При этом процесс наплавки происходит неустойчиво с короткими замыканиями и одиночным пульсирующим горением цепочек ферропорошка в рабочем зазоре. Это обстоятельство не обеспечивает качественного покрытия на плоских поверхностях деталей машин (шероховатость поверхности – Ra , пористость – P , толщина нанесенного покрытия – t и др.).

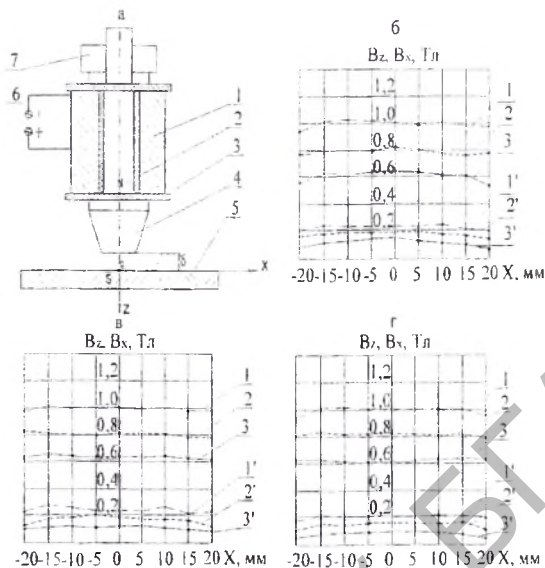


Рис. 2. Электромагнитная система установки ЭМН (а): 1 – обмотка; 2 – сердечник; 3 – изолятор; 4 – полюсный наконечник; 5 – изделие; 6 – источник питания; 7 – оправка; распределение продольной V_z и поперечной V_x составляющих магнитной индукции в рабочем зазоре ($\delta = 2,0$ мм) для электрических магнитов с частотой $\nu = 50$ Гц (б), $\nu = 12,5$ Гц (в) и $\nu = 0,5$ Гц (г) при силе тока электромагнитной катушки: 1 – 3,5 А; 2 – 2,5 А; 3 – 1,5 А; X – расстояние от продольной оси полюсного наконечника

Поскольку реальные электромагнитные системы, применяемые при ЭМН, не являются осесимметричными, отклонения дуговых разрядов в рабочем зазоре от оси полюсного наконечника неизбежны. Так, стабильность процесса ЭМН нарушается в том случае, если на цепочки – микроэлектроды ферропорошка в рабочем зазоре действуют поперечные магнитные поля, которые способствуют отклонению дуговых разрядов и их последующему обрыву. Для устранения этого обстоятельства используют продольные боковые магнитные поля [5, 6], направление и величина индукции которых зависит от конструкции магнитной системы. Эти магнитные поля оказывают сжимающее действие на наплавочную дугу и при отклонении ее поперек наплавляемой поверхности возвращают в центр рабочего зазора. Продольные боковые поля оказывают стабилизирующее действие на дугу в рабочей зоне.

Анализ результатов исследования распределения индукции комбинированных внешних магнитных полей в рабочей зоне установок ЭМН с постоянными магнитами (рис. 3, б) показывает, что они получили более однородное распределение продольной B_z и поперечной B_x по торцу полюсного наконечника в рабочем зазоре, чем для переменных или импульсных электрических магнитов.

В результате принятых технологических решений изготовлено устройство для ЭМН плоских поверхностей [7], содержащее магнит с сердечником в виде вращающейся оправки, диск с бункерами и дозирующими втулками, электроды для подачи ферропорошка, и которое снабжено двумя постоянными магнитами E-образной формы, расположенными перпендикулярно друг к другу и закрепленными в корпусе на немагнитном основании параллельно поверхности обрабатываемой детали (рис. 4). При этом сердечник устройства с полюсным наконечником установлен в центральной части магнитов с возможностью регулирования величины магнитной индукции в рабочей зоне посредством изменения расстояния между постоянными магнитами, снабженными боковыми полюсными наконечниками.

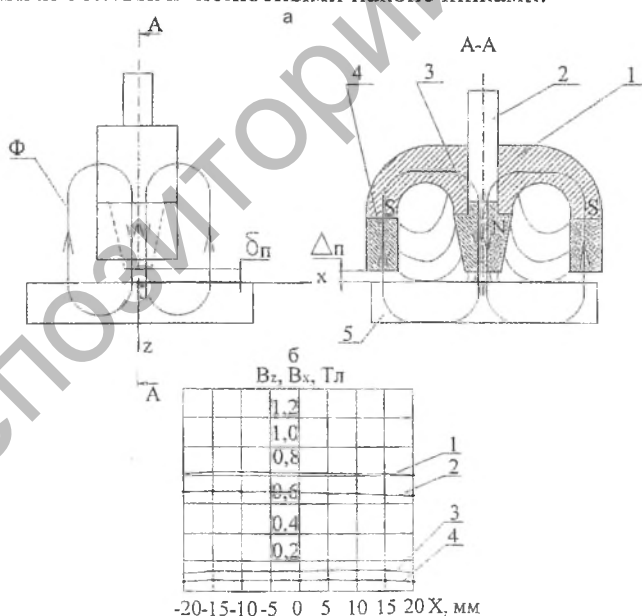


Рис. 3. Магнитная система установки ЭМН:
а): 1 – постоянный магнит; 2 – сердечник;

полюсный наконечник; 4 – наконечник; 5 – изделие; (б) распределение продольной V_z и поперечной V_x составляющих магнитной индукции в рабочем зазоре ($\delta = 2,0$ мм): 1, 3 – для постоянных магнитов расположением одноименных полюсов под углом 90° ; 2,4 – для постоянных магнитов с расположением одноименных полюсов под углом 180° ; X – расстояние от продольной оси полюсного наконечника

Используемая 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 торцов полюсных наконечников (центрального и боковых) к однородному.

Использование боковых полюсных наконечников на концах одноименной полярностью постоянных магнитов (например, с полюсами S) позволяет значительно повысить производительность процесса нанесения металлических покрытий на плоские поверхности деталей. Так, при нанесении покрытий на поверхность изделия шириной меньшей половины ширины магнитной системы устройства применяются только центральный полюсный наконечник, а при обработке поверхности изделия шириной большей половины ширины устройства магнитной системы дополнительно используются боковые полюсные наконечники.

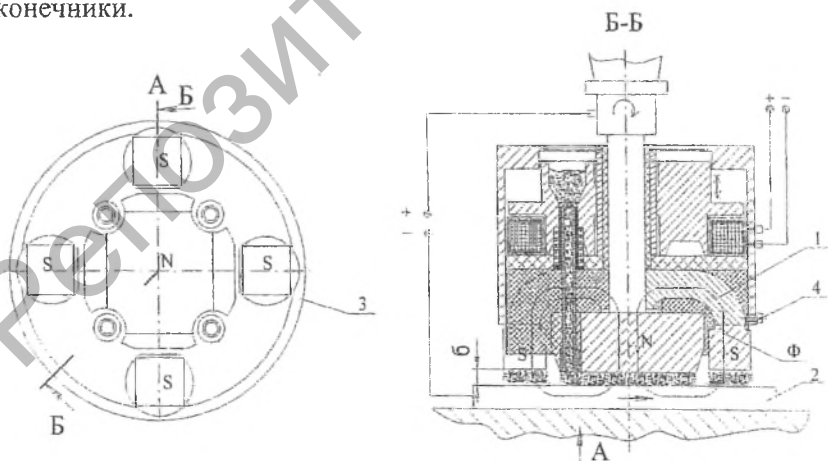


Рис. 4. Схема устройства для ЭМН плоских поверхностей

Величина магнитной индукции в пределах 0,4–0,9 Тл в рабочем зазоре регулируется изменением расстояния между постоянными магнитами 1 и деталью 2 путем перемещения магнитной системы в корпусе 3 и фиксации ее винтом 4, что обеспечивает возможность наплавки ферропорошков с различной магнитной проводимостью.

С целью проверки эффективности разработанной магнитной системы по обеспечению стабильности и устойчивости, а также повышению производительности процесса ЭМН проведены испытания, результаты которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики магнитных систем установок ЭМН

Показатель	Магнитная система	
	с электрическими магнитами	с постоянными магнитами
Величина индукции, Тл	0,6–1,2	0,4–0,8
Величина напряжения, В	36,0	–
Величина рабочего зазора, мм	2,0	1,5
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
Зернистость порошка	240–320	
Коэффициент использования порошка	0,6–0,8	0,7–0,9
Производительность, мг	220–240	260–270
Сплошность покрытия, %	75–90	100
Пористость покрытия, %	8–15	4–8
Потребляемая мощность, кВт	5,1	3,5
Габаритные размеры, мм	215x180x250	130x190x110
Масса, кг	20	7,5

Анализ результатов испытаний показал, что для установок ЭМН оптимальной является магнитная система с постоянным магнитом Е-образной формы, которая обеспечивает стабильный и устойчивый процесс нанесения покрытий и повышает производительность наплавки до 25%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле / П. И. Ящерицын, Л. М. Кожуро, А. П. Ракомсин [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 ласт в электромагнитном поле // Агропанорама. – 2003. – № 4. – С. 11–12.

3. Кожуро Л. М., Кожуро С. Л. Конструкции магнитных станков для магнитно-абразивной обработки // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления. Вып. 1. Т. 3. – Мн. : БНТУ, 2002. – С. 47–52.

4. Кожуро Л. М., Мрочек Ж. А., Миранович А. В. Повышение эффективности процесса электромагнитной наплавки // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии в машиностроении : материалы межд. научно-технич. конференции. Вып. 19. – 2003. – С. 97–100.

5. Корольков П. М. Причины возникновения магнитного дутья при сварке и способы его устранения // Сварочное производство. – 2004. – № 3. – С. 38–40.

6. Рыжов Р. Н., Кузнецов В. Д., Малышев А. В. Применение шестиполусной электромагнитной системы для управления параметрами формирования швов при сварке неплавящимся электродом // Автоматическая сварка. – 2004. – № 2. – С. 45–49.

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