

УДК 621.9.048

¹Гевко Б.М., д.т.н., ²Кондратюк О.М. к.т.н., ¹Галан Ю.Я.

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

²Національний університет водного господарства та природокористування

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

Проведено аналіз процесу вібраційно-відцентрової обробки. При допомозі математичного моделювання технологічного процесу визначимо оптимальні його параметри. Виявлено зв'язок параметрів вібраційно-відцентрового процесу з режимами обробки.

Ключові слова: вібраційно-відцентровий процес, продуктивність процесу, якість поверхні

Проведем аналіз процеса вибраціонно-центробежної оброботки. При помоці математичного моделювання технологіческого процесса определим оптимальные его параметры. Выявлено связь параметров вибрационно-центробежного процесса с режимами обработки.

Ключевые слова: вибрационно-центробежный процесс, производительность процесса, качество поверхности

The analysis was carried out of the process of vibration centrifugal machining. With the help of the mathematical modeling of the technological process its optimal parameters were determined. The relationship was disclosed of the parameters of vibration centrifugal process with machining regimes

Key words: vibration centrifugal process, process efficiency, surface quality

Постанова проблеми. Важливе значення в забезпеченні якості машинобудівельної продукції мають високопродуктивні методи зачистної, шліфувальної і зміцнюючої обробки деталей. Їх застосування спонукає інтенсифікації різновидів методів фінішної обробки, які з різким ростом об'єму очистних, шліфувально-полірувальних і зміцнюючих операцій складають 10...20% загальної трудоемкості виготовлення деталей.

При розробці і впровадженні нової високопродуктивної фінішної обробки, використовують вібраційний метод обробки деталей складної форми в сипучому абразивному середовищі. Велика кількість різновидностей цього методу потребує досконального його вивчення і дослідження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Підвищення продуктивності і ефективності вібраційної обробки деталей в сипучому абразивному середовищі створює передумови нових шляхів його розвитку [1]. Одним із найбільш інтенсивних методів цього технологічного процесу є вібраційно-відцентрова обробка деталей в установках з жорсткою кінематичною схемою, які створюють складний рух робочого середовища в середині камери. Вібраційно-відцентрова обробка може здійснюватись не тільки в установках з просторовим чи планетарним рухом робочої камери, але і в установках з рухом робочої камери по складній просторовій кривій. Увагу заслуговує вібраційно-відцентрова установка, робоча камера якої розміщена в середині карданного підвісу і здійснює складні кутові коливання. Цей технологічний процес вібраційної обробки деталей в сипучому абразивному середовищі підвищує її інтенсивність в 2...2,5 рази [2]. При цьому питання уdosконалення технологічного процесу потребує подальших досліджень і випробувань.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження вібраційно-відцентрової обробки деталей в сипучому абразивному середовищі при допомозі математичного моделювання технологічного процесу і визначення його оптимальних параметрів

Реалізація роботи. Критерієм порівновальної оцінки інтенсивності різних методів обробки деталей сипучими абразивними гранулами є продуктивність. Продуктивність визначається абсолютноним ваговим зняттям металу з оброблюваної поверхні зразка деталі, Q_{es} , або відносним зняттям металу з одиниці площини оброблюваної поверхні, Q_{num} , в мг/см². Проведені дослідження нових технологічних процесів вібраційно-відцентрової обробки (ВВО) дозволили стверджувати, що поєднання різного виду коливаних і інших видів руху підвищує інтенсивність процесу вібраційної обробки деталей. Продуктивність процесу суттєво залежить від механічних властивостей оброблюваного матеріалу. При обробці вуглецевих сталей з збільшенням місткості вуглецю продуктивність процесу ВВО зменшується. Легуючі елементи (хром, никель та інші) також знижують продуктивність. Для підтвердження зроблених висновків були проведені експериментальні дослідження по визначеню продуктивності на декількох видів обладнання [3].

На основі отриманих результатів подальше дослідження закономірностей ВВО проводились на вібраційно-відцентровій установці з робочою камерою у вигляді кругового конуса. Експериментальні зразки із різних матеріалів циліндричної і призматичної форми з різною твердістю

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

оброблювались токарними і фрезерними верстатами в режимах, які забезпечують шорсткість поверхні одного класу ($Ra \approx 4,3 \text{ мкм}$) [4].

Для нормального аналізу результатів дослідів використовуємо дробний факторний експеримент з напівреплікою 2^{4-1} , заданої генеруючої відповідності $x_4=x_1x_2x_3$. Оброблювались експериментальні зразки із сталі 45. Число паралельних дослідів приймали рівним $n=2$. Використовуючи метод Бокса-Улсона математичної обробки результатів дослідження продуктивності вібраційно-відцентрової обробки, отримаємо рівняння регресії, яке має вигляд:

$$Y_1 = 12,07 + 2,25x_1 + 1,86x_2 + 2,89x_3 - 0,27x_4. \quad (1)$$

Рівняння 1 використовуємо для розрахунку крутого підйому по поверхні відгуку. Крутий підйом починається з центру плану, тобто із координатами $x_1=x_2=x_3=x_4=0$, що відповідає основному рівню $A=5$ град, $\omega=19$ Гц, $T=40$ хв., $K=65\%$.

Крок руху по градієнту A приймаємо рівним $\Delta_l=1$. Для інших факторів крок руху Δx_i визначаємо за формулою:

$$\Delta_i = \Delta_l \frac{b_i \cdot \Delta x_i}{b_l \cdot \Delta x_l},$$

де Δ_l - прийнятий крок руху по градієнту для l -го фактора; Δx_i , Δx_l - інтервал варіювання i -го і l -го факторів.

Для проведення уявних дослідів перетворюємо закодоване адекватне рівняння регресії математичної моделі в розрахункову формулу, використовуючи співвідношення:

$$b_i x_i = \frac{b_i}{\Delta x_i} (x_i - x_{0i}).$$

Після проведення розкодування моделі розрахункова формула прийме наступний вигляд:

$$Q_{num} = -6,81 + 1,13A + 0,47\omega + 0,14T - 0,02K. \quad (2)$$

Розрахунок крутого підйому

Таблиця 1

	A	ω	T	K	Q_{num}
Основний рівень	5	19	40	65	
Коефіцієнт b_i	2,25	1,86	2,89	-0,27	
Інтервал варіювання Δx_i	2	4	20	15	
$b_i \cdot \Delta x_i$	4,5	7,44	57,8	-4,05	
Крок руху по градієнту	1	1,65	12,8	-0,9	
Округлений крок	1	1,5	13	-1	
Дослід 9	6	20,5	53	64	15,745
Дослід 10	7	22	66	63	19,42
Дослід 11	8	23,5	79	62	23,095
Дослід 12	9	25	92	61	26,77

Отримані результати регресії (1, 2) дозволяють провести параметричну характеристику продуктивності Q_{num} вібраційно-відцентрового процесу обробки деталей. За допомогою пакету прикладних програм *MathCAD* оптимізації значень величин продуктивності Q_{num} в залежності від амплітуди кутових коливань A і частоти коливань ω , при обробці зразків із сталі 45, показано поверхню відгуку (рис. 1).

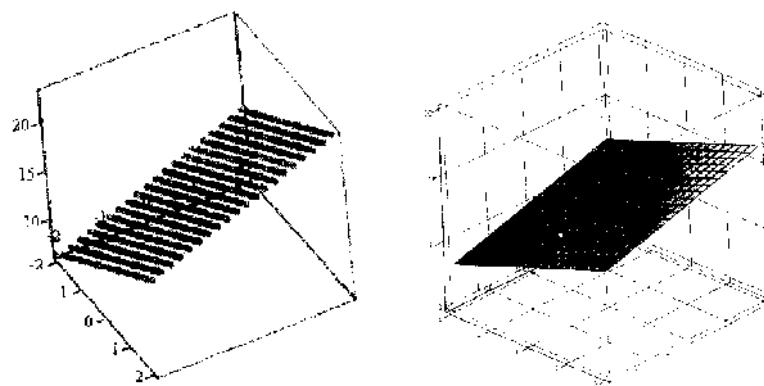


Рис. 1. Поверхня відгуку залежності продуктивності вібраційно-відцентрової обробки зразків із сталі 45 від амплітуди кутових коливань і частоти коливань

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

На мікрогеометрію і фізико-механічні властивості поверхневого шару впливають механічні властивості матеріалу, характеристика робочого середовища, режими роботи вібраційної установки.

Розкодоване адекватне рівняння регресії математичної моделі прийме такий вигляд розрахункової формулі:

$$Ra=4,66-0,024-0,05\omega-0,02T-0,003K. \quad (4)$$

Розрахунок крутого спаду

Таблиця 2

	<i>A</i>	ω	<i>T</i>	<i>K</i>	R_a
Основний рівень	5	19	40	65	
Коефіцієнт b_i	-0,16	-0,21	-0,387	-0,038	
Інтервалваріювання Δx_i	2	4	20	15	
$b_i x \cdot \Delta x_i$	-0,32	-0,84	-7,74	-0,57	
Крок руху по градієнту	0,38	1	9,2	0,68	
Округлений крок	0,5	1	10	1	
Дослід 9	5,5	20	50	66	2,022
Дослід 10	6	21	60	67	1,729
Дослід 11	6,5	22	70	68	1,436
Дослід 12	7	23	80	69	1,143

Отримані рівняння регресії (3, 4) дозволяють побудувати поверхню відгуку шорсткості R_a оброблюваної поверхні зразків із сталі 45 в залежності від зміни амплітуди кутових коливань і частоти коливань (рис. 2).

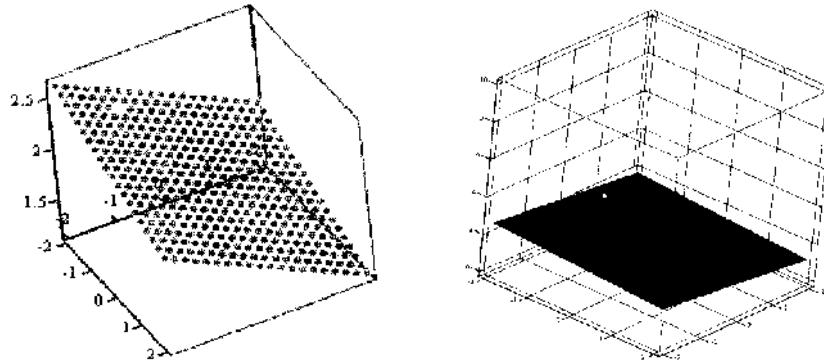


Рис. 2. Поверхня відгуку залежності шорсткості оброблюваних поверхонь зразків із сталі 45 від амплітуди кутових коливань і частоти коливань

Дія великої кількості мікроударів абразивних частинок робочого середовища змінює не тільки шорсткість, а і фізико-механічні властивості поверхневого шару. Обробку проводимо зразків із сталі 45 в середовищі стальних загартованих кульок діаметром 12 мм при кутовій амплітуді 3 градуси і частоті коливань 22 c^{-1} .

Таблиця 3

Розрахунок крутого підйому

	<i>A</i>	ω	<i>T</i>	<i>K</i>	H_m
Основний рівень	5	19	40	65	
Коефіцієнт b_i	11	14,5	15,75	-1,25	
Інтервал варіювання Δx_i	2	4	20	15	
$b_i x \cdot \Delta x_i$	22	58	315	-18,75	
Крок руху по градієнту	0,76	2	10,86	0,64	
Округлений крок	1	2	10	-0,5	
Дослід 9	6	21	50	64,5	266,7
Дослід 10	7	23	60	64	287,4
Дослід 11	8	25	70	63,5	308,1
Дослід 12	9	27	80	63	328,8

Для визначення ступеня впливу основних умов обробки на зміну твердості поверхневого шару оброблюваної поверхні реалізовано дробовий факторний експеримент з напівреплікою 2^{4-1} з заданою генеруючою відповідністю $x_4=x_1x_2x_3$. По результатам експериментів рівняння регресії визначення твердості поверхневого шару оброблюваної поверхні має вигляд [4]:

$$Y_3=246+11x_1+14,5x_2+15,75x_3-1,25x_4. \quad (5)$$

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

Для розрахунку крутого підйому по поверхні відгуку використовуємо формулу 5 з кроком руху по градієнту $\Delta_2=2$.

Проведення розкодування рівняння регресії математичної моделі дає розрахункову формулу:

$$H_{\mu}=123,13+5,54+3,63 \omega+0,79 T-0,08 K. \quad (6)$$

За отриманим рівнянням регресії (5, 6) будуємо поверхню відгуку залежності зміни твердості поверхневого шару оброблюваної поверхні від величини амплітуди кутових коливань і частоти коливань (рис. 3).

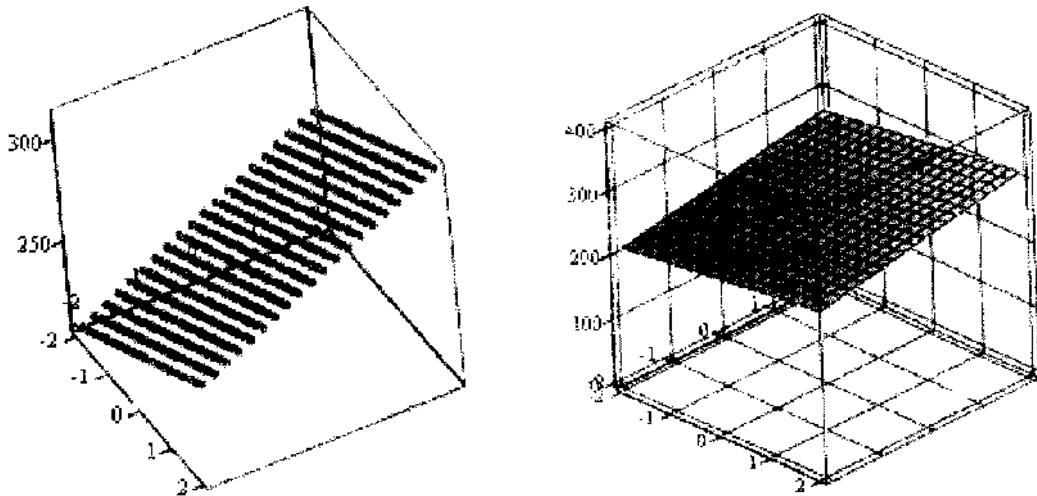


Рис. 3. Поверхня відгуку залежності зміни твердості поверхневого шару оброблюваної поверхні від величини амплітуди кутових коливань і частоти коливань

Аналіз дослідів показав, що рівень питомого зняття матеріалу, зменшення шорсткості оброблюваної поверхні, поліпшення фізико-механічних властивостей поверхневого шару залежить від збільшення значень вибраних оптимальних факторів, які описуються характеристиками і властивостями лінійної регресивної моделі. Отримані математичні моделі і побудовані поверхні відгуку різних параметрів вібраційно-відцентрової обробки при таких самих змінних факторів, дозволяють розширити зону дослідження цього технологічного процесу.

Поєднання поверхонь відгуку різних параметрів процесу між собою, при таких самих змінних факторів, дає можливість більш точніше оптимізувати вібраційно-відцентрову обробку деталей.

Отримана лінія перетину поверхонь відгуку продуктивності і зміни шорсткості оброблюваної поверхні (рис. 4) дає можливість визначити оптимальну затрату енергії, що пропорційно відповідає питомому зняттю матеріалу, для досягнення певної величини шорсткості.

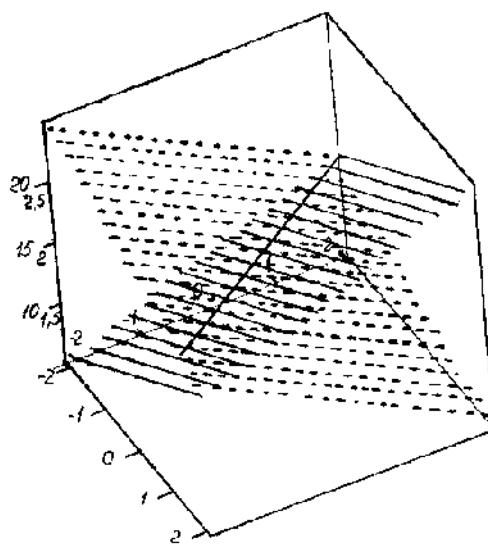


Рис. 4. Перетин поверхонь відгуку продуктивності і шорсткості вібраційно-відцентрової обробки

Подібно попередньому випадку лінія перетину поверхонь відгуку продуктивності процесу і зміни твердості поверхневого шару оброблюваної поверхні (рис. 5), визначає затрати енергії для досягнення потрібної якості оброблюваних деталей.

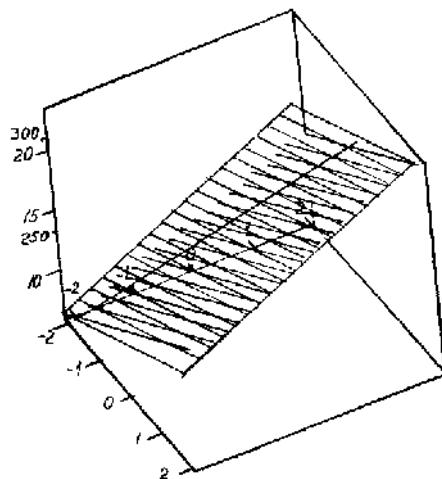


Рис. 5. Перетин поверхонь відгуку продуктивності і твердості поверхневого шару ВВО

Одночасне поєднання поверхонь відгуку продуктивності процесу, зміни шорсткості і твердості поверхневого шару оброблюваної поверхні (рис. 6) приводить до визначення оптимальних параметрів вібраційно-відцентрової обробки деталей.

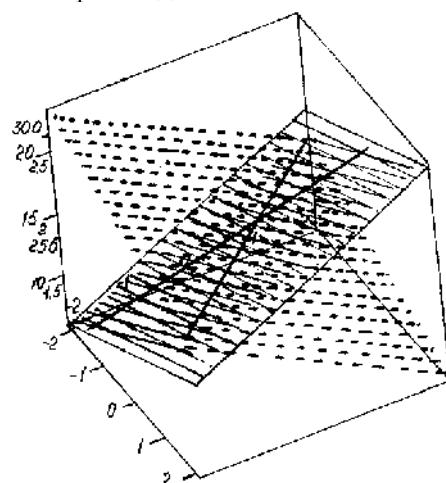


Рис. 6. Поєднання поверхонь відгуку продуктивності, шорсткості і твердості поверхневого шару ВВО

Аналізуючи поєднання трьох поверхонь відгуку вібраційно-відцентрової обробки, отримаємо оптимальні значення параметрів цього технологічного процесу (амплітуда кутових коливань $A=5$ град., частота коливань $\omega=11 \text{ c}^{-1}$ при обробці зразків із сталі 45).

На основі проведених досліджень можна зробити наступні **висновки**.

1. На вібраційно-відцентровий процес найбільший вплив має амплітуда кутових коливань A , потім по ступені впливу находиться частота коливань ω і тривалість обробки T . Зміна ступені заповнення камери робочим середовищем на продуктивність і якість оброблюваних поверхонь суттєвого впливу на має.

2. Поєднання поверхонь відгуку вібраційно-відцентрової обробки деталей дозволяє визначити величину затраченої енергії для досягнення потрібних параметрів цього технологічного процесу, або його оптимальних значень.

1. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии. Ростов-н/Д.: 1993. – 97 с.
2. Кондратюк О.М., Ромейко І.В. Аналіз циркуляції робочого середовища при вібраційно-відцентровій обробці деталей // Вісник НУВГП. Випуск 2(3) – Рівне: 2006. – С. 253-271.
3. Кондратюк О.М., Серілко Л.С. Оптимізація технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки деталей. – Вінниця: Всеукр.наук-техн.ж. «Вібрації в техніці та технологіях» № 1(61). 2011. – С. 87-93.
4. Кондратюк О.М. Експериментальні дослідження вібраційно-відцентрового методу, як фінішної обробки деталей при ремонті меліоративної техніки. Вісник НУВГП. Зб. наук. пр. - Випуск 3(47) – Рівне: 2009. – С. 368-376.
5. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. – 183 с.