УДК 621.791.92 : 621.81

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

А.В. Миранович, канд. техн. наук, доцент,
Д.Е. Афанасенко, аспирант
Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь
amir@bsatu.by

Аннотация. В работе выполнена оптимизация технологических параметров комбинированной упрочняющей обработки магнитно-электрического упрочнения с электромеханической обработкой.

Abstract. The study optimizes the technological parameters of a combined hardening process that integrates magneto-electric hardening with electromechanical treatment.

Ключевые слова: композиционный ферромагнитный порошок, многопараметрическая оптимизация, технологические факторы, производительность процесса, шероховатость поверхности, относительная износостойкость покрытия.

Keywords: composite ferromagnetic powder, multi-objective optimization, processing factors, process productivity, surface roughness, relative wear resistance of the coating.

Основным достоинствам комбинированной упрочняющей обработки (КУО) магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) с электромеханической обработкой (ЭМО) является низкая температуру нагрева поверхности в процессе обработки, что исключает тепловую деформацию обрабатываемой детали [1, 2]. При этом КУО обеспечивает высокую адгезию наплавленного материала с основой, диффузионное насыщение поверхности детали легирующими элементами. Высокий нерегулярный макрорельеф поверхности после МЭУ не позволяет использовать детали непосредственно после нанесения и требует их механической обработки [2]. Проведение ЭМО совместно с МЭУ в процессе КУО позволяет использовать технологическое тепло, выделяющееся при формировании покрытия, что дает возможность объединить операции нанесения и термодеформационного упрочнения покрытия. Такая комбинация двух технологических операций создает условия для формирования прочного и износостойкого покрытия [2, 3].

С целью обеспечения заданных эксплуатационных свойств поверхностей деталей электронасосных агрегатов (ЭНА) проведены исследования с применением метода на основе многопараметриче-

ской оптимизации режима упрочнения с использованием детерминированного и стохастического подходов [3, 4].

В качестве параметров оптимизации упрочнения износостойких покрытий приняты параметры: производительность процесса *G*, шероховатость поверхности *Ra* и относительная износостойкость покрытия ε. Независимыми переменными – технологические факторы: усилие ППД *P*, Н; сила разрядного тока *I*, А; магнитная индукция в рабочем зазоре *B*, Тл; скорость подачи S, мм/об; окружная скорость заготовки V, м/с. Постоянными взяты факторы: размер зерен ферропорошка (КФМП) $\Delta = 240 - 320$ мкм; расход рабочей жидкости $q = 2{,}3 \cdot 10^{-3}$ дм^3/(с·мм^2), СОЖ – 5%-й раствор товарного эмульсола Э2 в воде. Оптимальный технологический режим КУО определяли для легирующего элемента – композиционного ферропорошка ФБХ 6-2, находящегося в составе пасты (смесь эпоксидной смолы ЭДП (ТУ 2395–001–49582674–99) и жидкого стекла (ТО РБ 02974150–015–99). Соотношение компонентов пасты следующее: КФМП (ФБХ 6-2) – 55%; эпоксидная смола – 30%; жидкое стекло – 15%.

Экспериментальные исследования проводили на образцах из стали 40Х ГОСТ 1050-2016, представляющих собой кольца с наружным диаметром 40,0 мм, внутренним – 16,0 мм и высотой 12,0 мм. Образцы подвергали нормализации и обрабатывали до шероховатости поверхности Ra = 12,5 мкм.

КУО МЭУ с ЭМО поверхностей образцов производили на установке для нанесения защитных покрытий с магнитной системой на постоянных магнитах и устройством для ЭМО [2].

С учетом работ [2–4] установили условия проведения эксперимента для получения статистических моделей совмещенного процесса упрочнения деталей (таблица 1). Все опыты рандомизировались во времени при помощи таблицы случайных чисел.

В результате проведенных экспериментов установлено, что все модели адекватны при 5 %-м уровне значимости по критерию Фишера. Полученные модели процесса КУО МЭУ с ЭМО позволили установить степень влияния технологических факторов на параметры оптимизации и определить оптимальный режим упрочнения.

С учетом уровня значимости исследуемые факторы можно расположить в порядке убывания их влияния на параметры оптимизации в следующие ряды: Y_1 = G: S→V→ I→B→ P; Y_2=Ra: V→B→1→S→P;$Y_3 = \varepsilon$: P→B→S→I→V.

Таблица 1 – Условия проведения опытов

Уровни факторов	Технологические факторы				
	P, Н	I, *A*	*B*, Тл	*S*, мм/об	*V*, м/с
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
0	1000	100,0	0,8	0,30	0,080
+ 1	1250	120,0	1,0	0,42	0,091
- 1	750	80,0	0,6	0,18	0,069
+ α	1500	140,0	1,2	0,54	0,102
- α	500	60,	0,4	0,06	0,058

Установлено, что на производительность процесса G наибольшее влияние оказывают скорость продольной подачи S и окружная скорость заготовки V. Далее по значимости следуют сила разрядного тока I, магнитная индукция в рабочем зазоре B, а замыкает ряд силовая характеристика P (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние технологических факторов на параметры КУО МЭУ с ЭМО

Технологические факторы	Степень влияния факторов на параметры оптимизации, %		
	$Y_1 = G$	$Y_2 = Ra$	$Y_3 = \varepsilon$
Усилие деформирования, *P*	9,42	14,23	33,84
Сила разрядного тока, *I*	14,90	21,44	12,92
Магнитная индукция в рабочем зазоре, *B*	13,48	22,27	25,93
Скорость продольной подачи, *S*	35,15	17,88	19,49
Окружная скорость, *V*	27,05	24,32	7,82

С учетом произведенных ограничений технологических факторов режима КУО МЭУ с ЭМО, используя обобщенную функцию желательности Харрингтона, методом спирального координатного спуска по трем параметрам оптимизации были определены три варианта режима упрочнения (таблица 3).

Таблица 3 – Варианты режимов процесса КУО МЭУ с ЭМО

Номер варианта	Кодированные значения варьируемых факторов					Значения параметров оптимизации			Желательность
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y_1	Y_2	Y_3	D
1	-0,12	-0,11	2,0	-0,78	-1,29	0,324	4,43	2,41	0,827
2	-0,53	-1,22	0	0,38	-2,0	0,206	5,09	1,09	0,599
3	-1,10	0,61	0	-1,42	0,71	0,228	5,38	0,22	0,368

Таким образом, многопараметрической оптимизацией с учетом принятых ограничений получен следующий оптимальный режим КУО МЭУ с ЭМО ферропорошка ФБХ 6-2 в составе пасты:

P = 1000 Н; I = 100 А; B = 0,8 Тл; S = 0,25 мм/об; V = 0,08 м/с.

По степени влияния технологических факторов на совокупность параметров оптимизации их можно в порядке убывания значимости расположить в следующий ряд:

$$S \rightarrow I \rightarrow B \rightarrow P \rightarrow V.$$

Список использованной литературы

1. Акулович, Л.М. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники / Л.М. Акулович, А.В. Миранович. – Минск : БГАТУ, 2016. – 236 с.

2. Электромеханическая обработка: технологические и физические основы, свойства, оборудование : моногр. / В.П. Багмутов [и др.] ; под ред. В.П. Багмутова. – Волгоград : ВолгГТУ, 2014. – 324 с.

3. Хейфец, М.Л. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей / М.Л. Хейфец Л.М. – Гомель : ИММС НАНБ, 1999. 276 с.

4. Аверченков, В.И. Основы математического моделирования технических систем: учеб. пособие / В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.Л. Хейфец. – Брянск : БГТУ, 2004. – 271 с.

УДК 621.923

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Л.М. Акулович, д-р техн. наук, профессор,
Л.Е. Сергеев, д-р техн. наук, доцент,
В.И. Цекунов, старший научный сотрудник БГУ,
А.Ю. Алешко, студент

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь
alesya.happy.2005@gmail.com

Аннотация. Исследование топографии магнитного поля (МП) для магнитно-абразивной обработки (МАО) сложнопрофильных поверхностей (СПП) показало, что определение величины магнитной напряженности H для МАО СПП обеспечивает пространственное распределение МП внутри рабочего зазора при использовании полюсных наконечников с профилем рабочих поверхностей, эквидистантной обрабатываемой поверхности.

Abstract. An investigation into the magnetic field (MF) topography for the magnetic-abrasive machining (MAM) of complex-profile surfaces (CPS) has shown that deter-