

УДК 621.922

Т. Є. Божко, канд. техн. наук

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ВИСОКОЯКІСНОЇ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ СПЕЧЕНОГО ПОРОШКОВОГО МАТЕРІАЛУ ПЖР-3

Розглянуто оптимізацію структури та параметрів операції плоского шліфування спечених порошкових матеріалів. Використовуючи метод лінійного програмування, встановлено взаємозв'язок оптимальних режимів різання з умовами механічної обробки та показниками якості оброблюваної поверхні при шліфуванні пористих спечених матеріалів.

Вступ

Серед важливих задач сучасного машинобудування особливе місце приділяється підвищенню ефективності виготовлення деталей машин. Ця задача включає в себе досягнення найбільшої продуктивності механічної обробки або найменшої її собівартості із забезпеченням заданого рівня якості поверхневого шару деталі. В сучасному виробництві технологічне забезпечення параметрів стану поверхні деталі недостатньо обґрунтоване, що веде до завищення вартості деталей машин, або до зменшення надійності. Одним із резервів підвищення продуктивності є вибір раціональних параметрів процесу різання. У зв'язку з цим, актуальними є дослідження оптимальних режимів різання спечених пористих матеріалів, які б забезпечували максимальну продуктивність для заданих умов обробки і вимог до якості деталі.

Постановка проблеми

Задача вибору режимів різання для механічної обробки полягає в отриманні оптимальних параметрів процесу, які забезпечували б максимальну ефективність в конкретних виробничих умовах. Розв'язання поставленої задачі можливе за допомогою лінійного програмування — одного із найрозповсюдженіших методів оптимізації, який дозволяє одночасно оптимізувати швидкість різання та подачу за критерієм максимальної продуктивності з урахуванням діючих обмежень механообробки [1].

Під час шліфування спечених порошкових матеріалів рівень допустимих режимів різання невисокий, тому розглядаючи питання собівартості процесу шліфування, фактором, що пов'язаний із зносом круга, можна знехтувати. За цільову функцію приймаємо продуктивність обробки, максимум якої досягається за мінімуму основного часу.

Метою роботи є визначення оптимальних параметрів процесу шліфування спечених порошкових матеріалів для отримання високоякісного поверхневого шару деталі.

Основний матеріал та результати

За умови роботи за один прохід в якості цільової функції приймаємо продуктивність обробки, максимум якої досягається за мінімуму основного часу

$$t_{oi} = \frac{2\pi R_i L_i}{V_i S_i},$$

де S_i — поперечна подача, мм/хід; V_i — швидкість обертання круга, м/хв.; R_i — радіус круга.

Однак на практиці реалізувати ці значення неможливо, оскільки діє низка обмежень на параметри режимів різання: за гранично допустимою шорсткістю оброблюваної поверхні; за потужністю різання; за міцністю та жорсткістю різального інструмента та верстата; за допустимими паспортними характеристикам верстата та ін.

Для визначення реальних оптимумів V_k і S , які задовольняли б всі вказані обмеження, необхідно виразити ці обмеження у вигляді математичних нерівностей та розв'язати їх чисельно або графічно у поєднанні з цільовою функцією.

Граничні значення по потужності різання в процесі шліфування спечених порошкових матеріалів отримаємо на основі формули для розрахунку сили різання P_u , формули для розрахунку ефек-

тивної потужності шліфування, виразу взаємозв'язку швидкості різання з частотою обертання шпинделя

$$P_y = 350,7 \frac{S^{0,17} \cdot V_d^{0,07} \cdot t^{0,27}}{\theta^{0,13}}, \quad (1)$$

де S — поперечна подача, мм/хід; V_d — швидкість заготовки, м/хв.; t — глибина різання, мм; θ — пористість матеріалу.

$$N_k = \frac{P_y V_k}{1000}, \quad \text{кВт}; \quad (2)$$

$$V_k = \frac{\pi D_k n}{60 \cdot 1000}, \quad (3)$$

де D_k — діаметр круга.

Підставивши (1) і (3) в (2), після перетворення отримаємо обмеження на V_k і S по потужності приводу головного руху верстата

$$\frac{S^{0,17}}{V_k} \leq \frac{0,171 \cdot \theta^{0,13}}{V_d^{0,07} \cdot t^{0,27}}. \quad (4)$$

Граничні значення за допустимою шорсткістю оброблюваної поверхні отримаємо на основі формули для розрахунку шорсткості поверхні, виразу взаємозв'язку швидкості різання з частотою обертання шпинделя

$$Ra = 0,017 \frac{S^{0,25} \cdot \theta^{1,24}}{V^{0,03}}; \quad (5)$$

$$V_k = \frac{\pi D_k n}{60 \cdot 1000}. \quad (6)$$

Підставивши (6) в (5), після перетворення отримаємо обмеження на V_k і S за шорсткістю поверхні

$$S^{0,25} \cdot V_k^{0,03} \leq 0,02 \cdot \theta^{1,24} \cdot R_a \cdot 0,02 \cdot \theta^{1,24} \cdot R_a. \quad (7)$$

На процес шліфування накладається низка обмежень, обумовлених технічними характеристиками верстата і технологічною системою процесу шліфування.

До таких обмежень відноситься:

— фактична глибина різання t_f . Виходячи з допущень, t_f не повинна перевищувати відстань, рівну максимальному вильоту зерна над зв'язкою

$$t_f \leq \delta_{cb}. \quad (8)$$

Із підвищенням δ_{cb} з'являється можливість збільшити інтенсивність видалення матеріалу заготовки, але це призводить до зменшення сил закріплення зерен і збільшує зношування круга.

Аналогічні обмеження накладаються кінематикою верстата на швидкість обертання круга і поперечну подачу

$$V_k \geq V_{k \min}; \quad V_k \leq V_{k \max}; \quad S \geq S_{\min}; \quad S \leq S_{\max}; \quad n \leq n_{\max}. \quad (9)$$

Сукупність залежностей і обмежень, зведених в таблицю, складають опис властивостей технологічної системи.

Щоб мати можливість користуватися наочним та простим графічним методом лінійного програмування для визначення оптимумів V_k і S , переводимо всі граничні значення та функцію оптимізації до лінійного виду логарифмуванням. Для спрощення запису граничних значень в лінійному вигляді прийемо такі позначення

$$x_1 = \ln V_k; \quad x_2 = \ln s. \quad (10)$$

Математична модель процесу шліфування

Обмеження		Залежності математичної моделі	Номер лінійних обмежень
Стан об'єкта та системи	1	$Py = 350,7 \frac{S^{0,17} \cdot V_d^{0,07} \cdot t^{0,27}}{\theta^{0,13}}$	
	2	$N_k = \frac{P_y V_k}{1000}$	
	3	$V_k = \frac{\pi D_k n}{60 \cdot 1000}$	
	4	$Ra = 0,017 \frac{S^{0,25} \cdot \theta^{1,24}}{V^{0,03}}$	
Граничні умови	1	$\frac{S^{0,17}}{V_k} \leq \frac{0,171 \cdot \theta^{0,13}}{V_d^{0,07} \cdot t^{0,27}}$	1
	2	$S^{0,25} \cdot V_k^{0,03} \leq 0,02 \cdot \theta^{1,24} \cdot R_a, 0,02 \cdot \theta^{1,24} \cdot R_a$	2
	3	$S \geq S_{\min}$	3
	4	$V \leq V_{\max}$	4
	5	$t_{\Phi} \leq \delta_{cb}$	5
Цільова функція	1	$t_{oi} = \frac{2\pi R_i L_i}{V_{ki} S_i}$	

Функцію оптимізації перед логарифмуванням представимо у більш зручному вигляді:

$$t_{oi} = \frac{2\pi R_i L_i}{V_{ki} S_i} \quad (11)$$

Всі граничні значення та функцію оптимізації після логарифмування та підстановки прийнятих позначень об'єднаємо в систему нерівностей

$$\begin{cases} x_1 + 0,17x_2 \leq B_1; \\ -0,03x_1 + 0,25x_2 \leq B_2; \\ x_2 \geq B_3; \\ x_2 \leq B_4; \\ x_1 \leq B_5; \\ (x_1 + x_2) \rightarrow \max, \end{cases} \quad (12)$$

де

$$B_1 = \ln(0,171\theta^{0,13} \cdot R_a / V_d^{0,07} \cdot t^{0,27} \pi D_k); \quad B_2 = \ln(0,02\theta^{1,24} / \pi^{0,03} \cdot D_k^{0,03}); \quad B_4 = \ln S_{\max}; \quad B_5 = \ln n_{\max} \quad (13)$$

Визначаємо оптимальні режими різання для шліфування деталі з пористістю $\theta = 24\%$, діаметр круга $D_k = 250$ мм, глибина різання $t = 0,05$ мм, швидкість переміщення деталі $V_d = 9$ м / хв.

Після логарифмування та введення прийнятих позначень отримаємо граничні значення за потужністю в лінійному вигляді:

$$\ln V_k + 0,17 \ln S \leq \ln 0,000731; \quad (14)$$

$$x_1 + 0,17x_2 \leq -7,22. \quad (15)$$

Граничні значення за допустимою шорсткістю оброблюваної поверхні після логарифмування та введення прийнятих позначень

$$-0,03 \ln V_k + 0,25 \ln S \leq \ln 0,54 ; \quad (16)$$

$$-0,03x_1 + 0,25x_2 \leq -0,616 . \quad (17)$$

Граничні значення по кінематиці верстата

$$\begin{aligned} V_k &= 35 \text{ м/с;} \\ S_{\min} &= 0,05 \text{ мм/хід;} \\ S_{\max} &= 3,4 \text{ мм/хід.} \end{aligned} \quad (18)$$

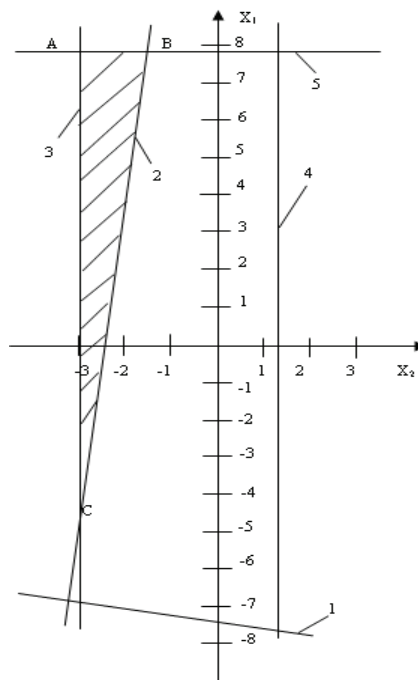
Після логарифмування та введення позначень граничні значення набудуть вигляду

$$x_1 \leq 7,89; \quad x_2 \leq 1,22; \quad x_2 \geq -2,99 . \quad (19)$$

Об'єднаємо отримані в лінійному вигляді обмеження в систему нерівностей

$$\begin{cases} x_1 + 0,17x_2 \leq -7,22; \\ -0,03x_1 + 0,25x_2 \leq -0,616; \\ x_2 \geq -2,99; \\ x_2 \leq 1,22; \\ x_1 \leq 7,89; \\ x_1 + x_2 = \max. \end{cases} \quad (20)$$

На площині в системі координат x_1 та x_2 будуємо графіки всіх лінійних обмежень із системи (20), крім функції оптимізації, яка є останньою в системі. Нумерація лінійних обмежень на рисунку відповідає нумерації в системі нерівностей.



Розрахункова схема визначення оптимальних режимів різання

Точка B в трикутнику ABC , в якій цільова функція приймає максимальне значення, є точкою перетину обмежень за допустимою шорсткістю поверхні, що обробляється, та швидкістю обертання круга.

Оптимальні значення параметрів режиму різання можна знайти з виразу

$$\begin{aligned} V_k &= e^{x_{1\max}} = e^{7,89} = 2669 \text{ м/хв} = 44 \text{ м/с;} \\ S_{\max} &= e^{x_{2\max}} = e^{-1,52} = 0,22 \text{ мм/хід.} \end{aligned} \quad (21)$$

Згідно з паспортними даними верстата можна взяти такі режими різання: $V_k = 35\text{м/с}$; $S = 0,2\text{ мм/хід}$.

Висновок

Використовуючи метод лінійного програмування, встановлено взаємозв'язок оптимальних режимів різання з умовами механічної обробки та показниками якості оброблюваної поверхні у разі шліфування пористого спеченого матеріалу ПЖР-3.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рыжов Э. И. Оптимизация технологических процессов механической обработки / Э. И. Рыжов, В. И. Аверченков. — К. : Наукова думка, 1989. — 192 с.

Рекомендована кафедрою технології підвищення зносостійкості

Стаття надійшла до редакції 24.04.2013

Рекомендована до друку 6.06.2013

Божко Тетяна Євгенівна — доцент кафедри комп'ютерного проектування верстатів та технологій машинобудування.

Луцький національний технічний університет, Луцьк