

УДК 621.315

С.О. Приступа

Луцький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ ВИГЛАДЖУВАЛЬНОЇ ОПЕРАЦІЇ НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ПОВЕРХНІ ПІСЛЯ ОБРОБКИ

Ефективність застосування алмазного вигладжування багато в чому залежить від правильного вибору умов і режимів обробки. В роботі описаний трьохфакторний експеримент з виведенням рівняння регресії. Це дало змогу вибрати раціональні технологічні параметри операції вигладжування з отриманням заданої мікрогеометрії.

Поверхнєве пластичне деформування (ППД) — це обробка деталей тиском (без зняття стружки), при якій пластично деформується тільки їх поверхневий шар. ППД здійснюється інструментом, деформуючі елементи (ДЕ) якого (кульки, ролики або тіла іншої конфігурації) взаємодіють з оброблюваною поверхнею за схемами кочення, ковзання або проникнення.

Інтенсивність пластичної деформації поверхневого шару залежить від сили вигладжування P , форми і розмірів ДЕ, подачі, твердості оброблюваного матеріалу [4].

Застосовуючи обробку вигладжування, можна не тільки істотно збільшити експлуатаційну довговічність деталей, але й при неправильно підібраних режимах обробки, навпаки, призвести до її зниження. Тому для успішного вирішення проблеми зміцнення необхідно чітко розуміння структури поверхневого шару і тих змін, які відбуваються в ньому в результаті обробки ППД, і також наслідків, до яких вони приведуть при експлуатації [7].

З метою визначення впливу технологічних чинників, а саме сили вигладжування P , подачі s і швидкості вигладжування v на вихідну шорсткість поверхні, був спланований і проведений трьохфакторний експеримент.

Для проведення дослідження використовувався зразок зі сталі 20 циліндричної форми діаметром 20мм, вихідна обробка якого здійснювалась на токарному верстаті з подачею 0,06мм/об та швидкістю різання 30 м/хв.

В якості змащувально-охолоджувальної рідини, як уже зазначалось вище в процесі вигладжування застосовувалось індустріальне мастило ИГА-32.

Перший етап експерименту — кодування факторів. Це потрібно для переведення натуральних факторів у безрозмірні величини з метою побудови плану-матриці експерименту. Зв'язок між кодовими і натуральними значеннями факторів встановлюється залежністю:

$$x_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (1)$$

де x_i , x_i — відповідно кодове та натуральне значення i -го фактора;

x_{i0} — натуральне значення i -го фактора на нульовому рівні (нульовим називається рівень, що приймає середнє значення фактора)

Δx_i — інтервал варіювання i -го фактора.

Кодування факторів представлено в таблиці 1. При цьому інтервали варіювання можуть бути представлені за фактором.

Після закінчення кодування складається план-матриця експерименту для восьми дослідів (таблиця 2)

Таблиця 1

Результати кодування факторів

Рівень варіювання фактору	Фактори		
	Сила вигладжування, Н	Подача мм/об	Швидкість вигладжування, м/хв
Натуральне позначення	P_{ϵ}	s	v
Кодоване позначення	x_1	x_2	x_3
Верхній (+)	200	0,1	60
Основний (0)	150	0,06	40
Нижній (-)	100	0,02	20

Таблиця 2

План-матриця експерименту

№ досліду	Значення кодovаних факторів			Взаємодія кодovаних факторів			
	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Наступним кроком буде проведення рандомізація дослідів з метою отримання послідовності їх проведення.

Приймаєм число повторюваності дослідів — 3. Користуючись таблицями випадкових величин отримано таку послідовність проведення дослідів: 4,7,1,8,6,2,5,3 — для першої повторюваності дослідів, 8,5,3,6,1,4,2,7— для другої повторюваності, 2,7,3,5,1,4,8,6 — для третьої повторюваності.

Наступним кроком буде безпосереднє проведення експерименту по плану-матриці, результати якого подані в таблиці 3.

Далі за формулою (2) визначимо дисперсію, що характеризує розсіювання результатів в i -му досліді.

$$s_n^2 = \frac{1}{m_0 - 1} \sum_{i_k=1}^{m_0} (y_{a i_k} - \bar{y}_a)^2 \quad (2)$$

де i_k — номер повторюваності;

$R_{a i_k}$ — вихідні параметри при i_k повторюваності;

m_0 — число повторюваностей;

n — число дослідів.

Таблиця 3

Результати експериментального дослідження

№ досліду	Вихідний параметр шорсткості R_a			Середнє арифметичне значенн вихідного параметра \bar{y}_a , мкм
	перша повторюваність y_{1a} , мкм	друга повторюваність y_{2a} , мкм	третя повторюваність y_{3a} , мкм	
1	3,4	3,1	3,3	3,27
2	3,0	2,8	3,1	2,97
3	2,6	2,4	2,7	2,57
4	2,8	3,0	2,6	2,8
5	2,5	2,7	2,4	2,53
6	2,9	2,8	3,0	2,9
7	2,4	2,2	2,5	2,37
8	2,3	2,1	2,6	2,33

В розглянутому випадку $m_n = 3$, а $n=8$.

Результати розрахунків дисперсії зведені до таблиці

4.

Таблиця 4

Розрахунок дисперсії

$S_{n_1}^2$	$S_{n_2}^2$	$S_{n_3}^2$	$S_{n_4}^2$	$S_{n_5}^2$	$S_{n_6}^2$	$S_{n_7}^2$	$S_{n_8}^2$	$\overline{S_n^2}$
0,006	0,0048	0,0072	0,0042	0,0039	0,0069	0,0054	0,0059	0,0063

Перевірка відтворюваності дослідів проводиться за критерієм Кохрена, табличне значення якого позначимо $G(0,05;n;f_{ii})$. Перевірка відповідності проводиться за умови

$$G \leq G(0,05; n; f_{ii}) \quad (3)$$

де

$$G = \frac{S_{n_{max}}^2}{(\sum_{i=1}^n S)} \quad (4)$$

Підставивши значення з таблиці 4 дістанемо

$$G = \frac{0,0072}{0,0067 + 0,0048 + 0,0072 + 0,0042 + 0,0039 + 0,0069 + 0,0054 + 0,0059} = 0,1429$$

Табличне значення критерія Кохрена при $n = 8$ і $f = m_n - 1 = 2$ становить 0,5157. Число 0,5157 більше від 0,1429, тому приходимо до висновку, що процес відтворюється.

Рівняння регресії для трьохфакторного експерименту буде мати вигляд неповного квадратного рівняння:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 \quad (5)$$

Оскільки процес відтворюваний, то за наступними формулами по даних таблиці 3 можна вирахувати коефіцієнти рівняння регресії:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n \bar{y}_n; \\ b_i &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{y}_n; \\ b_{ij} &= \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} \bar{y}_n, \end{aligned} \quad (6)$$

де n — число дослідів;

\bar{y}_n — середнє арифметичне значення вихідного параметра в n -му досліді;

x_{iu} — значення i -го кодового фактора в рядку матриці в n -му досліді;

x_{ju} — значення j -го кодового фактора в рядку матриці в n -му досліді;

Обчислені значення коефіцієнтів рівняння регресії представлені в таблиці 5.

Таблиця 5

Коефіцієнти рівняння регресії

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}
2,74	1,12	0,95	1,35	-0,41	0,23	-0,54

Рівняння регресії буде мати вигляд:

$$y = 2,74 + 1,12x_1 + 0,95x_2 + 1,35x_3 - 0,41x_1x_2 + 0,23x_1x_3 - 0,54x_2x_3$$

Перевірка адекватності рівняння проводиться за критерієм Фішера F . Адекватність матиме місце, коли виконується нерівність:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} < F(0,05; f_{ад}; f_y) \quad (7)$$

де $S_{ад}^2$ — дисперсія адекватності;

$F(0,05; f_{ад}; f_y)$ — критерій Фішера при 5% рівні значущості ;

$f_{ад}$ — число ступенів вільності дисперсії адекватності.

$$f_{ад} = n - k - 1 = 8 - 3 - 1 = 4$$

де k — число факторів

f_y — число ступенів вільності дисперсії відтворюваності

$$f_y = n(m_0 - 1), \quad (8)$$

Дисперсія $S_{ад}^2$ обчислюється за формулою

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{n - k - 1} \sum_{i_k=1}^n (y - \bar{y}_k)^2 \quad (9)$$

y — розрахункове значення відгуку в - му досліді

Відповідні значення $(y - \bar{y}_k)^2$ занесені в таблиця 6.

Таблиця 6

1	2	3	4	5	6	7	8
0,0092	0,0096	0,0079	0,0083	0,0079	0,0089	0,0093	0,0095

$$S_{ад}^2 = \frac{0,0092 + 0,0096 + 0,0079 + 0,0083 + 0,0079 + 0,0089 + 0,0093 + 0,0095}{8 - 2 - 1} = 0,01765$$

Таким чином, значення F критерію Фішера:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} = \frac{0,01765}{0,0063} = 2,8 < F(0,05; 4; 16) = 3,01$$

де 3,01 число в таблиці [4]. Таким чином, можна зробити висновок, що модель адекватна.

Перехід від рівняння (5), у якому x_1 і x_2 — фактори в кодованому вигляді, до рівняння з факторами x_1 і x_2 в натуральному вигляді проводиться з врахуванням (1). Тоді остаточно отримаємо:

$$Ra = 2,74 + 1,12P_B + 0,95s + 1,35v - 0,41P_B s + 0,23P_B v - 0,54sv$$

За отриманими експериментальними даними і остаточною рівнянням регресії в програмі Microsoft Office Excel було побудовано три поверхні відгуку (рис. 1-3).

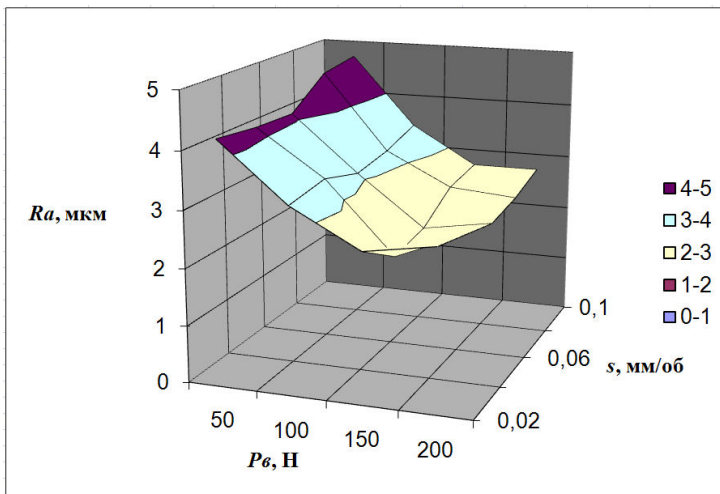


Рис. 1. Поверхня відгуку з двома факторами (P_B та s) і одним параметром R_a

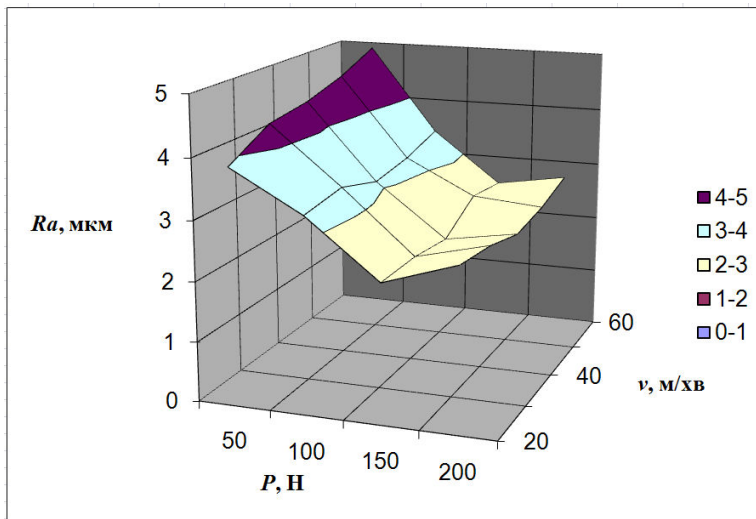


Рис. 2. Поверхня відгуку з двома факторами (P_B та v) і одним параметром R_a

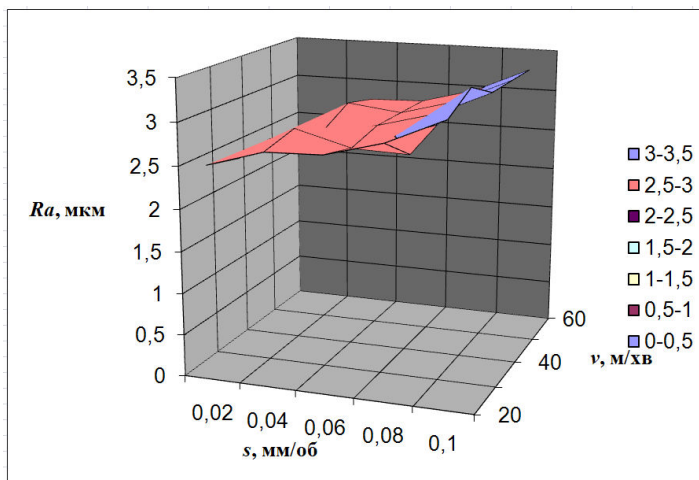


Рис. 3. Поверхня відгуку з двома факторами (v та s) і одним параметром R_a

Проаналізувавши отримані результати можна зробити висновок, що найбільший вплив на весь процес зміцнювальної обробки має сила вигладжування. Підтверджено, що сила вигладжування P суттєво впливає на зменшення шорсткості. Зміна $Ra=5\div 1,25$ мкм проходить з ростом сили вигладжування від 50 до 200 Н. Збільшення шорсткості при $P>250$ Н пов'язане з перенапруженням поверхневого шару, яке настає після того, як сила в початковий момент контакту індентора з заготовкою перевищує границю міцності матеріалу на розрив. В цьому випадку на поверхні заготовки з'являються мікротріщини.

Виходячи з результатів експерименту, зміна P від 50 до 200 Н дозволила встановити мінімальне значення шорсткості. Оптимальні режими вигладжування вибираються симплексним методом з оптимальної області. З експерименту слідує, що діапазон зміни P дорівнює $100\div 150$ Н.

Максимальна величина подачі при роботі вигладжувального інструмента визначається по встановленій [8] залежності і для вигладжування становить $0,1$ мм/об. Виходячи з того щоб працювати з подачею менше $0,02$ мм/об не раціонально внаслідок низької продуктивності діапазон зміни подачі $S=0,02\div 0,1$ мм/об.

З умов роботи інструмента виходить, що, динамічна складова сили вигладжування змінюється пропорційно частоті обертання, відповідно для забезпечення однорідності поверхні працювати при $v<60$ м/хв нерационально.

У зв'язку з тим, що подача здійснює незначний вплив на продуктивність процесу вигладжування можна зробити висновок, що з одної сторони, у випадку малої подачі кожна точка поверхні піддається вигладжуванню декілька разів. Відомо, що поверхневий шар може руйнуватись не тільки при силі яка перевищує критичну величину, але й

при невеликому навантаженні, якщо кратність прикладення її до кожної точки достатньо велика. З іншої сторони низька величина подачі знижує продуктивність обробки. Підвищення подачі $S=0,1\div 0,4$ мм/об збільшує шорсткість в 1,5-2 рази. Відповідно, для отримання максимальної продуктивності необхідно працювати з максимально допустимою подачею.

Література:

1. В.І. Марчук, В.Ю. Заблоцький, С.А. Мороз Вплив методу поверхневого пластичного деформування на формування мікрогеометричних параметрів робочих поверхонь кілець підшипників // "Наукові нотатки" міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка"). Випуск 21 (березень, 2008), Луцьк, 2008. с.187-190.

2. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник / Одинцов Л.Г. - М.: Машиностроение, 1987. – 328с.

3. Основы научных исследований / Крутов Г.И., Гришко И.М., Попов В.В. и др. – М.: Высшая школа, 1989. – 400 с.

4. Торбило В.М. Алмазное выглаживание / Торбило В.М. - М.: Машиностроение, 1972. – 105с.