

Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 1994. №2. С. 43–47. 5. Жолобов, В.В., Зверев, Г.И. Прессование металлов. М.: Металлургия, 1971. – 455с. 6. Процессы пластического структурообразования металлов/Сегал В.М., Резников В.И., Копылов В.И. и др.– Мн.: Навука і тэхніка. 1994. – 232с. 7. Макушок, Е.М., Харченко, В.В.//Докл. НАН Беларусі. 1999. Т. 43, №2. С. 116–119.

УДК 621.9.048.4.06

Нерода М.В.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ШЛИФОВАНИЯ УПРОЧНЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

*УО «Барановичский государственный университет»
Барановичи, Беларусь*

Магнитно-электрическое шлифование (МЭШ) является способом комбинированной обработки токопроводящих материалов, сочетающим процессы абразивного микрорезания с электроконтактным и/или электроэрозионным воздействием магнитного поля [1]. Физическая сущность МЭШ заключается в механическом контакте абразивного токопроводящего инструмента с поверхностью детали, замыкании электродов (инструмент-деталь) продуктами шлифования по локальным пятнам контакта, расплавлении контактных мостиков теплотой электротоков и образовании разрядов с последующими электроэрозионными явлениями, происходящими под действием внешнего магнитного поля [2, 3, 4]. Разрушение обрабатываемой поверхности при МЭШ происходит в результате микрорезания и пластического отгеснения металла зернами абразива, электроконтактного расплавления стружки и оплавления поверхности, электроэрозионных явлений и воздействий магнитного поля на расплав и продукты эрозии. Сочетание этих процессов определяет специфику формирования микрогеометрии поверхности при МЭШ.

Для обработки МЭШ упрочненных поверхностей деталей была создана специальная установка на базе фрезерного станка Н1Ф. Обработку поверхностей образцов производили в соответствии со схемой, представленной на Рисунок 1. Токопроводящий абразивный круг 7 через скользящий контакт 6 и обрабатываемый образец подсоединялись соответственно к отрицательному и положительному полюсам выпрямителя 3. Магнитное поле создавалось с помощью индуктивных катушек 5 и магнитопровода 8. Регулирование силы тока в цепи и магнитной индукции производилось ЛАТРОм 1 и 9.

Для составления моделей МЭШ поверхностей, наплавленных сормайтотом ГН1, исследования проводились по центральному ротатбельному композиционному плану [5] на основе полного факторного эксперимента 25. В качестве параметров оптимизации процесса были приняты: шероховатость поверхности $Ra(Y_1)$ [мкм] после обработки и съем материала $Q(Y_2)$ [мг] покрытия. Переменными являлись следующие факторы: технологический ток I [А], величина магнитной индукции B [Тл], скорость резания V [м.с-1], глубина шлифования H [мм], продольная подача S [мм.с-1].

Постоянным фактором в опытах была принята зернистость токопроводящего круга ПП250х25х32-5С25Т6КАЛ. В каждой точке плана проводилось по четыре повторных опыта. Условия опытов представлены в таб.1.

Таблица 1. Переменные факторы и их уровни

Уровень фактора	I [А]	B [Тл]	V [м.с-1]	H [мм]	S [мм.с-1]
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
-α	2,48	0,20	2,52	0,12	8,41
-1	8	0,14	8,3	0,4	10
0	12	0,24	12,5	0,6	13,33
+1	16	0,34	16,5	0,8	16,67
+α	21,51	0,47	22,48	1,08	16,67

Для каждой точки плана эксперимента вычислялась дисперсия воспроизводимости по формуле [8]:

$$S_u^2\{y\} = \frac{\sum_{i=1}^{r_v} (y_{vi} - y_{cp})^2}{r_v - 1}, \quad (1)$$

где $y_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{r_v} y_{vi}}{r_v}$ - среднее арифметическое значение параметров оптимизации y_{vi} в v -

й точке эксперимента;

r_v - количество опытов в точке плана.

Затем по критерию Кохрена проверялась однородность значение параметров оптимизации. Проверка показала однородность гипотезы по уровню значимости 0,05 что позволило вычислить дисперсию воспроизводимости всего эксперимента по формуле:

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{u=1}^N f_u S_u^2\{y\}}{\sum_{u=1}^N f_u}, \quad (2)$$

где $f_u = (r_v - 1)$ - число степеней свободы в v точке эксперимента;

N - число всех точек плана.

Общее уравнение связи параметра оптимизации и входных управляемых переменных имеет вид:

$$y = b_0 + \sum_1^n b_i X_i + \sum_1^n b_{ij} X_i X_j + \sum_1^n b_{ii} X_i^2. \quad (3)$$

Расчет коэффициентов уравнений регрессии функции отклика и их статистический анализ производили с помощью программы Microsoft EXCEL на ЭВМ. Значимость коэффициентов регрессии проверялась по критерию Стьюдента, а адекватность уравнения регрессии - по критерию Фишера.

Модели вида (3) не всегда подходят для математического описания искомой зависимости МЭШ, поэтому использовались комплексы различных порядков.

Комплекс порядка α равен:

$$K\alpha = \frac{IBH}{S} \left(\frac{V}{S} \right)^\alpha, \quad (4)$$

где α - произвольное число.

Комплекс порядка 0 и -1 имеет соответственно вид:

$$K_0 = \frac{IBH}{S}; K_1 = \frac{IBH}{V}. \quad (5)$$

На основе комплексов различных порядков строились модели вида:

$$Y = a_0 + a_1 K_0 + a_2 K_1 + \dots + a_{i-1} K_{i-1}. \quad (6)$$

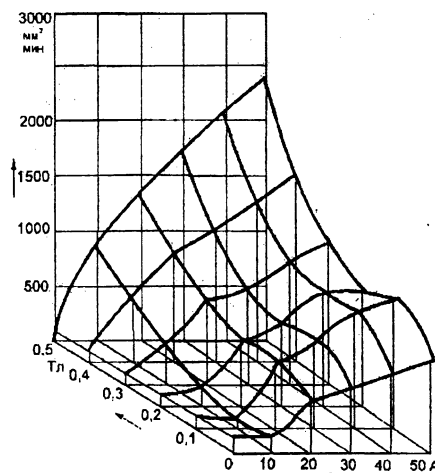
Модель вида (6) учитывает физическую сущность процесса МЭШ и является более точной.

Предварительными экспериментами установлено, что на съём материала покрытия основное влияние оказывают технологический ток, магнитная индукция, глубина и продольная подача шлифования. Причём как взаимодействие отдельных факторов, так и их совместное влияние на производительность процесса носит нелинейный характер.

Влияние технологических факторов МЭШ на производительность Q процесса, а также оптимизацию режима производили по полученной математической модели:

$$Y_2 = Q_С = 360 + 95IB - 23 S/IB + 11,5IB/S^2VH^3 - 31,3HS + 5I^2B^2/H^2S^3. \quad (7)$$

На основе экспериментальных данных построена диаграмма зависимостей «производительность - технологический ток - магнитная индукция», Рисунок 2.



$$V = 12,5 \text{ м/с}; H = 0,3 \text{ мм}; S = 13,3 \text{ мм/с}$$

Рис. 2. Зависимость производительности МЭШ поверхностей, наплавленных сор-майтом от силы тока и магнитной индукции

Анализ диаграмм зависимостей показал, что основное влияние на производительность оказывают электрофизические параметры, степень влияния факторов на производительность $Q = I \Rightarrow B \Rightarrow V \Rightarrow S \Rightarrow H$, в порядке убывания.

При постоянной магнитной индукции 0,2 Тл с увеличением технологического тока от 10 до 40 А производительность растёт вследствие реализации больших мощностей в межэлектродном промежутке. Обычно наблюдается линейная зависимость производительности от технологического тока.

С повышением магнитной индукции от 0,05 до 0,4 Тл при постоянном технологическом токе в зоне шлифования происходит ускорение выброса продуктов эрозии, микрорасплава и стружки направленным магнитным полем. В этом случае значительная часть энергии расхо-

дуются на плавление микровыступов поверхности детали, а не на плавление стружки и продуктов эрозии, что увеличивает производительность шлифования. Пространственная диаграмма зависимостей «производительность - технологический ток - магнитная индукция» имеет максимум производительности $Q=1500 \text{ мм}^3/\text{мин}$. При дальнейшем увеличении значений технологического тока более 38 А и магнитной индукции $B>0,35 \text{ Тл}$ происходят вырывы расплава металла, и образуются эрозионные лунки, что значительно ухудшает качество покрытий. Шероховатость обрабатываемых поверхностей покрытий в зависимости от технологических режимов составила $Ra=1,1 \dots 0,35 \text{ мкм}$.

При уменьшении подачи S увеличивается влияние технологического тока на обрабатываемую поверхность, что приводит к увеличению производительности.

Глубина резания H должна находиться в пределах $0,05 \dots 0,2 \text{ мм}$, чтобы не удалить упрочнённый слой.

Получены следующие математические модели шероховатости от технологических режимов:

$$Y1 = Ra = 0,510 + 0,100X_1 - 0,049X_2 + 0,081X_3 + 0,093X_4 - 0,06X_5 - 1,161X_1X_2 - 0,008X_1X_3 + 0,062X_1X_4 - 0,079X_1X_5 + 0,046X_2X_3 + 0,019X_2X_4 - 0,124X_2X_5 - 0,177X_3X_4 - 0,047X_3X_5 - 0,105X_4X_5 + 0,266X_{12} + 0,061X_{22} + 0,081X_{32} + 0,038X_{42} + 0,399X_{52}, \quad (8)$$

$$Y1 = Ra = 0,474 + 0,206I2BV - 0,307IB/VH + 0,16I3/VS + 0,066BS0,5/H0,5. \quad (9)$$

На Рисунок 3 представлена зависимость шероховатости от электрофизических и кинематических параметров.

Скорость шлифования и его электрофизические величины взаимосвязаны: [6]

$$\vartheta = \frac{IBt}{\pi \cdot r^2 \rho}, \quad (10)$$

где ϑ - скорость на периферии круга, $[\text{м} \cdot \text{с}^{-1}]$;

I - сила тока, $[\text{А}]$;

B - магнитная индукция, $[\text{Тл}]$;

t - время действия силы, $[\text{с}]$;

r - радиус канала разряда, $[\text{мм}]$;

ρ - плотность материала, $[\text{кг}/\text{м}^3]$.

При больших скоростях уменьшается действие силы технологического тока в связи с уменьшением максимальной и средней толщины среза, снимаемые одним шлифующим зерном. Происходит также срыв пятна контакта при направленном взаимодействии магнитной индукции и окружной скорости. Средняя мощность технологического тока в зоне контактного взаимодействия становится меньше. Расплавляется только часть приподнятых над основным металлом стружек и возвышенностей. При малых скоростях ($\vartheta = 3 - 5 \text{ м}/\text{с}^{-1}$) ток успевает разрушить стружку, а магнитное поле пытается сгладить расплавленные гребешки выступов микронеровностей. В этом случае шероховатость снижается по сравнению с обычным шлифованием.

Анализ результатов эксперимента показывает, что с увеличением скорости шлифования и магнитной индукции шероховатость увеличивается, но с определенного значения. На диаграмме зависимости на Рисунок 3 явно видна экстремальная точка шероховатости $Ra=0,3 \text{ мкм}$ для магнитной индукции $0,15 \text{ Тл}$.

Взаимодействие технологического тока и магнитного поля происходит следующим образом: с увеличением силы тока до 21 А зависимость шероховатости от магнитной индукции и скорости шлифования изменяется. Оказывая влияние на разряд в зоне шлифования, магнитное поле в этом диапазоне увеличивает проплавающую способность тока и локали-

зует его в узкой области. В результате все микронеровности оплавляются и расплав под действием внешнего магнитного поля растекается по поверхности детали уменьшая шероховатость, что видно на (Рисунок 3.) Скорость шлифования имеет такое же влияние.

Профилограммы, полученные на профилометре-профилографе мод. 201 показывают, что шероховатость поверхностей образцов из стали 65Г упрочнённых сормайтотом ГН1 меньше и выступы более пологие, чем шлифование без магнитного поля. [7].

Таким образом, можно регулировать величину микронеровностей с помощью технологического тока и магнитной индукции. Выявленная закономерность позволяет управлять требуемой шероховатостью при обработке упрочнённых поверхностей с помощью изменения электрических параметров.

Результаты исследований свидетельствуют о наличии сложной зависимости между шероховатостью поверхности и величиной магнитного поля при совместном действии технологического тока.

Это влияние определяется характером и состоянием образовавшейся среды в зоне обработки и требует дальнейших исследований.

В результате проведённых исследований процесса МЭШ упрочнённых поверхностей можно сделать следующие выводы:

- технология МЭШ является одним из перспективных способов шлифования износостойких покрытий и упрочнённых поверхностей;

- МЭШ повышает производительность по сравнению с обработкой традиционным шлифованием;

- на основе экспериментальных данных получены уравнения регрессии устанавливающие зависимость производительности и шероховатости поверхности от основных параметров МЭШ;

- установлено влияние электрофизических параметров на производительность процесса МЭШ при следующих режимах обработки $I=20...38$ А, $B=0,2...0,35$ Тл, $V=12,5$ м/с, $H=0,1...0,3$ мм, $S=13,3...15,5$ мм/с.

- установлено влияние электрофизических параметров на шероховатость поверхности при МЭШ при следующих режимах

$I=10...15$ А, $B=0,2...0,3$ Тл, $V=12,5$ м/с, $H=0,05...0,2$ мм, $S=13,3...15,5$ мм/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник. Под ред. д-ра техн. наук проф. А.Н. Резникова – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
2. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле // Ящерицын П.И., Забавский М.Т., Кожуро Л.М., Акулович Л.М. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 272 с.
3. Барон, Ю.М. Магнито-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. – 176 с.
4. Бойко, Н.И. Шлифование наплавленных деталей // Вестник машиностроения. – М.: Машиностроение, №3, 1990. – 73 с.
5. Де Барр, А.Е., Оливер, Д.А. Электрохимическая обработка (пер. с англ.). - М.: Машиностроение, 1973. – 184 с.
6. Дмитриченко, Э.И. Влияние напряженности магнитного поля в зоне обработки на механизм разрушения стружки при МЭШ. // Тез. док. 6 НТК ГПИ 1992. – 28 с.
7. Дмитриченко, Э.И. Разработка и исследование процесса магнитно-электрического шлифования деталей машин: Автореф. Дис. ... кан-та тех. наук: 05.02.08./ Моск. автомобилестроит. ин-т. – 1991. – 17 с.
8. Киреева, Л.Е., Огнев, В.У., Пучков, А.А. Описание и изучение области оптимума методом центрального ротатбельного планирования второго порядка. Метод. указание. – Гомель: ГПИ, 1983. – 53 с.