

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ворошнин Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 1999. – 133 с. 2. Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Исследование износостойкости борсодержащих эвтектических покрытий ДЛС-порошков. // Трение и износ. – 1994. – Т. 15 – № 2. С. 243–247. 3. Константинов В.М., Пантелеенко Ф.И., Иванов В.П. Абразивная износостойкость покрытий из ДЛС-порошков // Трение и износ. – 1996. – Т. 17, № 4. С. 508–512. 4. Компьютерное моделирование процессов плазменного напыления покрытий / С.П. Кундас, А.П. Достанко, А.Ф.Ильющенко, А.Н.Кузьменков, E.Lugscheider, U. Eritt. – Мн.: Бестпринт, 1998. – 212 с. 5. Гуревич В.А. Кашко Т.А., Левашкевич Я.С., Кундас С.П. Математическая модель процесса плазменного напыления покрытий // Физика конденсированных сред: Тезисы докл. VIII Респ. науч. конф. студентов и аспирантов / Под ред. В.А. Лиопо.– Гродно: ГГУ, 2000.– С. 85–86.

УДК 621.723

Л.М. Акулович, Миранович А.В., Тризна В.В.

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЮСНЫХ НАКОНЕЧНИКОВ В УСТРОЙСТВАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ**

*КТИ СМА с ОП, Белорусский государственный аграрный технический университет  
Минск, Беларусь*

Актуальной задачей современного машиностроительного и ремонтного производства является повышение надежности и долговечности деталей машин. Один из путей решения этой задачи – использование различных способов упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей нанесением износостойких покрытий.

Эффективным и доступным методом нанесения износостойких покрытий является электромагнитная наплавка (ЭМН), позволяющая реализовать в едином технологическом процессе восстановление геометрических размеров и увеличение срока службы деталей за счет упрочнения – повышения износостойкости рабочей поверхности.

Сущность процесса заключается в следующем. Заготовка располагается на некотором расстоянии от полюсного наконечника сердечника электромагнитной катушки. Сердечник и катушка подключаются к источнику электрического тока. В зазор между обрабатываемой поверхностью заготовки и полюсным наконечником подается ферромагнитный порошок, частицы которого выстраиваются вдоль силовых линий магнитного поля и замыкают электрическую цепь “деталь-наконечник”. Зерна порошка под действием энергии проходящего по ним тока нагреваются, расплавляются и расплав порошка переносится на обрабатываемую поверхность вращающейся детали.

Таким образом, при ЭМН характер переноса порошка на обрабатываемую поверхность зависит от многих факторов, однако доминирующими будут являться энергии электрического и магнитного полей и пути ее преобразования в рабочей зоне.

Рабочей зоной при ЭМН является область пространства между обрабатываемой поверхностью и полюсным наконечником, в котором происходит модификация поверхности [1]. При ЭМН в рабочей зоне происходит расплавление зерен ферропорошка, выстроенных вдоль магнитных силовых линий, импульсами электрических разрядов и полярный перенос капель расплава на подплавленную поверхность заготовки в постоянном магнитном поле. Зерна ферропорошка, попадая в пространство между наплавляемой поверхностью и полюсным наконечником, смещаются к выходу из рабочего зазора, где удерживаются тангенциальной составляющей  $\vec{F}_{M\tau}$  магнитной силы  $\vec{F}_M$  (рис. 1, а), которая определяется [1]:

$$\vec{F}_M = k_m * \frac{1}{\mu_0} * V * B * \text{grad } \vec{B},$$

где  $k_m$  – магнитная восприимчивость вещества;  $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная;  $V$  – объем ферромагнитного зерна, м<sup>3</sup>;  $B$  – магнитная индукция, Тл;  $\text{grad } \vec{B}$  – вектор градиента магнитной индукции в точке рабочей зоны, где расположено зерно.

Как видно (1), тангенциальная составляющая силы магнитного поля зависит от тангенциальной составляющей градиента магнитной индукции  $\text{grad } \vec{B}_\tau$  (см. рис. 1, а), который определяется неравномерностью распределения магнитного потока, образованной за счет разности площадей рабочего торца полюсного наконечника и поверхности заготовки. Следовательно, изменением геометрических параметров полюсного наконечника можно регулировать величину магнитных сил и целенаправленно управлять процессом упрочнения.

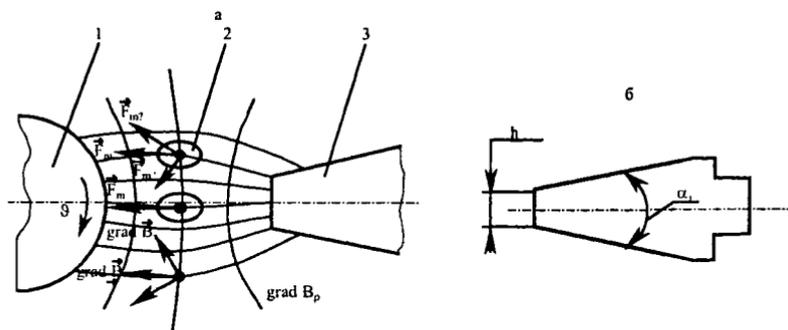


Рис.1. Схема воздействия магнитных сил на зерно ферропорошка (а) и схема полюсного наконечника (б): 1 – заготовка, 2 – зерно ферропорошка, 3 – полюсный наконечник

Для исследования влияния геометрических параметров полусного наконечника на результат упрочнения и определения их оптимальных значений использовано центральное композиционное ротатабельное униформ планирование второго порядка (ЦКРУП).

В качестве параметра оптимизации принята  $Y = Q$  – производительность процесса наплавки, г/дм<sup>2</sup>. Независимыми переменными взяты следующие факторы:  $\alpha_3$  – угол заострения, град;  $h$  – высота рабочего торца полусного наконечника, мм (рис. 1, б). Условия экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Интервалы и уровни факторов		
Уровни факторов	Значения факторов	
	$\alpha_3$ , град	$h$ , мм
	$X_1$	$X_2$
0	60	5
+1	90	7
-1	30	3
$+\alpha$	102	7,8
$-\alpha$	18	2,2
Интервалы выравнивания: основной по $\alpha$	30	2
	42	3,8

Все опыты рандомизировались во времени при помощи таблицы случайных чисел.

Для обработки результатов экспериментов с помощью ЦКРУП второго порядка использовался алгоритм, представленный в работах [2, 3], по которому была составлена программа для вычисления коэффициентов регрессии и предсказываемых уравнением регрессии значений функций отклика для опыта, вычисления отклонений предсказываемых значений от полученного в эксперименте и квадратов этих отклонений.

Статистическая модель, определяющая зависимость производительности  $Y = Q$  от геометрических параметров полусного наконечника  $a$ ,  $h$  в нормированном виде соответственно  $X_1$ ,  $X_2$  имеет следующий вид:

$$Y = Q = 3,60 - 0,65X_1 + 0,08X_2 - 0,25X_1X_2 - 0,09X_1^2 - 0,54X_2^2. \quad (2)$$

Проверка воспроизводимости экспериментов по критерию Кохрена при доверительной вероятности 0,95 установила, что гипотеза воспроизводимости принимается. В результате расчетов установлено, что все коэффициенты уравнения значимы с 90%-й доверительной вероятностью по критерию Стьюдента. Выявлено, что статистическая модель адекватна при 5%-м уровне значимости по критерию Фишера.

Полученное уравнение регрессии (2) с двумя переменными представлено графически в виде одномерных сечений в двумерной системе координат на рис. 2.

В преобразованных координатах (перенос начала в центр кривой и поворот осей)  $X'_1$ ,  $X'_2$  уравнение (1) имеет вид:

$$Y = Q = 5,380 - 0,575X_1'^2 - 0,058X_2'^2. \quad (3)$$

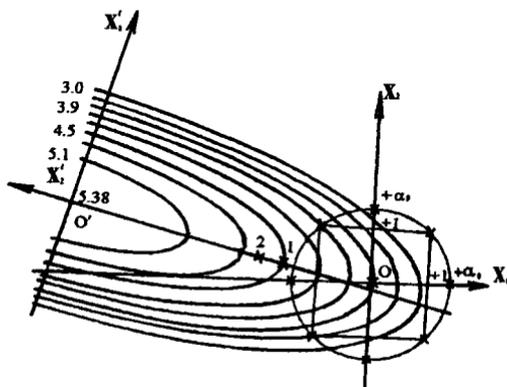


Рис. 2. Зависимости производительности ( $Q$ ) от геометрических параметров полюсных наконечников: угла заострения ( $X_1'$ ) и высоты рабочего торца ( $X_2'$ ); цифры у линии – значения выхода  $g/дм^2$ ; (x) – точки экспериментов

Как видно (3) лучшее предсказываемое значение (центр эллипса) лежит за пределами области эксперимента. В этом случае оптимальные геометрические параметры определены предельными значениями независимых переменных, которые могут быть конструктивно допущены, при движении по оси  $X_1'$  к центру эллипса.

Предельное значение фактора  $X_1 = -2$  (точка 2 на рис. 2). Поскольку точка 2 находится за пределами области эксперимента, то для проверки предсказываемых значений  $Y$  поставлены дополнительные эксперименты в точках 1 и 2, в которых  $\alpha_3 = 12^\circ$  и  $0^\circ$ ,  $h = 5,7$  мм и  $5,9$  мм соответственно. Результаты экспериментов показали, что значение  $Y$  в точке 2 больше на 2%, чем в точке 1.

Таким образом, на основании полученных результатов исследований определены следующие оптимальные значения геометрических параметров полюсных наконечников:  $\alpha_3 = 12^\circ$  и  $h = 5,7$  мм.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын П. И., Кожуро Л. М., Ракомсин А. П. и др. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле. – Мн.: ФТИ НАНБ, 1997. – 416 с.
2. Кряжцов В.М. Надежность и качество сельскохозяйственной техники. – М.: Агропромиздат, 1989. – 335 с.
3. Сафронов И.И. Формирование высоких триботехнических свойств изделий наплавкой. – Кишинев: Карта Молдовеняска, 1989. – 286 с.