

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, м³; 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.

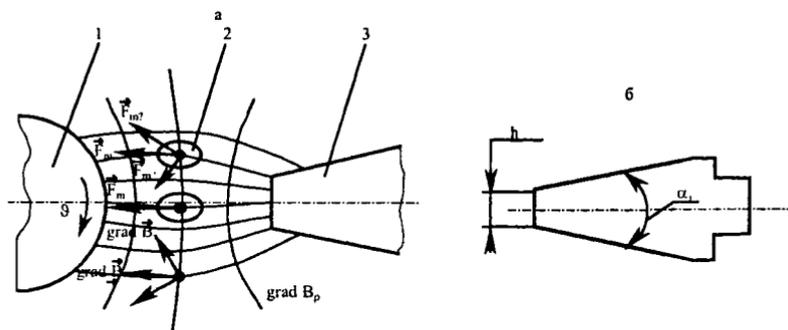


Рис.1. Схема воздействия магнитных сил на зерно ферропорошка (а) и схема полюсного наконечника (б): 1 – заготовка, 2 – зерно ферропорошка, 3 – полюсный наконечник

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/дм². Независимыми переменными взяты следующие факторы: α_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	
	α_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 α	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:

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

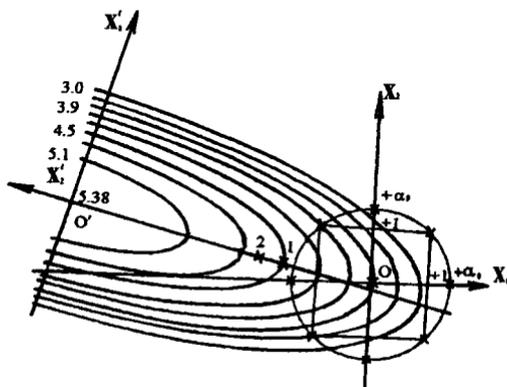


Рис. 2. Зависимости производительности (Q) от геометрических параметров полюсных наконечников: угла заострения (X_1) и высоты рабочего торца (X_2); цифры у линии – значения выхода $g/дм^2$; (x) – точки экспериментов

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° , $h = 5,7$ 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. Кряжков В.М. Надежность и качество сельскохозяйственной техники. – М.: Агрпромпиздат, 1989. – 335 с.
3. Сафронов И.И. Формирование высоких триботехнических свойств изделий наплавкой. – Кишинев: Карта Молдовеняска, 1989. – 286 с.