

УДК 621.791

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА МАГНИТНО- ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ

М.П. КУЛЬГЕЙКО, В.А. ЛЮЦКО,
Д.В. МЕЛЬНИКОВ, В.Ф. СОБОЛЕВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение. Магнитно-электрическое упрочнение (МЭУ) является одним из эффективных методов упрочнения и восстановления поверхностных слоев деталей из различных конструкционных сталей и сплавов. Этот метод упрочнения позволяет получать покрытия с высокой износостойкостью и надежной связью нанесенного покрытия с основным материалом детали. Сущность способа магнитно-электрического упрочнения заключается в совокупном одновременном воздействии на обрабатываемую поверхность и ферромагнитный порошок импульсов нескольких видов энергии: электрической, магнитной и механической, с помощью которых порошок расплавляется и наносится на обрабатываемую поверхность.

Постановка задачи. Анализ процессов, протекающих при МЭУ, показывает, что толщина и качество наносимых покрытий находятся в сложной зависимости от многих факторов: силы технологического тока, магнитной индукции в зоне обработки, величины рабочего зазора между деталью и периферией ротора, скорости перемещения обрабатываемой поверхности детали, скорости вращения ротора, грануляции ферромагнитного порошка и скорости его подачи в зону обработки, химического состава и электромагнитных свойств материалов порошка и детали, исходной шероховатости обрабатываемой поверхности [1].

Цель работы – исследование влияния технологических параметров магнитно-электрического упрочнения на основные показатели формирования упрочненного слоя: среднюю толщину наплавленного слоя и его сплошность.

Методика исследований. Исследования проводились на экспериментальной установке, созданной на базе горизонтально-фрезерного станка модели 6Р82 [2]. Средняя толщина наплавленного слоя h_{cp} определялась по зависимости

$$h_{cp} = \frac{G}{S \cdot \rho} \cdot 10^{-3},$$

где G – масса наплавленного порошка, г;

S – площадь упрочняемой поверхности, см²;

ρ – плотность порошка, г/см³.

Масса наплавленного порошка определялась как разница веса упрочняемой детали до и после упрочнения. Вес деталей определялся на аналитических весах. Сплошность покрытия поверхности определялась по микрошлифам, изготовленным в поперечном и продольном направлениях. Ее номинальная величина находилась как отношение сумм длин с покрытием к общей длине микрошлифа (образца). Измере-

ния производились на микроскопе МИМ-8М. В качестве исходных выбирались образцы из стали 45. Упрочнение осуществлялось ферробором ФБ-17 (ГОСТ 14848-69), имеющего фракцию -315+400 мкм. Исследовалось влияние на процесс следующих факторов: силы технологического тока, величины магнитной индукции, величины рабочего зазора. В таблице 1 приведены данные по методам их регулирования и средствам измерения, а в таблице 2 – интервалы и уровни варьирования.

Таблица 1

Перечень исследуемых факторов и средства их измерения

Технологические параметры		Метод регулирования	Средство измерения	Точность измерения
Наименование	Обозначение			
Магнитная индукция в рабочем зазоре	B , Тл	Сила тока в электромагнитной катушке	Измеритель магнитной индукции РШ1-10	$\pm 1,5\%$
Сила технологического тока	I , А	Напряжение трансформатора	Амперметр ЭИ 367	2 %
Рабочий зазор	δ , мм	Вертикальное перемещение стола	Набор щупов №2 ГОСТ 882-64	0,05 мм

Таблица 2

Интервалы и уровни варьирования основных факторов

Факторы	Интервалы варьирования		Уровни факторов				
	основной	по плечу α	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
X_1 – технологический ток, I , А	15	36	44	65	80	95	116
X_2 – магнитная индукция, B , Тл	0,1	0,24	0,1	0,2	0,3	0,4	0,54
X_3 – рабочий зазор, δ , мм	0,2	0,5	0,4	0,7	0,9	1,1	1,4

Поставленная задача решена путем создания математической модели процесса и ее оптимизации. Для составления регрессионной модели процесса была проведена серия опытов согласно матрице центрального рототабельного планирования [3].

Результаты эксперимента и их обсуждение. В результате обработки экспериментальных данных с использованием ЭВМ получены зависимости средней толщины покрытия и его сплошности от силы технологического тока, величины магнитной индукции и величины рабочего зазора

$$Y_1 = 291,562 + 5,633 \cdot X_1 - 0,586 \cdot X_2 + 1,577 \cdot X_3 - 1,464 \cdot X_1 \cdot X_2 - 2,028 \cdot X_1 \cdot X_3 + 4,055 \cdot X_2 \cdot X_3 - 4,234 \cdot X_1^2 - 0,971 \cdot X_2^2 - 2,603 \cdot X_3^2;$$

$$Y_2 = 78,847 + 0,809 \cdot X_1 + 0,952 \cdot X_2 - 4,32 \cdot X_3 - 0,513 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,098 \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,098 \cdot X_2 \cdot X_3 - 4,125 \cdot X_1^2 - 3,242 \cdot X_2^2 - 4,125 \cdot X_3^2.$$

Стабилизируя фактор X_3 на нулевом уровне, получаем зависимости средней толщины покрытия и его сплошности от силы технологического тока и величины магнитной индукции

$$Y_1 = 291,562 + 5,633 \cdot X_1 - 0,586 \cdot X_2 - 1,464 \cdot X_1 \cdot X_2 - 4,234 \cdot X_1^2 - 0,971 \cdot X_2^2;$$

$$Y_2 = 78,847 + 0,809 \cdot X_1 + 0,952 \cdot X_2 - 0,513 \cdot X_1 \cdot X_2 - 4,125 \cdot X_1^2 - 3,242 \cdot X_2^2.$$

На рис. 1 и 2 представлены зависимости средней толщины покрытия и его сплошности от силы технологического тока при различных значениях магнитной индукции.

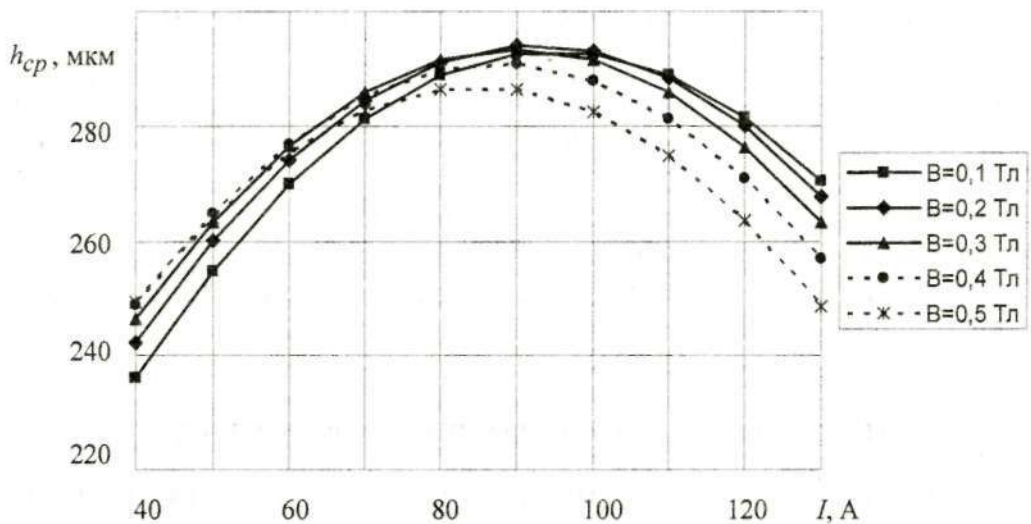


Рис. 1. Влияние силы технологического тока на среднюю толщину наплавленного слоя

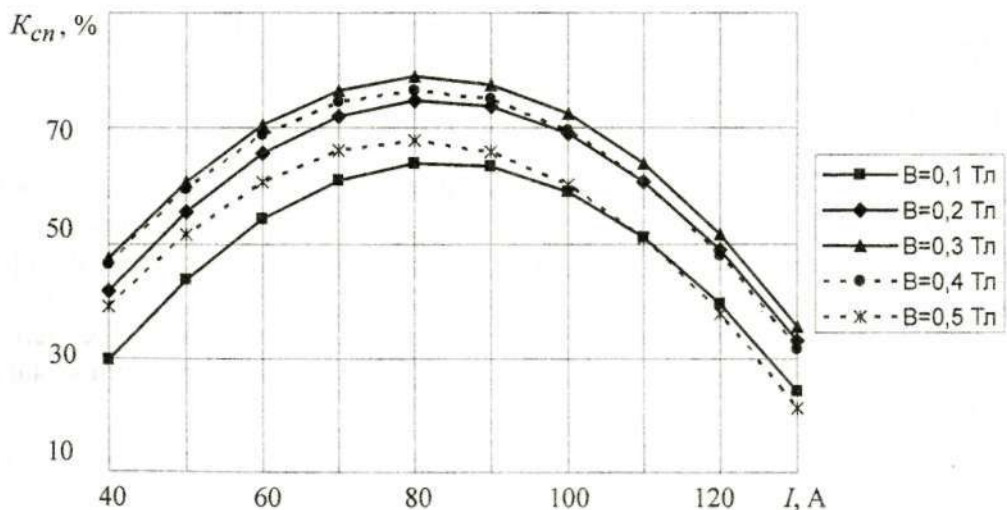


Рис. 2. Влияние силы технологического тока на сплошность наплавленного слоя

Можно видеть, что с увеличением силы технологического тока средняя толщина наплавленного слоя и его сплошность увеличивается. Это объясняется тем, что нагрев и расплавление зерен порошка происходит за счет преобразования электрической энергии в тепловую. Дальнейшее увеличение силы технологического тока ведет к уменьшению средней толщины покрытия и его сплошности, т. к. процесс формирования упрочненного слоя при высоких значениях силы тока сопровождается явлением эрозии отдельных участков нанесенного покрытия, которую можно описать следующим образом. При прохождении электрического тока по цепочкам из зерен порошка происходит электрический взрыв перемишки из расплавленного металла, образовавшейся в месте контакта частиц. При этом микрообъемы жидкого металла выбрасываются из зоны разряда. Взрывной волной также выбрасываются и частицы порошка. Скорость движения этих частиц и, соответственно, эрозия, зависит от энергетического воздействия [4]. При увеличении технологического тока эрозионные процессы превалируют над процессами переноса порошка на упрочняемую поверхность.

На рис. 3 и 4 представлены зависимости средней толщины покрытия и его сплошности от величины магнитной индукции при различных значениях силы технологического тока.

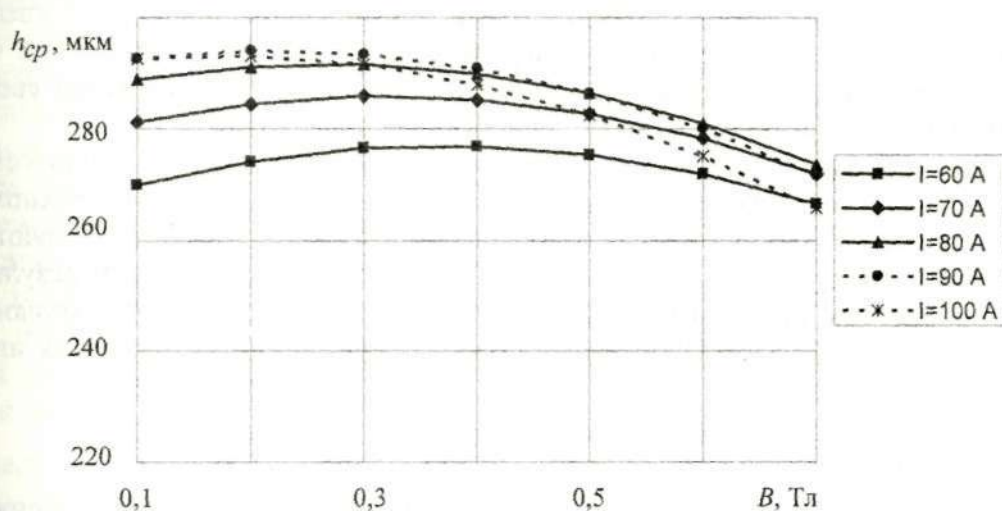


Рис. 3. Влияние магнитной индукции на среднюю толщину наплавленного слоя

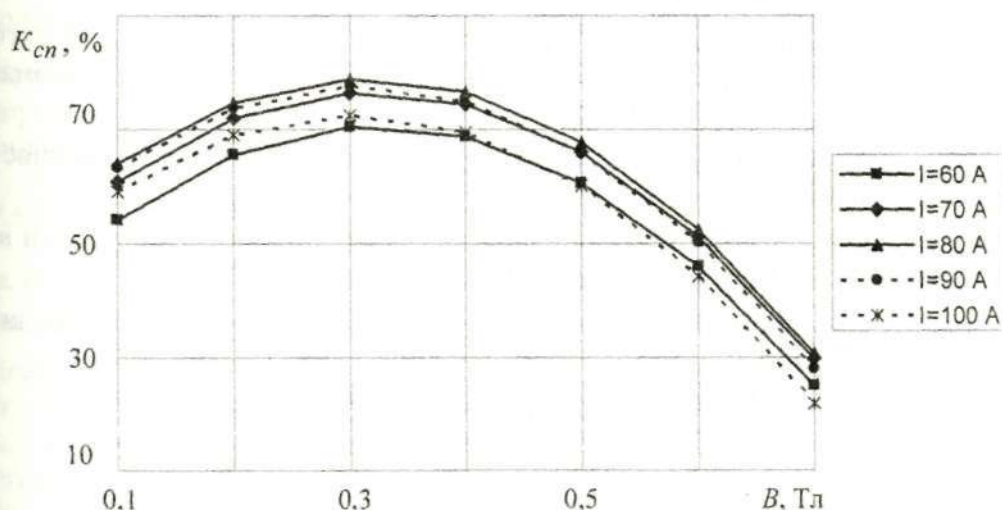


Рис. 4. Влияние магнитной индукции на сплошность наплавленного слоя

Из представленных рис. 3 и 4 следует, что с увеличением магнитной индукции средняя толщина наплавленного слоя и его сплошность увеличивается до величины $h_{cp} = 291$ мкм и $K_{cn} = 79\%$ при магнитной индукции $B = 0,3$ Тл. Такой характер кривых можно объяснить тем, что величина магнитной индукции влияет не только на интенсивность образования цепочек из зерен ферромагнитного порошка, но и на их электрическую проводимость и распределение расплава ферромагнитного порошка.

При прохождении электрического тока образовавшуюся цепочку из зерен ферромагнитного порошка можно рассматривать как проводник с током, который находится во внешнем магнитном поле. На положительные и отрицательные заряды, входящие в состав данного проводника, будут оказывать влияние силы Лоренца, действующие на заряды в противоположных направлениях. Таким образом в проводнике произойдет разделение зарядов, где на одном его конце в избытке сконцентрированы положительные заряды, на другом – отрицательные [5]. Одновременно с действием сил Лоренца на проводник будет действовать сила Ампера, которая стремится разорвать образовавшиеся цепочки. В данный момент цепочки расплавляются. Сочетание электромагнитных сил и сил Лоренца приводит к тому, что большая часть расплава остается в рабочей зоне и частицы расплавленного металла наносятся на упрочняемую поверхность. Увеличение магнитной индукции приводит к увеличению сил, действующих на частицы, и под действием электромагнитных сил часть цепочек будет удаляться из рабочей зоны, что приводит к уменьшению средней толщины наплавленного слоя и его сплошности.

Заключение. Полученные зависимости средней толщины наплавленного слоя и его сплошности при МЭУ дают возможность оценить степень влияния технологических параметров на формирование упрочненного слоя, а также позволяют выявить физическую сущность механизма действия каждого параметра. В результате экспериментальных исследований получены оптимальные значения технологических параметров процесса МЭУ деталей: сила тока – 80-90 А, магнитная индукция – 0,3-0,4 Тл.

Список литературы

1. Кульгейко М.П., Люцко В.А., Мельников Д.В., Соболев В.Ф. Механизм формирования поверхностного слоя при магнитно-электрическом упрочнении //Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2000. – № 1. – С. 19-25.
2. Кульгейко М.П., Мельников Д.В. Устройство для магнитно-электрического упрочнения плоских поверхностей //Вестник БГТУ. Машиноведение, автоматизация, ЭВМ. – 2000. – № 4. – С. 29-30.
3. Ящерицын П.И., Махаринский Е.И. Планирование эксперимента в машиностроении. – Мн.: Высшая школа, 1985. – 286 с.
4. Ящерицын П.И. и др. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 272 с.
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1964. – 749 с.
6. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1997. – 542 с.