

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ ТРАКТОРА МАРКИ «ПМЗ 10280» МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОДУГОВОЇ МЕТАЛІЗАЦІЇ

Пономаренко А.М., к.т.н., доц.

Черкаський державний технологічний університет

Кравченко В.С., к.с.-г.н., ст. викл., Терещенко Ю.Ф., д.с.-г.н., проф.

Уманський національний університет садівництва

В результаті багаторічних досліджень нами була отримана і систематизована інформаційна база експериментальних даних, в якій особливе місце займає розділ по математичному моделюванню та обробці експериментальних даних методами оптимізації чисельного експерименту[5]. Результатом практичного застосування процесу електродугової металізації із використанням металізатора марки ЕДМ-1 стало отримання зносостійкого покриття на основі самофлюсуючого порошку. Результатом математичної обробки результатів експерименту стала багатофакторна модель технологічного процесу отримання зносостійкого покриття. Модель дозволяє встановити безпосередній зв'язок між енергетичними параметрами роботи електродугового металізатора та якістю нанесеного покриття.

Ключові слова: *електродугова металізація, металізатор, дріт для металізаційного напилювання, самофлюсуючий порошок, оптимізація, зносостійке покриття.*

Постановка проблеми. Альтернативним вирішенням проблеми відновлення колінчастих валів тракторів є спосіб нанесення в процесі електродугової металізації стійкого до зношування відносно недорогого порошкового самофлюсуючого дроту.

На відміну від інших типів газотермічних методів, застосування процесу електродугової металізації ефективнішим для відновлювання колінчастих валів тракторів. Завдяки використанню недорогого порошкового дроту, простоті технологічного процесу нанесення покриття, якісного проплавлення часток напилювання і високій силі адгезійного та когезійного зчеплення покриття з матеріалом основи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відновлення колінчастих валів (КВ), як швидкозношувальних деталей двигунів тракторів моделі «ПМЗ 10280» є одним із основних методів підвищення ефективності тракторно-ремонтного виробництва. Якість відновлення деталей в значній мірі залежить від відповідності застосування того чи іншого способу усунення дефектів об'єктам ремонту. Сучасне тракторно-ремонтне виробництво нараховує у своєму арсеналі багато різних способів відновлення КВ, які забезпечують їх надійну роботу на протязі встановлених міжремонтних термінів служби тракторів [1].

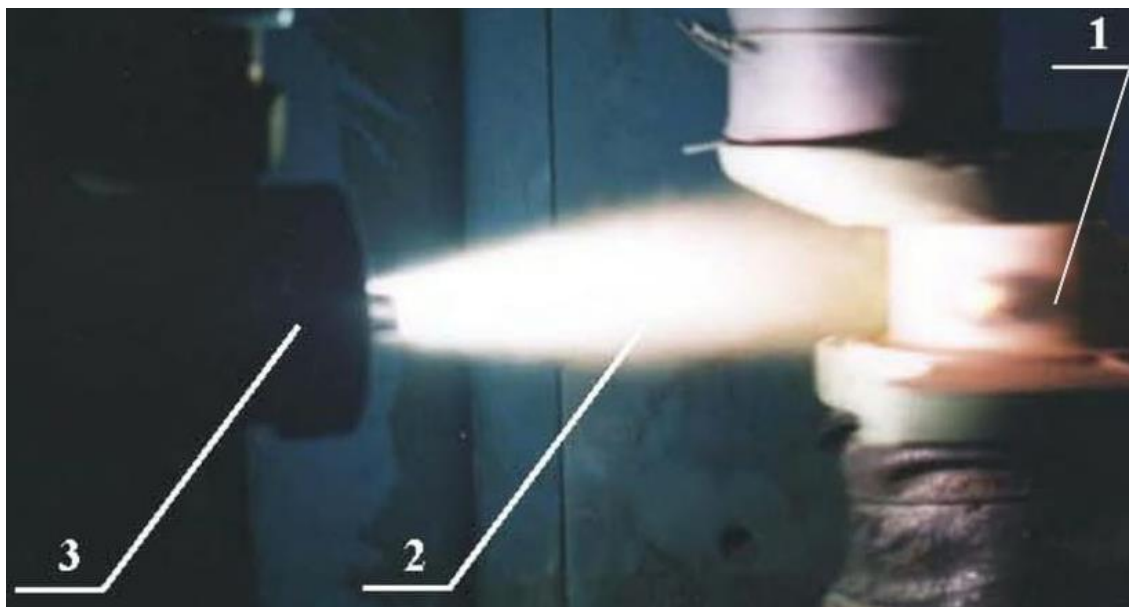
Проте одним із головних недоліків цих способів (плазмових) [2] є створення на деталі покриття із відносно низьким терміном дії та його значною собівартістю.

Метою досліджень було створення багатофакторної моделі технологічного процесу отримання зносостійкого покриття на зношеній частині колінчастого валу трактора «ПМЗ 10280».

Методика дослідження. Автори, спирались на роботи Ю.А. Харламова, Н.А. Будагянца, В.І. Орлова [1, 2] з удосконалення технології відновлення зношених частин колінчастого валу вітчизняного трактора марки «ПМЗ 10280» шляхом оптимізації робочих параметрів процесу. Оптимізація режиму напилювання зносостійкого покриття проводилась згідно методу Бокса – Уілсона [4].

Основні результати дослідження. Загальновідомо, що основними частинами зношування у колінчастому валові є корінні і шатунні шийки. В процесі роботи двигуна трактора за певний час його експлуатації нерівномірно зменшується діаметр корінних та шатунних шийок в результаті активного абразивного зношування, викликаного періодичним тертям дрібних часток металу по зовнішній поверхні шийок, що призводить до виходу їх з ладу. В результаті досліджень для відновлення зовнішньої поверхні шийок був вибраний як матеріал для напилювання самофлюсуючий порошковий дріт марки ПП-НП30Х6Ю6Р3 виробництва науково-виробничої фірми «Нафтогазмаш». Типовий хімічний склад наплавленого металу вилучений із порошкового дроту – 30Х6Ю6Р3 [3].

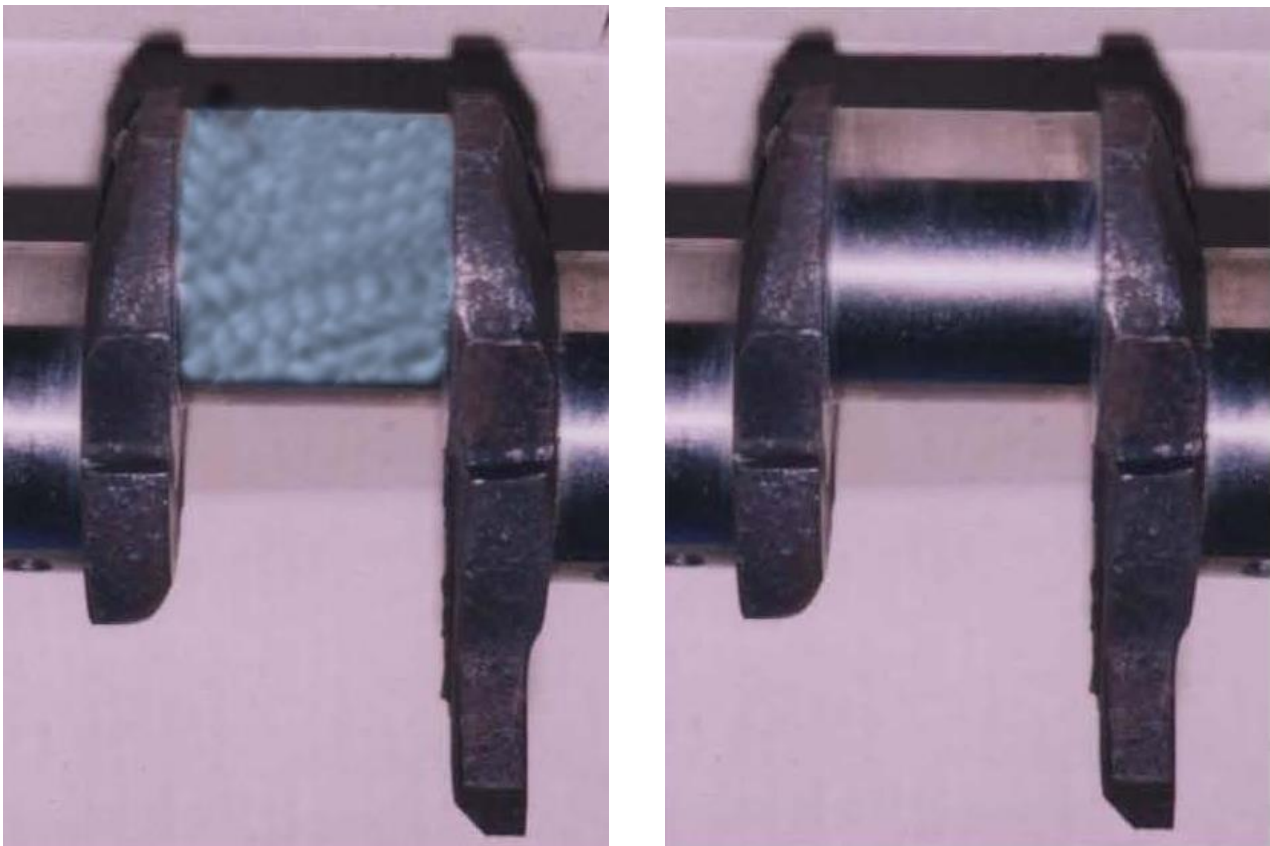
Схема процесу напилювання зносостійкого покриття на установці металізаційного нанесення покриттів напилювання УМНП-1 (рис. 1).



1 – корінна шийка колінчастого валу; 2 – процес формування зносостійкого покриття; 3 – електродуговий металізатор марки ЕДМ-1

Рис. 1. Схема процесу електрометалізаційного нанесення зносостійкого відновлювального покриття на корінну шийку колінчастого валу двигуна трактора моделі «ПМЗ 10280»

Зовнішній вигляд колінчастого валу після процесу електрометалізаційного нанесення зносостійкого відновлювального покриття на корінну шийку колінчастого валу двигуна трактора моделі «ПМЗ 10280» представлено на рис. 2.



а)

б)

а – після напилювання відновлюваного покриття; б – після процесу шліфування

Рис. 2. Фрагмент колінчастого валу

Оптимізація режиму напилювання зносостійкого покриття проводилась за використанням методом Бокса-Уілсона [4].

Критерієм оптимізації було обрано максимальне значення сили адгезійного зчеплення покриття з матеріалом основи σ_a . Визначення σ_a проводилось з використанням методики, спеціально розробленої А.М. Пономаренком [5], спеціально розробленої для визначення σ_a плазмових покриттів на тілах обертання (у тому числі і на шийках колінчастих валів). Матриця планування 1/2 повнофакторного експерименту наведена в табл. 1.

Таблиця 1 - Матриця планування експерименту плазмового напилювання захисного металокерамічного композиційного покриття [6-8]

Номер досліджу	Фактори				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	2	3	4	5	6
1	+	+	+	+	+
2	-	-	+	+	+

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
3	-	+	-	-	-
4	+	-	-	-	-
5	-	+	-	+	+
6	+	-	-	+	+
7	+	+	+	-	-
8	-	-	+	-	-
9	-	+	+	+	-
10	+	-	+	+	-
11	+	+	-	-	+
12	-	-	-	-	+
13	-	+	+	-	+
14	+	-	+	-	+
15	+	+	-	+	-
16	-	-	-	+	-

Рівні факторів експерименту наведено в табл. 2.

Таблиця 2 - Рівні факторів експерименту

Фактори	Кодоване значення факторів	Інтервал варіювання	Рівні факторів		
			верхній +1	основний 0	нижній -1
1	2	3	4	5	6
Сила струму струги I, А	X_1	15	220	205	190
Напруга дуги U, В	X_2	10	200	190	180
Витрата плазмотворюючого газу $G_{ПГ} \cdot 10^{-4}$, кг·с ⁻¹	X_3	2,15	8,6	10,75	12,9
Витрата матеріалу напилювання $G_{ПОР} \cdot 10^{-4}$, кг·с ⁻¹	X_4	1	3	2	1
Дистанція напилювання $L_{ДН}$, м	X_5	0,02	0,15	0,13	0,11

Для знаходження оптимальних параметрів процесу плазмового напилювання було використано математичну модель у вигляді нелінійного рівняння регресії квадратичної форми для 5-ти факторів експерименту (рівняння 1):

$$Y(b) = b_0 + \sum b_i X_i + \sum b_{ij} X_i X_j + \sum b_{ii} X_i^2 \quad (1)$$

де: Y_b – параметр оптимізації ($Y_b = \sigma_a$); b_0 , b_j , b_{ij} , b_{ii} – коефіцієнти рівняння регресії.

Згідно рівняння регресії (1) було розраховано коефіцієнти рівняння регресії у кодованому масштабі:

$$\begin{aligned}
 b_0 &= b_{22} = 0,334; & b_4 &= 0,112; & b_{12} &= & - & b_{14} &= & - & b_{23} &= 0,034; & b_{25} &= - \\
 5,118; & & b_{33} &= 0,167; & b_5 &= 0,389; & & 0,125; & & 0,211; & & b_{24} &= 0,789; & 0,145; \\
 b_{11} &= & & & b_{13} &= & - & b_{15} &= 0,426; & & & b_{34} &= & \\
 0,667; & & & & & & & 0,378; & & & & & 0,083; \\
 b_{35} &= & & & & & & & & & & & & \\
 0,182; & & & & & & & & & & & & & \\
 b_{45} &= & & & & & & & & & & & & \\
 0,782; & & & & & & & & & & & & &
 \end{aligned}$$

Табличне значення критерію Фішера [9, 10] при 16 основних дослідах та рівні значимості 0,05 дорівнює 2,05. Не значимими виявилися коефіцієнти b_1 , b_2 , b_3 , b_{44} , b_{55} .

Математична модель, яка визначає характер залежності сили адгезійного зчеплення зносостійкого покриття з матеріалом основи від п'яти прийнятих факторів, має вигляд:

$$\begin{aligned}
 \sigma_a &= 5,118 + 0,772 \cdot X_1^2 + 0,457 \cdot X_2^2 + 0,172 \cdot X_3^2 + 0,122 \cdot X_4 + 0,893 \cdot X_5 - 0,255 \cdot X_1 \cdot X_2 - \\
 &- 0,731 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,112 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,267 \cdot X_1 \cdot X_5 + 0,343 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,975 \cdot X_2 \cdot X_4 - \\
 &- 0,528 \cdot X_2 \cdot X_5 + 0,113 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,217 \cdot X_3 \cdot X_5 - 0,822 \cdot X_4 \cdot X_5, \quad (2)
 \end{aligned}$$

Матриця ранжирування має такий вигляд (табл. 3).

Таблиця 3 – Матриця ранжирування (відтворюваності) дослідів із визначення сили адгезійного зчеплення покриття з матеріалом основи

Номер дослідів	Ранг матриці (значення σ_a)
1	2
1	29
2	22
3	20
4	25
5	22
6	24
7	31
8	22
9	27
10	30
11	33
12	18
13	29
14	35
15	30
16	22

Під час проведення досліду № 14 (при відповідному режимі напилюванні – табл. 1, 2) було отримано покриття з найбільшим значенням сили адгезійного зчеплення.

Оптимізація функції $Y = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$ проводилась із використанням методу крутого сходження за М.З. Румшицьким [6], (табл. 4).

Коефіцієнти рівняння регресії (2) відповідають вибраним режимам процесу електродугового металізаційного нанесення зносостійкого покриття, згідно з матрицею планування чисельного експерименту.

Таблиця 4 – Оптимальні технологічні параметри технологічного процесу нанесення зносостійкого відновлювального покриття на основі порошкового дроту ПП-НП30Х6Ю6РЗ на корінну шийку колінчастого валу трактора марки «ПМЗ 10280»

I, А	U, В	$G_{ПГ} \cdot 10^{-4}$, кг·с ⁻¹	$G_{ПОР} \cdot 10^{-4}$, кг·с ⁻¹	L _{дн} , м	σ_a , МПа
205	195	10,75	3	0,12	35

Висновки:

1. Оптимізація технологічного процесу нанесення зносостійкого відновлювального покриття була проведена методом теорії планування експерименту, де як критерій оптимізації було взяте максимальне значення сили адгезійного зчеплення зносостійкого відновлювального покриття з матеріалом основи.

2. Аналіз отриманих результатів показав, що максимальне значення σ_a забезпечувалося завдяки розрахованим оптимальним значенням технологічних параметрів процесу плазмового напилювання (яке було отримане при режимі: I=190 А, U=200 В, $G_{ПГ}=10,75 \cdot 10^{-4}$ кг·с⁻¹, $G_{ПОР}=3 \cdot 10^{-3}$ кг·с⁻¹, L_{СЕ} = 0,12 м).

Список використаних джерел

1. Харламов Ю.А., Будагянц Н.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин. – Луганск: Изд-во Восточно-укр. национ. ун-та им. В. Даля, 2003. – 389 с.
2. Орлов В.И. Газотермическое напыление коррозионностойких и износостойких материалов. – Л.: ЛДНТП, 1986. – 142 с.
3. <https://ngm.ub.ua/ru/goods/view/5679981/all/pp--np30h6yu6r3-fmi-1-fmi>
4. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1981. – 389 с.
5. Пономаренко А.М. Оптимізація технології нанесення захисних плазмових покриттів на труби пароперегрівачів: Дис. ... канд. техн. наук: 05.03.06. – Черкаси, 2004. – 188 с.
6. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1981. – 195 с.
7. Компьютерное моделирование процессов плазменного напыления покрытий / Кундас С.П., Достанко А.П., Ильющенко А.Ф., Кузьменков А.Н., Lygscheider E., Eritt U. – Минск: Высшая школа, 1995. – 212 с.
8. Михайлович В.С., Волнович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирование сложных систем. – М.: Наука, 1992. – 288 с.

9. Хоменсюк В. В. Элементы теории многоцелевой оптимизации. – М.: Наука, 1979. – 200 с.
10. Цуканов И.Г. Структурные и компьютерные модели тепловых процессов в анизотропных средах с разрывными коэффициентами теплопроводности: Дис. ... канд. физ.-мат. наук: 04.12.06. – Х., 1997. – 175 с.

Аннотация

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ТРАКТОРА МАРКИ "ПМЗ 10280" МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Пономаренко А.М., Кравченко В.С., Терещенко Ю.Ф.

В результате многолетних исследований нами была получена и систематизирована информационная база экспериментальных данных, в которой особое место занимает раздел по математическому моделированию и обработке экспериментальных данных методами оптимизации численного эксперимента [5]. Результатом практического применения процесса электродуговой металлизации с использованием металлизатора марки ЕДМ-1 стало получение износостойкого покрытия на основе самофлюсующего порошка. Результатом математической обработки результатов эксперимента стала многофакторная модель технологического процесса получения износостойкого покрытия. Модель позволяет установить непосредственную связь между энергетическими параметрами работы электродугового металлизатора и качеством нанесенного покрытия.

Ключевые слова: электродуговая металлизация, металлизатор, проволока для металлизационного напыления, самофлюсующий порошок, оптимизация, износостойкое покрытие.

Abstract

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGY OF PROCEEDING IN THE CRANKSHAFT OF TRACTOR OF BRAND OF "ПМЗ 10280" METHOD OF ELECTRIC ARC METALLIZATION

A. Ponomarenko, V. Kravchenko, U. Tereschenko

The result of years of research, we obtained and systematized information base of experimental data in which a special place is occupied by the section on mathematical modeling and experimental data processing methods optimization numerical experiment [5]. The result of the practical application of the process of electric arc metallization using spraying gun of the brand of the EDM-1 was obtaining wear-resistant coatings based on camofluage powder. The result of mathematical processing of the results of the experiment was a multifactorial model of technological process of obtaining wear-resistant coating. The model allows to establish a direct link between the energy parameters of electric-arc metal spraying gun and the quality of the coating.

Keywords: electric arc metallization, Metalstar wire for Metalcasting coating, powder camofluage, optimization, wear-resistant coating.