

Б.М. Гевко, д.т.н., проф.

О.Л. Ляшук, к.т.н., доц.

*Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя*

О.М. Кондратюк, к.т.н., ст. викл.

*Рівненський національний університет водного господарства та
природокористування***ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ВІБРАЦІЙНО-ВІДЦЕНТРОВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ**

Проведемо аналіз процесу вібраційно-відцентрової обробки. За допомогою 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.*

Умовні позначення:

A – амплітуда кутових коливань, град.;

ω – частота коливань, Гц;

T – час обробки, хв.;

K – коефіцієнт заповнення об'єму робочої камери, %;

$Q_{\text{нит}}$ – питома зняття металу, мг/см²;

Ra – середньоарифметична шорсткість поверхні, мкм;

H_{μ} – мікротвердість, Н/мм².

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

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

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Підвищення продуктивності й 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 здійснюватися не тільки в установках з просторовим чи планетарним рухом робочої камери, але і в установках з рухом робочої камери по складній просторовій кривій. Заслуговує на увагу 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 удосконалення 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

Основна частина. Критерієм порівнювальної оцінки інтенсивності різних методів обробки деталей сипучими абразивними гранулами є продуктивність. Продуктивність визначається абсолютним ваговим зняттям металу з оброблюваної поверхні зразка деталі, $Q_{вз}$, або відносним зняттям металу з одиниці площі оброблюваної поверхні, Q_{num} , мг/см². Проведені дослідження нових технологічних процесів вібраційно-відцентрової обробки (ВВО) дозволили стверджувати, що поєднання різного виду коливних та інших видів руху підвищує інтенсивність процесу вібраційної обробки деталей. Продуктивність процесу суттєво залежить від механічних властивостей оброблюваного матеріалу. При обробці вуглецевих сталей зі збільшенням місткості вуглецю продуктивність процесу ВВО зменшується. Легуючі елементи (хром, нікель тощо) також знижують продуктивність. Для підтвердження зроблених висновків були проведені експериментальні дослідження з визначення продуктивності на декількох видів обладнання [3].

На основі отриманих результатів подальше дослідження закономірностей ВВО проводилися на вібраційно-відцентровій установці з робочою камерою у вигляді кругового конуса. Експериментальні зразки із різних матеріалів циліндричної та призматичної форми з різною твердістю оброблювалися токарними і фрезерними верстатами в режимах, які забезпечують шорсткість поверхні одного класу ($Ra \approx 4,3$ 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 зі сталі 45. Кількість паралельних дослідів приймали рівним $n = 2$. Використовуючи метод Бокса–Уілсона математичної обробки результатів дослідження продуктивності вібраційно-відцентрової обробки, отримуємо 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 $\Delta_1 = 1$. Для інших факторів крок руху Δx_i визначаємо за формулою:

$$\Delta_i = \Delta_1 \frac{b_i \cdot \Delta x_i}{b_1 \cdot \Delta x_1},$$

де Δ_i – прийнятий крок руху по градієнту для i -го фактора; Δx_i , Δx_1 – інтервал варіювання i -го і 1 -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 такий вигляд:

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

Таблиця 1

Розрахунок крутого підйому

Показник	A	ω	T	K	$Q_{\text{шт}}$
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} залежно від амплітуди кутових коливань A і частоти коливань ω , при обробці зразків із сталі 45, показано поверхню відгуку (рис. 1).

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

Для визначення ступеня впливу основних умов обробки на якість оброблюваної поверхні використали дробний факторний експеримент з напівреплікою 2^{4-1} з заданою генеруючою відповідністю $x_4 = x_1x_2x_3$. Оброблялися відпалені зразки зі сталі 45, при вихідній шорсткості поверхні $Ra = 3,8 \dots 4,2$ мкм в середовищі абразиву, байкаліта зеленого грануляцією 10...20 мм. За змінні обрали ті самі фактори, що і при дослідженні продуктивності процесу.

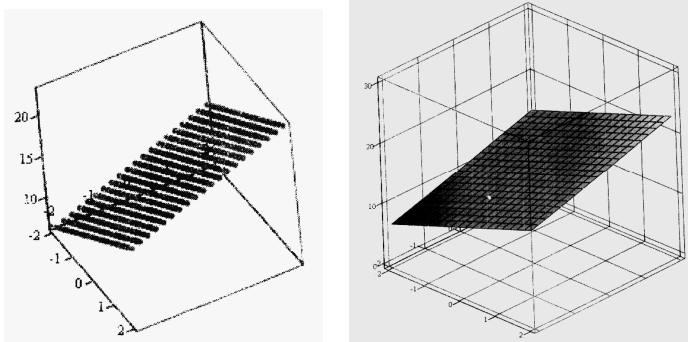


Рис. 1. Поверхня відгуку залежності продуктивності вібраційно-відцентрової обробки зразків зі сталі 45 від амплітуди кутових коливань і частоти коливань

Отримане рівняння регресії визначення шорсткості поверхні оброблюваних поверхонь має вигляд [4]:

$$Y_2 = 2,31 - 0,16x_1 - 0,21x_2 - 0,387x_3 - 0,038x_4. \quad (3)$$

Для розрахунку крутого спадання по поверхні відгуку використовуємо формулу 3 з кроком руху по градієнту ω рівним $\Delta_2 = 1$.

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

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

Таблиця 2

Розрахунок крутого спаду

Показник	A	ω	T	K	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	
$b_i \cdot \Delta x_i$	-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 зі сталі 45 залежно від зміни амплітуди кутових коливань і частоти коливань (рис. 2).

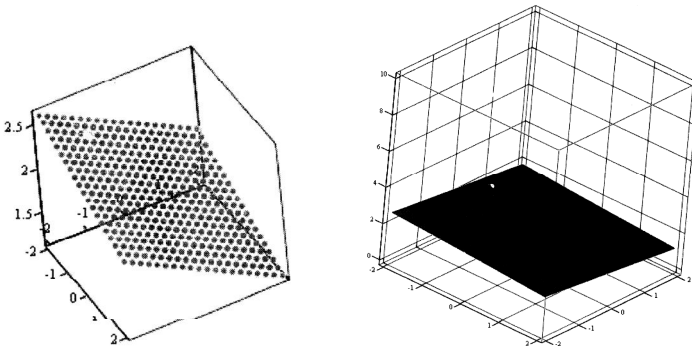


Рис. 2. Поверхня відгуку залежності шорсткості оброблюваних поверхонь зразків зі сталі 45 від амплітуди кутових коливань і частоти коливань

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 сталевих загартованих кульок діаметром 12 мм при кутовій амплітуді 3 градуси і частоти коливань 22 с⁻¹.

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 $x_4 = x_1x_2x_3$. За результатами експериментів рівняння регресії визначення твердості поверхневого шару оброблюваної поверхні має вигляд [4]:

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

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

Проведення розкодування рівняння регресії математичної моделі дає розрахункову формулу:

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

Таблиця 3

Розрахунок крутого підйому

Показник	A	ω	T	K	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	
$b_i \cdot \Delta x_i$	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

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

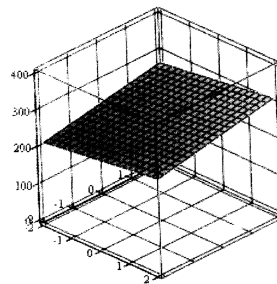
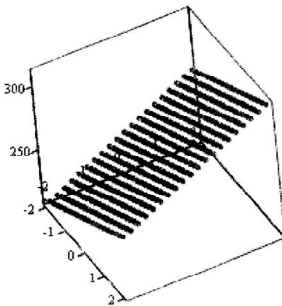


Рис. 3. Поверхня відгуку залежності зміни твердості поверхневого шару оброблюваної поверхні від величини амплітуди кутових коливань і частоти коливань

Аналіз дослідів показав, що рівень питомого зняття матеріалу, зменшення шорсткості оброблюваної поверхні, поліпшення фізико-механічних властивостей поверхневого шару залежить від збільшення значень обраних оптимальних факторів, які описуються характеристиками і властивостями лінійної регресивної моделі. Отримані математичні моделі та 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 тих самих змінних факторів, дає можливість більш точно оптимізувати вібраційно-відцентрову обробку деталей.

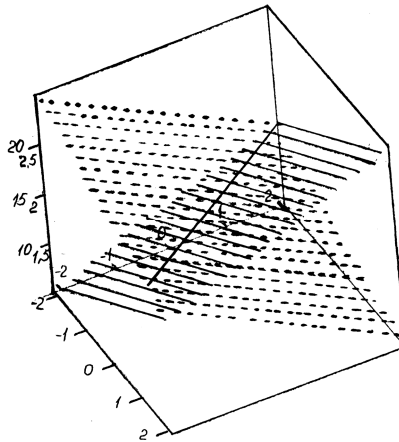


Рис. 4. Перетин поверхонь відгуку продуктивності і шорсткості вібраційно-відцентрової обробки

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

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 оброблених деталей.

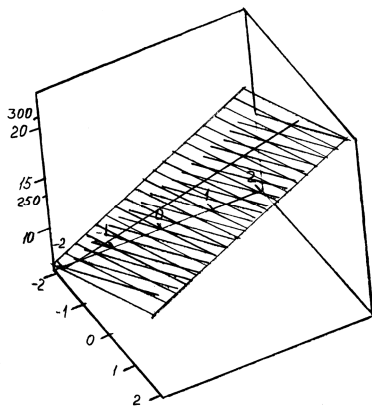


Рис. 5. Перетин поверхонь відгуку продуктивності і твердості поверхневого шару ВВО

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

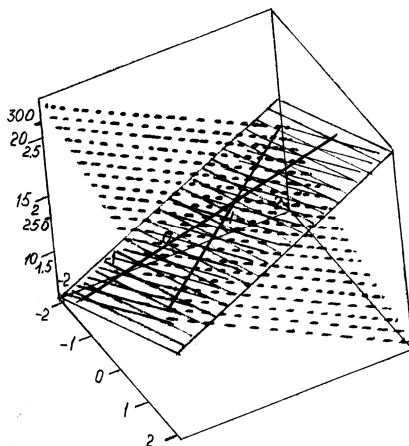


Рис. 6. Поєднання поверхонь відгуку продуктивності, шорсткості і твердості поверхневого шару ВВО

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 такі **висновки**:

1. На вібраційно-відцентровий процес найбільший вплив має амплітуда кутових коливань A , потім за ступенем впливу знаходяться частота коливань ω і тривалість обробки T . Зміна ступеня 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.

Список використаної літератури:

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

ГЕВКО Богдан Матвійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Технології машинобудування та автомобілів» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- обробка матеріалів.

ЛЯШУК Олег Леонтійович – кандидат технічних наук, доцент Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Наукові інтереси:

- вібраційно-відцентрова обробка деталей;
- технологія машинобудування.

Тел.: (моб.) 096–751–78–89.

E-mail: Oleg-lashyk@rambler.ru

КОНДРАТЮК Олександр Михайлович – кандидат технічних наук, старший викладач Рівненського національного університету водного господарства та природокористування

Наукові інтереси:

- математичне моделювання;
- обробка деталей.

Стаття надійшла до редакції 10.09.2013

Гевко Б.М., Лящук О.Л., Кондратюк О.М. Оптимізація технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки деталей

Гевко Б.М., Лящук О.Л., Кондратюк А.М. Оптимизация технологического процесса вибрационно-отцентровой обработки деталей

Гевко Б.М., Лящук О.Л., Кондратюк О.М. Оптимізація технологічного процесу вібраційно-відцентрової обробки деталей

УДК621.9.048

Оптимизация технологического процесса вибрационно-отцентровой обработки деталей / Б.М. Гевко, О.Л. Лящук, А.М. Кондратюк

Приведено анализ процесса вибрационно-центробежного обработки. При помощи математического моделирования технологического процесса определим оптимальные его параметры. Выявлена связь параметров вибрационно-центробежного процесса с режимами обработки

УДК621.9.048

Оптимизация технологического процесса вибрационно-отцентровой обработки деталей / Б.М. Гевко, О.Л. Лящук, А.М. Кондратюк

The analysis was carried out of the process of vsbration 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