

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПРЕС-ФОРМ МЕТОДОМ ТЕОРІЇ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ³

Літенко А.В., магістр групи МС-55-23
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Встановлено оптимальні значення твердості, шорсткості поверхні сталі 3Х3М3Ф, товщини покриття, що наноситься, з точки зору зносостійкості деталей об'ємного гідроприводу. Під час обробки результатів експерименту використовувався метод математичного моделювання.

Ключові слова: підкладка, адгезія, відшаровування, шорсткість, зносостійкість, математичне моделювання.

DETERMINATION OF OPTIMAL COATING PARAMETERS FOR DETAILS PRESS-FORM BY THE METHOD OF EXPERIMENT PLANNING THEORY

Litenko A., master of group МС-55-23
¹Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The optimal values of hardness, surface roughness of 3Kh3M3F steel, and the thickness of the applied coating were established from the point of view of wear resistance of parts of a volume hydraulic drive. When processing the results of the experiment, the method of mathematical modeling was used.

Key words: substrate, adhesion, peeling, roughness, wear resistance, mathematical modeling.

Вступ

Широкі можливості відкриває використання плазмових покриттів, зокрема хімічне осадження з газового середовища, конденсації речовини в умовах іонного бомбардування (КІБ).

Однак при цьому велике значення має не тільки склад покриття, що наноситься, але і такі параметри, як твердість підкладки, шорсткість поверхні, на яку наноситься покриття, товщина покриття.

Стан питання

Як один із показників обрано твердість. Вона легко піддається перевірці в будь-якій точці виробу без шкоди цілісності як до, так і після експлуатації.

Практика експлуатації виробів, виготовлених зі сталі з нанесенням на робочі поверхні плазмових покриттів, показала, що шорсткість поверхні виробу, на якому наноситься покриття, повинна бути не менше 0,48 Ra. В іншому випадку спостерігається відшаровування покриття, що наноситься, через погану адгезію його з підкладкою. Тому одним із завдань є визначення шорсткості оброблюваної поверхні, що забезпечує найвищу адгезію покриття з основним металом.

³ Робота виконана під керівництвом професора Глушкової Д.Б.

Матеріал та методика дослідження

Матеріалом дослідження була сталь 3Х3М3Ф. Термічна обробка - покращення, що забезпечує найкраще поєднання міцнісних та пластичних властивостей. Після зазначеної термічної обробки твердість коливається не більше 42...46 HRC.

Товщина покриття, що наноситься, змінюється в межах від 3 до 6 мікрон, що відповідає хорошій адгезії. Менша товщина не істотно впливає на властивості виробу, а у разі товщини більше 6 мікрон спостерігається відшаровування через погану адгезію з підкладкою.

Оскільки твердість приймає лише цілі значення, було вирішено провести п'ять серій експериментів (відповідно отримуючи значення твердості 42, 43, 44, 45, 46).

Результати експерименту та їх обговорення

Як прийнято в теорії планування експерименту [1, 2], товщину покриття і шорсткість будемо називати факторами і позначати X_1 і X_2 , а знос – відгуком і позначати Y . Виходячи з викладених вище міркувань, приймаємо, що межами існування (зміни) факторів є $X_{1\min} = 3$; $X_{1\max} = 6$; $X_{2\min} = 0,10$; $X_{2\max} = 0,48$. Інтервали варіювання факторів відповідно $\Delta X_1 = 6 - 3 = 3$; $\Delta X_2 = 0,48 - 0,1 = 0,38$.

Спочатку було проведено факторний експеримент першого порядку, метою якого було отримати математичну модель залежності Y від X_1 та X_2 у вигляді лінійного полінома. Для цього було реалізовано (при кожному значенні твердості) повний факторний експеримент типу 2^n . Його результати представлені у табл. 1 – 5.

Таблиця 1 – Значення товщини покриття, шорсткості та зносу при твердості підкладки 42 HRC

№ досліджу	X_1	X_2	Y
1	3	0,1	6,5
2	3	0,48	7,3
3	6	0,1	3,3
4	6	0,48	4,5

Таблиця 2 - Значення товщини покриття, шорсткості та зносу при твердості підкладки 43 HRC

№ досліджу	X_1	X_2	Y
1	3	0,1	6,3
2	3	0,48	7,0
3	6	0,1	4,0
4	6	0,48	4,4

Таблиця 3 - Значення товщини покриття, шорсткості та зносу при твердості підкладки 44 HRC

№ досліджу	X_1	X_2	Y
1	3	0,1	5,6
2	3	0,48	6,2
3	6	0,1	3,6
4	6	0,48	4,0

Таблиця 4 - Значення товщини покриття, шорсткості та зносу при твердості підкладки 45 HRC

№ опыта	X ₁	X ₂	Y
1	3	0,1	3,5
2	3	0,48	3,8
3	6	0,1	2,1
4	6	0,48	2,4

Таблиця 5 - Значення товщини покриття, шорсткості та зносу при твердості підкладки 46 HRC

№ опыта	X ₁	X ₂	Y
1	3	0,1	4,4
2	3	0,48	4,8
3	6	0,1	3,0
4	6	0,48	3,4

Примітка: по кожному рядку планів таблиць 1-5 проводилося два досліди, а в таблицю записувалося середнє значення Y. По кожній таблиці 1-5 розраховувалося рівняння регресії.

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2. \quad (1)$$

Результати розрахунку представлені у табл. 6.

Таблиця 6 - Результати розрахунку коефіцієнтів лінійного рівняння регресії

Значення твердості	b ₀	b ₁	b ₂
42	9,14	-1	2,63
43	11,76	-2,26	2,31
44	8,68	-0,82	1,45
45	7,62	-0,7	1,32
46	5,70	-0,47	1,05

Потім була проведена перевірка за критерієм Фішера при рівні значущості q=0,05 адекватності отриманих рівнянь шляхом порівняння розрахункового критерію Фішера - F_p з табличним. У всіх випадках F_p > F_т, отже, рівняння є адекватними. У зв'язку з цим було ухвалено рішення продовжити експерименти, доповнивши отримані плани 2ⁿ до центральних композиційних планів другого порядку. Реалізації цих планів наведено в табл. 7 – 11.

Таблиця 7 - Значення товщини покриття, шорсткості та зношування при твердості підкладки 42HRC в результаті експериментів за планом другого порядку

№ досліду	X ₁	X ₂	Y
1	2	3	4
1	3	0,1	6,5
2	3	0,48	7,3
3	6	0,1	3,3

1	2	3	4
4	6	0,48	4,5
5	4,5	0,29	5,2
6	4,5	0,1	4,8
7	4,5	0,48	5,4
8	3	0,29	6,8
9	6	0,29	4,2

Таблиця 8 - Значення товщини покриття, шорсткості та зносу при твердості підкладки 43HRC в результаті експериментів за планом другого порядку

№ досліджу	X ₁	X ₂	Y
1	3	0,1	6,3
2	3	0,48	7,0
3	6	0,1	4,0
4	6	0,48	4,4
5	4,5	0,29	5,2
6	4,5	0,1	4,8
7	4,5	0,48	5,4
8	3	0,29	6,8
9	6	0,29	4,2

Таблиця 9 - Значення товщини покриття, шорсткості та зносу при твердості підкладки 44HRC в результаті експериментів за планом другого порядку

№ досліджу	X ₁	X ₂	Y
1	3	0,1	5,6
2	3	0,48	6,2
3	6	0,1	3,6
4	6	0,48	4,0
5	4,5	0,29	5,0
6	4,5	0,1	4,4
7	4,5	0,48	5,2
8	3	0,29	6,0
9	6	0,29	3,8

Таблиця 10 - Значення товщини покриття, шорсткості та зносу при твердості підкладки 45HRC в результаті експериментів за планом другого порядку

№ досліджу	X ₁	X ₂	Y
1	2	3	4
1	3	0,1	3,5
2	3	0,48	3,8
3	6	0,1	2,1
4	6	0,48	2,4

1	2	3	4
5	4,5	0,29	2,51
6	4,5	0,1	2,45
7	4,5	0,48	2,76
8	3	0,29	3,5
9	6	0,29	2,17

Таблиця 11 - Значення товщини покриття, шорсткості та зносу при твердості підкладки 46HRC в результаті експериментів за планом другого порядку

№ досліджу	X ₁	X ₂	Y
1	3	0,1	4,4
2	3	0,48	4,8
3	6	0,1	3,0
4	6	0,48	3,4
5	4,5	0,29	4,0
6	4,5	0,1	3,8
7	4,5	0,48	4,1
8	3	0,29	4,6
9	6	0,29	3,4

За кожною із таблиць розраховано рівняння регресії

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{22}X_2^2. \quad (2)$$

Результати розрахунку представлені в табл. 12.

Таблиця 12 - Значення коефіцієнтів регресії

Значення твердості	Значення коефіцієнтів регресії					
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₁₁	b ₁₂	b ₂₂
42	11,76	-2,26	2,31	0,35	0,13	-2,77
43	10,82	-2,02	4,01	-0,26	0,14	-2,31
44	7,21	-0,66	3,98	-0,18	0	-2,77
45	7,57	-1,79	-0,99	0,02	0,15	2,91
46	5,25	-0,31	2,3	0	-0,01	-2,31

Для наочності графічне зображення поверхні відгуку наведено на рис. 1 – 5.

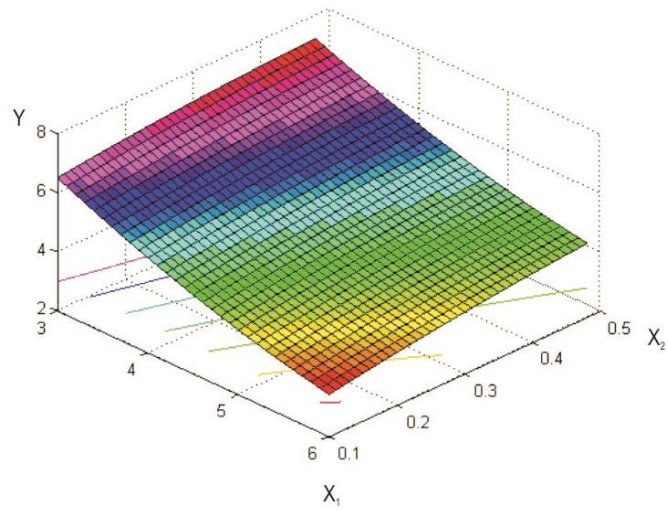


Рисунок 1 - Поверхня відгуку для твердості 42 HRC

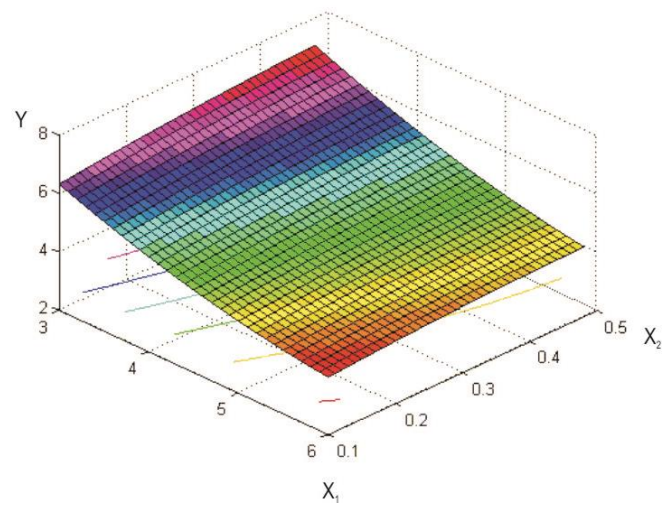


Рисунок 2 - Поверхня відгуку для твердості 43 HRC

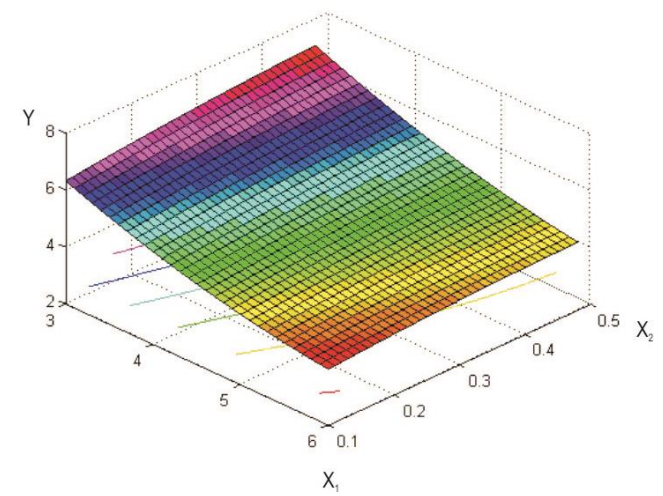


Рисунок 3 - Поверхня відгуку для твердості 44 HRC

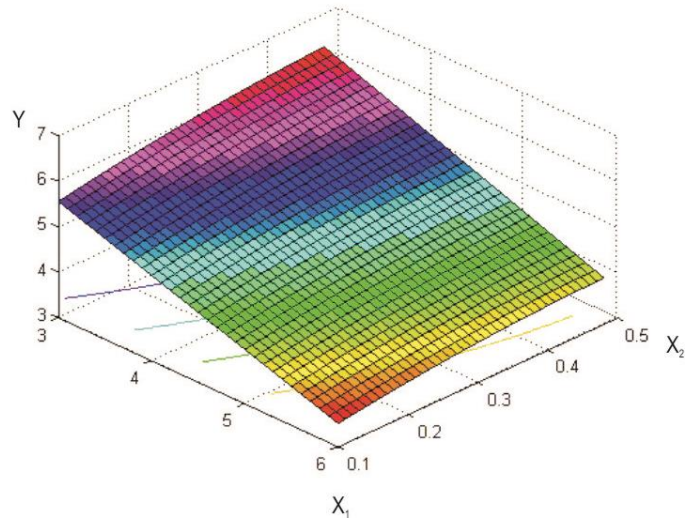


Рисунок 4 - Поверхня відгуку для твердості 45 HRC

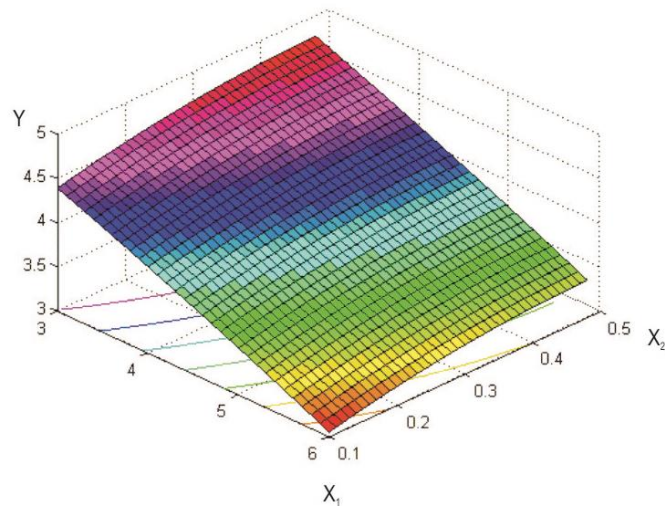


Рисунок 5 - Поверхня відгуку для твердості 46 HRC

Тепер знайдемо найменше значення функції Y в області

$$\begin{cases} 3 \leq X_1 \leq 6 \\ 0,1 \leq X_2 \leq 0,48. \end{cases} \quad (3)$$

За відомою теоремою [3] це значення приймається або на межі області або в стаціонарній точці. Координати (X_1^0, X_2^0) стаціонарної точки визначаються як рішення системи рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial Y}{\partial X_1} = 0 \\ \frac{\partial Y}{\partial X_2} = 0, \end{cases} \quad (4)$$

Яка в нашому випадку має вигляд

$$\begin{cases} b_1 + b_{12}X_2 + 2b_{11}X_1 = 0 \\ b_2 + b_{12}X_1 + 2b_{22}X_2 = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Вирішуємо її за формулами

$$\begin{aligned} X_1^0 &= \frac{-2b_{22}b_1 + b_2b_{12}}{4b_{11}b_{22} - b_{12}^2}, \\ X_2^0 &= \frac{-2b_{11}b_2 + b_{12}b_1}{4b_{11}b_{22} - b_{12}^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Отримуємо

при T=42	$X_1^0=7,31$	$X_2^0=0,88$
при T=43	$X_1^0=7,60$	$X_2^0=0,43$
при T=44	$X_1^0=141,50$	$X_2^0=-3,76$
при T=45	$X_1^0=6,01$	$X_2^0=0,15$
при T=46	$X_1^0=-10,50$	$X_2^0=0,5$

Як бачимо, тільки в одному випадку при T = 45 можна вважати, що стаціонарна точка ($X_1^0=6, X_2^0=0,15$) належить області визначення факторів, в інших випадках найменше значення функції Y досягається на границі. Зробивши прямий підрахунок, знайдемо найменше значення в кожному випадку. У табл. 13 вказані координати екстремальної точки та значення Y у ній.

Таблиця 13 – Значення відгуку в екстремальній точці

Значення твердості	Координати екстремальної точки		Значення відгуку Y
	X ₁	X ₂	
42	6	0,1	3,43
43	6	0,1	3,96
44	6	0,1	3,5
45	6	0,15	2,11
46	6	0,1	3,06

Як видно з табл. 13, найменше значення зносу прогнозується при значенні твердості, що дорівнюється 45 HRC, товщині покриття 6 і шорсткості 0,15. Для підтвердження цієї гіпотези був проведений експеримент з визначення зносостійкості при твердості 45, шорсткості 0,16 мкм і товщині покриття 6 мкм. Отриманий знос 2,2 дійсно виявився найменшим.

Література

1. Статюха Г.О., Складанний Д.М., Бонаренко О.С. Вступ до планування оптимального експерименту: навч. посібн. для студ. спец. 092502 – Комп’ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва. К. : ІВЦ «Політехніка», 2011. 117 с.

2. Назаренко Л.А. Конспект лекцій з курсу «Планування і обробка результатів експерименту» (для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. унт міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 163 с.

3. Диференціальне та інтегральне числення функцій кількох змінних. Диференціальні рівняння. Конспект лекцій. (I курс II семестр) / Уклад.: В. О. Гайдей, Л. Б. Федорова, І. В. Алексєєва, О. О. Диховичний. К : НТУУ «КПІ», 2013. 144 с.