

УДК 621.01.357.74

Л.Я. Роп'як, В.В. Остапович*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу***ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ НА ШОРСТКІСТЬ ХРОМОВОГО ПОКРИТТЯ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ**

Проведено аналіз методів механічної обробки деталей з покриттями. Обґрунтовано застосування круглого алмазного шліфування хромового покриття, нанесеного в проточному електроліті, яке забезпечує отримання високої чистоти обробленої поверхні. Досліджено вплив режимів різання: глибини різання, швидкості обертання деталі та поздовжньої подачі стола верстата на величину середнього арифметичного відхилення профілю від середньої лінії в межах ділянки базової довжини обробленої поверхні, побудовано математичну модель з використанням повнофакторного експерименту і проведено її аналіз. Встановлено, що на величину шорсткості Ra обробленої поверхні покриття найбільш істотний вплив має швидкість обертання деталі

Ключові слова: кругле алмазне шліфування, режими різання, електрохімічне хромове покриття, шорсткість поверхні, математичне планування експерименту, математична модель

Рис. 1. Форм. 21. Табл. 6. Літ. 8.

Роп'як Л.Я., Остапович В.В.**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ХРОМОВОГО ПОКРЫТИЯ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

Проведен анализ методов механической обработки деталей с покрытиями. Обосновано применение круглого алмазного шлифования хромового покрытия, нанесенного в проточном электролите, которое обеспечивает получение высокой чистоты обработанной поверхности. Исследовано влияние режимов резания: глубины резания, скорости вращения детали и продольной подачи стола станка на величину среднего арифметического отклонения профиля от средней линии в пределах участка базовой длины обработанной поверхности, построена математическая модель с использованием полнофакторного эксперимента и проведен ее анализ. Установлено, что на величину шероховатости Ra обработанной поверхности покрытия наиболее существенное влияние оказывает скорость вращения детали

Ключевые слова: круглое алмазное шлифование, режимы резания, электрохимическое хромовое покрытие, шероховатость поверхности, математическое планирование эксперимента, математическая модель

Ropyak L.Ya., Ostapovych V.V.**THE STUDY OF THE INFLUENCE OF DIAMOND GRINDING CONDITIONS UPON THE ROUGHNESS OF CHROMIUM COATING BY THE MATHEMATICAL PLANNING EXPERIMENT METHOD**

There are analyzed machining methods of parts with coatings. There is substantiated the application of round diamond polishing of chrome coating, applied at the electrolyte flow, which helps to obtain a high purity of the treated surface. There is studied the influence of the cutting conditions: cutting depth, rotational speed of a detail and a longitudinal feed of the table upon the value of the arithmetic mean of the profile deviation from the middle line within a base length of the treated surface. The mathematical model is built using full factorial experiment and its analysis is conducted. It is established that the value of the roughness Ra of a treated surface of the covering is most significantly affected by the rotational speed of a detail.

Keywords: round diamond grinding, cutting conditions, electrochemical chrome plating, surface roughness, mathematical planning experiment, mathematical model

Постановка проблеми. В конструкціях сучасних машин і механізмів широко використовують деталі з покриттями, які забезпечують раціональне поєднання фізико-механічних властивостей основи та покриття. Особливістю роботи деталей поршневих насосів двосторонньої дії є те, що вони експлуатуються у вузлах, що працюють при високих тисках і температурах та піддаються дії агресивних компонентів промивальної рідини, яка містить у своєму складі тверді абразивні частинки гірської породи. Все це призводить до низького ресурсу роботи даних насосів. Для підвищення ресурсу роботи їх змінних деталей застосовують різноманітні технологічні методи зміцнення.

Після нанесення покриттів поверхня деталей у більшості випадків має велику шорсткість і потребує подальшої механічної обробки. Для обробки покриттів застосовують в основному такі методи: точіння, шліфування (рідше фрезерування, стругання). Вибір методу механічної обробки визначається вимогами до стану поверхні деталі з покриттями, твердістю покриття і його міцністю зчеплення з основою.

При точінні застосовують різці із твердого сплаву, ельбору та алмазні. Обробка ведеться при малій глибині різання. Інколи застосовують вібраційне точіння [1]. При шліфуванні застосовують абразивні та алмазні круги. Обробка ведеться також при знятті шару малої товщини. Для покращення умов різання застосовують мастильно-охолоджувальні рідини. При високій твердості покриття використовують алмазні круги на бакелітовій зв'язці для отримання високої чистоти поверхні ($R_a < 0,32$ мкм), тому що круги на металевій зв'язці мають низьку продуктивність та забезпечують отримання більш високої шорсткості поверхні покриття [2].

Аналіз літературних джерел. Відомо, що шорсткість поверхні можна описати степеневою залежністю, яка встановлює зв'язок між режимами різання і геометрією ріжучого інструменту (токарного різця) та властивостями оброблюваного матеріалу [3]. В роботі [4] наведена формула для розрахунку шорсткості при шліфуванні з поздовжньою подачею циліндричних деталей зі сталі 50Г абразивним кругом з урахуванням режимів та умов обробки, яка має також вигляд степеневої залежності. Аналогічна степенева формула представлена в довіднику [5] для плоского алмазного шліфування твердого сплаву. Такого роду формула наведена і в роботі [6] для круглого шліфування циліндричної поверхні деталі з напиленим плазмовим покриттям.

В результаті проведених автором [2] досліджень шорсткості при шліфуванні гальванічних покриттів отримані формули:

– для обробки абразивним кругом покриттів із електролітичної сталі, у вигляді степеневої залежності;

– для обробки алмазним кругом для хромових покриттів, нанесених у спокійному електроліті, у вигляді полінома другого порядку.

При шліфуванні циліндричних поверхонь величина шорсткості обробленої поверхні залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу деталі, характеристик круга і виду мастильно-охолоджуючої рідини (стала постійна величина для конкретних умов обробки) C_a , глибини різання (товщина шару металу, який знімають за подвійний хід стола верстата) t , швидкості обертання деталі v_d , швидкості обертання круга v_k , величини поздовжньої подачі s [4 – 6], тобто $R_a = f(C_a, t, v_d, v_k, s)$.

Для забезпечення високих експлуатаційних характеристик гумово-металевих пар тертя поршневих бурових насосів перспективним є застосування хромових покриттів, нанесених в протічному електроліті [7, 8] на робочі поверхні штоків поршнів та втулок циліндрових, які характеризуються високою мікротвердістю і мають низький коефіцієнт тертя. Однак у літературі практично відсутні розрахункові залежності для визначення режимів різання при шліфуванні таких покриттів. Тому дослідженнями процесу круглого алмазного шліфування деталей з хромовим покриттям, нанесеним в протічному електроліті є актуальним питанням і має як наукове, так і практичне значення для технологів-машинобудівників.

Метою роботи є побудова та аналіз математичної моделі впливу режимів різання при круглому алмазному шліфуванні електрохімічних хромових покриттів, нанесених на сталеву деталь в протічному електроліті, на величину шорсткості обробленої поверхні.

Результати досліджень. Досліджували процес алмазного шліфування зовнішньої циліндричної поверхні, зміцненої електрохімічним хромовим покриттям, яке наносили на сталь в протічному електроліті. Технологічний процес хромування сталі описаний в роботі [8].

За критерій оптимальності прийняли середньоарифметичне відхилення профілю від середньої лінії в межах ділянки базової довжини профілю шліфованої поверхні покриття R_a , мкм.

Оскільки переважна більшість шліфувальних верстатів, які використовують в даний час на машинобудівних підприємствах, не має органу регулювання швидкості обертання шпинделя, тому не доцільно проводити розрахунок швидкості обертання шліфувального круга в кожному конкретному випадку обробки.

При призначенні режимів різання необхідно із довідкових таблиць [2, 5] вибрати діапазон рекомендованих значень v_k і комбінуючи число обертів шпинделя з діаметром алмазного круга, забезпечити попадання отриманої швидкості обертання алмазного круга в цей діапазон. Шліфування проводили алмазним кругом АПП 300x75x15x5 АСО 63/50Б1 – 100 при його швидкості обертання $v_k = 35$ м/с [2], як мастильно-охолоджувальну рідину використовували водний розчин 1 % кальційованої соди і 0,25 % нітриту натрію.

З метою спрощення математичної моделі, яка описує залежність шорсткості (вихідний параметр – середньоарифметичне відхилення профілю R_a , мкм, тобто середнє значення відхилень точок профілю від середньої лінії профілю в межах ділянки базової довжини) від змінних факторів

(режимів обробки) вибрали степеневу функцію. Швидкість обертання алмазного круга не вводили в цю функцію, а приймали сталою для досліджуваного процесу шліфування хромового покриття.

$$R_a = C_a \cdot t^m \cdot v_d^n \cdot s^p, \quad (1)$$

де C_a – постійний коефіцієнт;

m, n, p – невідомі показники степені.

Залежність (1) є нелінійною, тому провівши логарифмування лівої та правої частин зведемо її до лінійного вигляду:

$$\ln R_a = \ln C_a + m \ln t + n \ln v_d + p \ln s. \quad (2)$$

Для спрощення розрахунків введемо такі позначення: $\ln R_a = Y$; $\ln C_a = b_0$, $m = b_1$; $t = X_1$; $n = b_2$; $v_d = X_2$; $p = b_3$; $s = X_3$ і підставивши їх у (2) отримаємо:

$$y = b_0 + b_1 \ln X_1 + b_2 \ln X_2 + b_3 \ln X_3. \quad (3)$$

Рівняння (3) є постульованою емпіричною моделлю залежності середньоарифметичного відхилення профілю від режимів різання при круглому алмазному шліфуванні з поздовжньою подачею.

Для визначення невідомих коефіцієнтів рівняння (3) використали повнофакторний експеримент 2^k , $k = 3$ – кількість змінних факторів (загальна кількість дослідів $N = 8$), матриця планування якого представлена в табл. 1.

Таблиця 1.

План-матриця повнофакторного експерименту 2^3

Номер дослідів	Значення кодованих факторів				Взаємодія кодованих факторів				Вихідний параметр, Y		Середнє значення вихідного параметра
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	Y_{u1}	Y_{u2}	
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{1c}
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	Y_{21}	Y_{22}	Y_{2c}
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	Y_{31}	Y_{32}	Y_{3c}
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	Y_{41}	Y_{42}	Y_{4c}
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	Y_{51}	Y_{52}	Y_{5c}
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	Y_{61}	Y_{62}	Y_{6c}
7	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	Y_{71}	Y_{72}	Y_{7c}
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Y_{81}	Y_{82}	Y_{8c}

Перетворення натуральних величин параметрів режимів різання в безрозмірні кодовані змінні для показниково-степеневого полінома здійснили за формулою [3]

$$x_i = \frac{2(\ln X_i - \ln X_{i \max})}{\ln X_{i \max} - \ln X_{i \min}} + 1, \quad (4)$$

де X_i – натуральні значення режимів різання при круглому алмазному шліфуванні;

$X_{i \min}$, $X_{i \max}$ – мінімальні та максимальні натуральні значення факторів;

i – відповідно порядковий номер незалежного фактора.

Числові значення режимів різання при круглому алмазному шліфуванні покриття прийняли такими, що вони частково співпадають із тими, що застосовуються на практиці та технологічними можливостями шліфувальних верстатів.

Рівні зміни факторів зведено в табл. 2.

Таблиця 2.

Рівні зміни режимів круглого алмазного шліфування хромових покриттів

Інтервал варіювання та рівні факторів	Глибина різання t , мм/дв.хід		Швидкість обертання деталі v_d , м/хв		Поздовжня подача стола s , мм/об	
	X_1	$\ln X_1$	X_2	$\ln X_2$	X_3	$\ln X_3$
Основний рівень, $x_i = 0$	0,0075	–	30	–	4	–
Інтервал варіювання, $\Delta x = 1$	0,0025	–	20	–	1	–
Верхній рівень, $x_i = +1$	0,010	–4,605	50	3,912	5	1,609
Нижній рівень, $x_i = -1$	0,005	–5,298	10	2,303	3	1,099

Підставивши числові значення із табл. 2 в формулу (4) отримаємо вирази для кодування факторів:

$$x_1 = 2,88539 \ln t + 16,28771;$$

$$x_2 = 1,24267 \ln v_d - 5,86135;$$

$$x_3 = 3,91523 \ln s - 3,30132.$$

Рівняння з введенням членів, які враховують взаємодію факторів запишемо в кодованих змінних

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (5)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ – коефіцієнти регресії, які характеризують вільний член рівняння, лінійні ефекти та ефекти взаємодії факторів відповідно;

x_1, x_2, x_3 – фактори експерименту (параметри режимів різання).

Порядок проведення експериментів згідно матриці був вибраний із використанням таблиці випадкових чисел для усунення систематичних похибок.

Щоб забезпечити добре відтворення результатів експерименту кожен дослід повторювали двічі на одному рівні факторів і розраховували середнє значення вихідного параметра в кожному досліді.

$$\bar{Y}_v = \frac{1}{r} \sum_{u=1}^r Y_{ui}. \quad (6)$$

Результати проведених експериментів представлені в табл. 3.

Таблиця 3.

Результати дослідів з визначення шорсткості поверхні хромового покриття після алмазного шліфування

Номер досліді	Значення кодованих факторів				Вихідний параметр, Y				Середнє значення вихідного параметра		Дисперсія в досліді
					повторюваність дослідів						
	x_0	x_1	x_2	x_3	Y_{u1}	$\ln Y_{u1}$	Y_{u2}	$\ln Y_{u2}$	\bar{Y}_v	$\ln \bar{Y}_v$	s_v^2
1	+1	-1	-1	-1	0,17	-1,765	0,23	-1,485	0,2	-1,625	0,039200
2	+1	+1	-1	-1	0,19	-1,687	0,25	-1,387	0,22	-1,537	0,045000
3	+1	-1	+1	-1	0,51	-0,683	0,42	-0,879	0,46	-0,781	0,019208

4	+1	+1	+1	-1	0,45	-0,803	0,48	-0,727	0,47	-0,765	0,002888
5	+1	-1	-1	+1	0,3	-1,204	0,23	-1,484	0,26	-1,344	0,039200
6	+1	+1	-1	+1	0,44	-0,829	0,64	-0,449	0,53	-0,639	0,072200
7	+1	-1	+1	+1	0,72	-0,325	0,63	-0,465	0,67	-0,395	0,009800
8	+1	+1	+1	+1	0,73	-0,308	0,64	-0,442	0,69	-0,375	0,008978

Отримані результати експерименту піддають статистичному аналізу. Для цього визначають:

– порядкові дисперсії

$$S_u^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{v=1}^N (Y_{uv} - \bar{Y})^2 ; \quad (7)$$

– дисперсії відтворення дослідів

$$S^2(Y) = \frac{1}{N} \sum_{v=1}^N S_v^2 . \quad (8)$$

Після цього перевіряють однорідність дисперсій за критерієм Кохрена (відношення максимальної порядкової дисперсії до суми всіх дисперсій експерименту)

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{v=1}^N S_v^2} . \quad (9)$$

Із довідкових таблиць знаходяться значення критерію Кохрена $G_{\text{табл}}$ для ступенів вільності $f_{u \max} = r - 1 = 2 - 1 = 1$; $f_v = N = 8$ та рівня значущості $\alpha = 0,05$ і порівнюють з розрахунковим G . Коли $G_{\text{додаток}} > G$ гіпотеза про однорідність дисперсій регресійної моделі приймається.

В нашому випадку $G_{\text{табл}} = 0,6798 > 0,3053$, отже умова відтворюваності дослідів задовольняється.

Повнофакторний експеримент відноситься до ортогональних планів і він дозволяє значно спростити розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії (5):

$$b_0 = \frac{\sum_{v=1}^N \bar{Y}_v}{N} , \quad (10)$$

$$b_i = \frac{\sum_{v=1}^N x_{iv} \cdot \bar{Y}_v}{N} , \quad (11)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{v=1}^N x_{iv} \cdot x_{jv} \cdot \bar{Y}_v}{N} , \quad i \neq j \quad (12)$$

$$b_{ijw} = \frac{\sum_{v=1}^N x_{iv} \cdot x_{jv} \cdot x_{wv} \cdot \bar{Y}_v}{N} , \quad i \neq j \neq w \quad (13)$$

де $i = 0, 1, 2, 3$ – номер фактора.

Коефіцієнти рівняння регресії, визначені за формулами (10) – (13) зведені в табл. 4.

Таблиця 4.

Коефіцієнти рівняння регресії

Коефіцієнт	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
Значення коефіцієнта	-0,932625	0,103625	0,353625	0,244375	-0,094625	0,077625	-0,050375	-0,076625

Отриману модель піддають статистичному аналізу.

Значущість коефіцієнтів перевіряли за t -критерієм Стьюдента. Для цього розрахували дисперсію коефіцієнтів регресії

$$S^2(b_i) = \frac{1}{Nr} S^2(Y). \quad (14)$$

Із довідкових таблиць знайшли критичне значення критерія Стьюдента $t_{кр}$ для степенів вільності $f_E = N(r-1) = 8(2-1) = 8$ та рівня значущості $\alpha = 0,05$ $t_{\delta} = 2,306$ і по ньому побудували половину довжини довірчого інтервалу

$$\Delta b_i = t_{\delta} S(b_i), \quad (15)$$

де $S(b_i)$ – похибки коефіцієнта.

Дисперсію коефіцієнтів регресії, розраховували за формулою (14), і вона становить 0,0430. Тоді згідно (15) $\Delta b_i = 2,306 \cdot 0,0430 = 0,0991$. Коефіцієнт рівняння регресії вважають значущим, якщо $|b_i| \geq \Delta b_i$ (тут під b_i розуміють $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ijw}$).

Статистично незначимі коефіцієнти відкидають і уточнюють рівняння регресії (5)

$$Y = -0,932625 + 0,103625x_1 + 0,353625x_2 + 0,244375x_3. \quad (16)$$

Адекватність моделі перевіряли за F -критерієм Фішера

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S^2(Y)}, \quad (17)$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності моделі.

Величину дисперсій адекватності моделі розраховували за формулою

$$S_{ad}^2 = \frac{r \sum_{v=1}^N (\bar{Y}_v - \hat{Y}_v)^2}{N - \lambda}, \quad (18)$$

де λ – число значущих коефіцієнтів у рівнянні регресії;

\hat{Y}_v – розрахункові значення вихідного параметра, отримані після підстановки в уточнене рівняння регресії (16) рівнів факторів (-1 та +1) згідно матриці планування повнофакторного експерименту.

Для перевірки адекватності отриманої математичної моделі (16) розраховуємо значення шорсткості, які заносимо в табл. 5.

Таблиця 5.

Розрахункові значення параметра шорсткості поверхні хромового покриття

Номер досліджу	1	2	3	4	5	6	7	8	
Розрахункове значення параметра шорсткості	$\ln R_a$	-1,634	-1,427	-0,927	-0,720	-1,146	-0,938	-0,438	-0,231
	R_a , мкм	0,20	0,24	0,40	0,49	0,32	0,39	0,65	0,79

Дисперсія адекватності, обчислена за формулою (16) становить $S_{ad}^2 = 0,09355$.

Розрахункове значення F порівнюють із $F_{\alpha; ad; \infty}$, вибраним із довідкової таблиці, відповідно для ступенів свободи $f_{ad} = N - \lambda = 8 - 4 = 4$ і $f_A = N(r - 1) = 8(2 - 1) = 8$ та рівня значущості $\alpha = 0,05$. При виконанні умови $F < F_{\alpha; ad; \infty}$ модель вважають адекватною.

Математичний опис моделі адекватний, так як $F = 0,3956 < 3,84$.

Крім цього розраховували коефіцієнт множинної кореляції

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{v=1}^N (\bar{Y}_v - \hat{Y}_v)^2}{\sum_{v=1}^N (\bar{Y}_v - \bar{Y})^2}}, \quad (19)$$

де \bar{Y} – середнє значення \bar{Y}_v .

Величина R лежить в межах $0 \leq R \leq 1$. Якщо: $R = 0$, то коефіцієнти регресії не мають внеску в залежність, що вивчають; $R = 1$ то рівняння регресії повною мірою описує результати експерименту.

Вихідні дані для розрахунку коефіцієнта множинної кореляції зведені в табл. 6.

Таблиця 6.

Числові значення для розрахунку коефіцієнта множинної кореляції

Номер дослідю	Середнє значення вихідного параметра \bar{Y}_v	Розрахункове значення вихідного параметра \hat{Y}_v	$(\bar{Y}_v - \hat{Y}_v)^2$	$(\bar{Y}_v - \bar{Y})^2$
1	-1,625	-1,63425	0,00008556	0,479383141
2	-1,537	-1,42700	0,01210000	0,365269141
3	-0,781	-0,92700	0,02131600	0,022990141
4	-0,765	-0,71975	0,00204756	0,028098141
5	-1,344	-1,14550	0,03940225	0,169229391
6	-0,639	-0,93825	0,08955056	0,086215641
7	-0,395	-0,43825	0,00187056	0,289040641
8	-0,375	-0,23100	0,02073600	0,310945641
	$\bar{Y} = -0,93263$	–	Сума 0,18710850	Сума 1,751171875

Тоді

$$R = \sqrt{1 - \frac{0,187109}{1,751172}} = 0,945067.$$

Таким чином, рівняння регресії (16) практично повністю описує результати експерименту. Провівши перекодування змінних у рівнянні регресії (16) отримаємо

$$\ln Ra = -2,08154 + 0,30659t + 0,43944v_d + 0,95678s \quad (20)$$

Потенціюючи рівняння регресії (20) отримаємо

$$Ra = 0,12474t^{0,30659} v_d^{0,43944} s^{0,95678} \quad (21)$$

Згідно одержаної степеневій залежності (21) побудували поверхні відгуку (рис. 1).

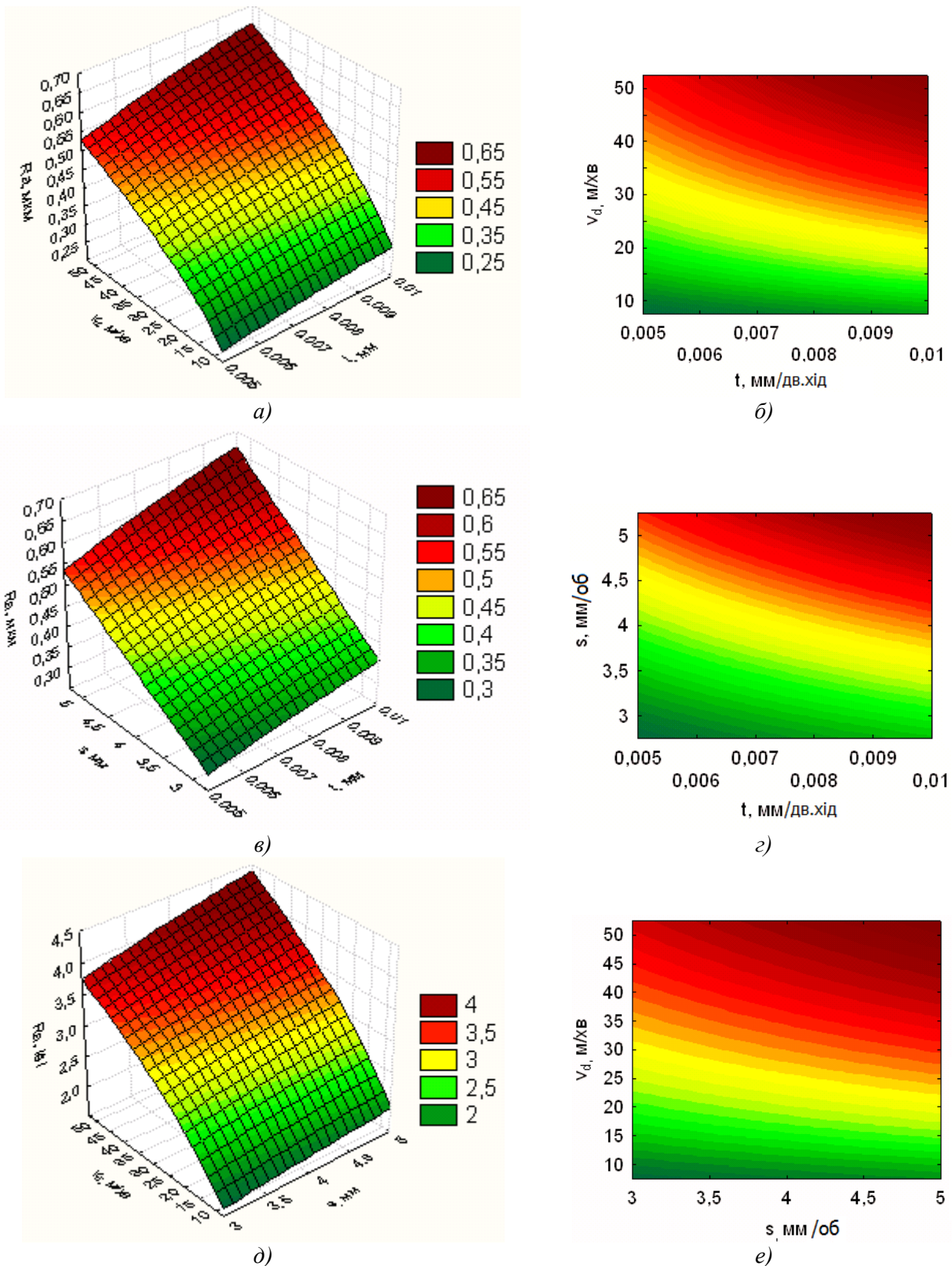


Рис. 1. Поверхні відгуку залежності шорсткості поверхні хромового покриття від режимів різання при алмазному шліфуванні (а, в, д) та їх лінії однакового рівня (б, г, е):
 а, б – $t, v_d, s = 4$ мм/об; в, г – $t, s, v_d = 30$ м/хв; д, е – $v_d, s, t = 0,0075$ мм/дв. хід

Аналіз поверхонь відгуку залежності шорсткості Ra поверхні хромового покриття від режимів різання при круглому алмазному шліфуванні показав (рис. 1), що найбільш суттєвий вплив на її величину має швидкість обертання деталі v_d та повздовжня подача стола верстата s . Значно менше шорсткість залежить від глибини різання t . При цьому зростання шорсткості при змінній величині швидкості обертання деталі та постійній глибині різання є значно більш вагомим

ніж отримана при постійній швидкості та змінній величині глибини різання (рис. 1, *a*). Аналогічно розглядаючи поверхню відгуку на рис. 1, *b* можемо відмітити значно більший вплив зміни поздовжньої подачі стола на значення параметра шорсткості Ra при постійній глибині різання ніж вплив зміни останньої на величину Ra при постійній подачі.

Аналізуючи графічні дані на рис. 1, *d*, бачимо, що зміна швидкості обертання деталі при постійній подачі значно суттєвіше впливає на величину шорсткості поверхні ніж у випадку зміни подачі при постійній швидкості обертання.

Висновки.

1. У результаті проведених досліджень побудовано математичну модель впливу глибини різання, швидкості обертання деталі та поздовжньої подачі стола верстата при круглому алмазному шліфуванні хромового покриття, нанесеного в проточному електроліті на сталеву основу.

2. Встановлено, що складові режимів різання мають не однаковий внесок на величину шорсткості обробленої поверхні покриття, при цьому по впливу вони розташовуються в порядку зростання таким чином: глибина різання, поздовжня подача стола верстата та швидкість обертання деталі.

У подальших дослідженнях планується оптимізувати режими шліфування хромового покриття, нанесеного в проточному електроліті на сталеву основу.

Список використаної літератури:

1. Клименко С. А. Обработка деталей с покрытиями / С. А. Клименко, В. В. Коломиец, М. Л. Хейфец, А. М. Пилипенко, Ю. А. Мельничук, В. В. Бурькин. Под общ. ред. С. А. Клименко. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с.
2. Михайлов А. А. Обработка деталей с гальваническими покрытиями / А. А. Михайлов. – М.: Машиностроение, 1981. – 144 с.
3. Пляскин И. И. Оптимизация технологических решений в машиностроении / И. И. Пляскин. – М.: Машиностроение, 1982. – 176 с.
4. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов / Е. Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
5. Резников А. Н. Краткий справочник по алмазной обработке изделий и инструментов / А. Н. Резников. – Куйбышев: Куйбышевское книжное изд-во, 1967. – 203 с.
6. Lipa Zdenko. Contribution to the investigation of surface roughness models of grinded plasma-jet sprayed ceramic coatings / Zdenko Lipa, Jozef Peterka, Peter Pokorny, Stefan Vaclav, Ivan Buransky // Research papers Faculty of materials science and technology in trnava Slovak University of technology in Bratislava. – 2010. – № 28. – P. 27 – 37.
7. Каданер Л. І. Зносостійке хромування в проточному електроліті / Л. І. Каданер, Р. Ю. Гімельфарб. – К.: Техніка, 1971. – 68 с.
8. Остапович В. В. Вплив технології зміцнення на показники якості та експлуатаційні властивості змінних деталей поршневих насосів двосторонньої дії / В. В. Остапович // Наукові нотатки: Міжвуз. зб. – Луцьк, 2015. – Вип. № 52. – С. 126 – 134.

Стаття надійшла до друку 17.01.2016.