

Ильина, Пикалова, науков. кер. Івченко Т.Г. (г. Донецьк, ДонНТУ)

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ЧИСТОВОЇ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ЗА КРИТЕРІЄМ МАКСИМАЛЬНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

Виконані розрахунки коефіцієнтів тепловіддачі для різних способів подачі мастильно - охолоджуючих технологічних середовищ в зону різання під час лезової обробки. Для кожного способу подачі визначений вплив коефіцієнтів тепловіддачі на температуру різання під час точіння, що дозволяє регламентувати раціональні умови використання мастильно - охолоджуючих технологічних середовищ.

Оптимізація параметрів механічної обробки - важливим резерв підвищення ефективності сучасних технологічних процесів виготовлення деталей машин є, у зв'язку з чим тема представленої роботи є достатньо актуальною.

Одним з найбільш розповсюджених методів оптимізації в даний час є метод лінійного програмування [1], що дозволяє здійснювати одночасну оптимізацію швидкості різання і подачі з обліком діючих при різанні обмежень за критерієм максимальної продуктивності. Основні вимоги до метода лінійного програмування: лінійність цільової функції та обмежень.

Як цільова функція розглядається продуктивність обробки, обумовлена основним часом: $t_0 = L/ns$. Максимум продуктивності досягається при мінімумі основного часу, або максимумі добутку $n \cdot s \rightarrow \max$.

Під час токарної обробки розглядаються обмеження: по можливостях ріжучого інструмента, по гранично припустимій потужності різання, по гранично припустимій шорсткості обробленої поверхні R_a , по жорсткості деталі; по температурі різання, по гранично припустимих діапазонах частоти обертання і подачі, обумовленим кінематичною структурою приводу головного руху і приводу подач.

В результаті лінеаризації цільової функції й обмежень шляхом логарифмування визначена наступна математична модель процесу різання, яка виражена системою лінійних нерівнянь, графічно представлених на рис. 1:

$$\begin{cases} X1 + y_V X2 \leq b_1, \\ (n_p + 1)X1 + y_p X2 \leq b_2, \\ n_p X1 + y_p X2 \leq b_3, \\ k_3 X1 + k_2 X2 \leq b_2 \\ n_t X1 + y_t X2 \leq b_5, \\ X1 \geq b_6, \quad X1 \leq b_7, \\ X2 \geq b_8, \quad X2 \leq b_9, \\ (X1 + X2) \rightarrow \max, \end{cases} \quad \begin{cases} b_1 = \ln(1000 C_V K_V / \pi D T^{m_v} t^{x_v}); \\ b_2 = \ln(6 \cdot 10^3 (n_p + 2) N_{cm} \eta / C_p K_p (\pi D)^{(n_p + 1)} t^{x_p}); \\ b_3 = \ln\left(\frac{1000^n 0,05 D^4 K_3 E_o f_{\text{дон}}}{1,1 \cdot 10 C_p K_p (\pi D)^{n_p} t^{x_p} s^{y_p} L^3 \mu}\right); \\ b_4 = \ln(R_a r^{k_2} (\pi D / 1000)^{k_3} / k_o (90 + \gamma)^{k_4}); \\ b_5 = \ln(1000^{n_t} \Theta_{\text{дон}} / C_t t^{x_t} (\pi D)^{z_t}); \\ b_6 = \ln n_{\min}; \quad b_7 = \ln n_{\max}; \\ b_8 = \ln s_{\min}; \quad b_9 = \ln s_{\max}; \end{cases} \quad (1)$$

$$X1 = \ln n; \quad X2 = \ln s,$$

де D – діаметр обробки, C_V, K_V – коефіцієнти і x_v, y_v, m_v – показники, що характеризують ступінь впливу глибини t , подачі s і стійкості T на швидкість різання v , які визначаються в залежності від умов експлуатації; C_P, K_P – коефіцієнти і x_p, y_p, n_p – показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі і швидкості на силу різання P_z , які визначаються в залежності від умов експлуатації, η – коефіцієнт корисної дії; E_δ – модуль пружності матеріалу деталі; $f_{\delta\text{ доп}}$ – допустима стріла прогину деталі; L – довжина деталі; K_3, μ – коефіцієнти, що залежать від способу закріплення деталі; k_0, k_1, k_2, k_3, k_4 – коефіцієнти і показники, що характеризують ступінь впливу подачі s , переднього кута γ , радіуса при вершині r і корисної дії передач верстата; швидкості v на шорсткість обробленої поверхні R_a , обумовлені умовами експлуатації; C_t – постійний коефіцієнт для заданих умов обробки, n_b, y_b, x_t – показники ступеню, що відзначають вплив на температуру швидкості різання, подачі та глибини різання; по гранично припустимих діапазонах частоти обертання і подачі, обумовленим кінематичною структурою приводу головного руху і приводу подач:

Приклад визначення оптимальних режимів різання приведений для чистової токарної обробки вала діаметром $D = 200\text{мм}$, довжиною $L = 300\text{мм}$ зі сталі 45 (міцність $\sigma_s = 600\text{МПа}$, $\sigma_u = 200\text{МПа}$), збірними різцями з механічним закріпленням твердосплавних пластин Т15К6 (геометричні параметри: головний кут в плані $\varphi = 45^\circ$, передній кут $\gamma = 0^\circ$, радіус при вершині $r = 1\text{мм}$; стійкість $T = 60\text{хв.}$, глибина різання $t = 1\text{мм}$); шорсткість обробленої поверхні $R_a = 1,25\text{ мкм}$.

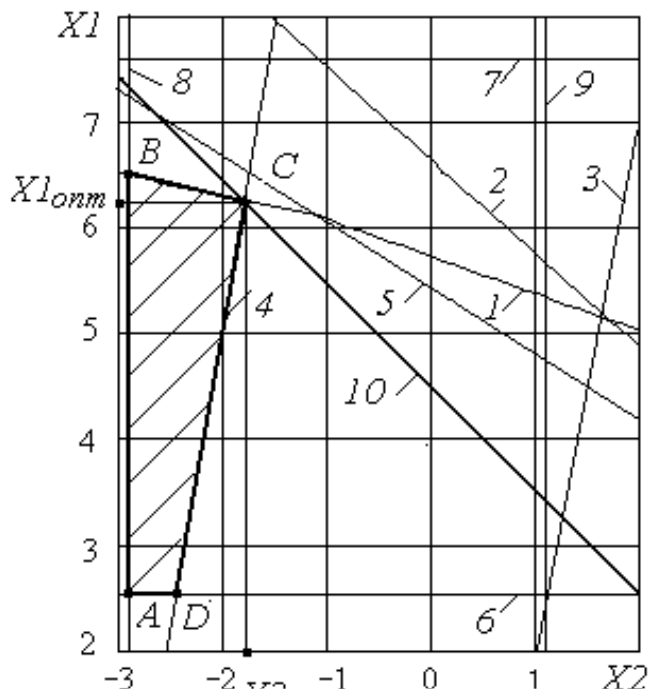


Рис.1.Схема визначення оптимальних режимів різання для чистової токарної обробки

Для заданих умов механообробки прийняті наступні коефіцієнти та показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі і стійкості на швидкість різання: $C_V = 420$; $K_V = 1$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,20$; $m_v = 0,2$; [5]; коефіцієнти і показники, що характеризують ступінь впливу подачі, переднього кута, радіуса при вершині і швидкості v на шорсткість обробленої поверхні: $k_0 = 7,0$; $k_1 = 0,85$; $k_2 = 0,65$; $k_3 = 0,36$; $k_4 = 0,15$; [6];

коефіцієнти і показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі і швидкості на силу різання: $C_P = 300$; $K_P = 0,84$; $x_p = 1,0$; $y_p = 0,75$; $n_p = -0,15$; $K_3 = 2,4$; $\mu = 1,2\%$ [5];

коефіцієнти та показники, що характеризують ступінь впливу глибини , подачі і стійкості на температуру різання: $C_t = 314$; $x_t = 0,04$; $y_t = 0,14$; $n_t = 0,23$; [5].

З їх урахуванням визначені наступні значення параметрів b_i : $b_1 = 5,409$; $b_2 = 5,636$; $b_3 = 0,444$; $b_4 = 2,467$; $b_5 = 1,265$; $b_6 = -2,996$; $b_7 = 1,03$; $b_8 = 2,536$; $b_9 = 7,601$.

Крапка С в багатокутнику $ABCD$, який являє собою область можливих рішень і в якій цільова функція приймає максимальне значення, є крапкою перетину обмежень по можливостях ріжучого інструмента (1) та по гранично припустимій шорсткості обробленої поверхні (4). Координати точки $C(X1_{opt}, X2_{opt})$ є шуканими оптимальними значеннями параметрів.

Для заданих умов механообробки визначені наступні результати розрахунку оптимальних режимів різання:

$$\begin{aligned} X2_{opt} &= -1,797; X1_{opt} = 6,269; \\ n_{opt} &= e^{X1_{opt}} = 527 \text{об/хв}; s_{opt} = e^{X2_{opt}} = 0,166 \text{мм/об}; \\ v_{opt} &= \pi D n_{opt} / 1000 = 331 \text{м/хв} \end{aligned}$$

Згідно паспортним даним верстата прийняті наступні режими різання:

$$n_{opt} = 500 \text{об/хв}; s_{opt} = 0,15 \text{мм/об}; v_{opt} = 314 \text{м/хв}.$$

Крапка С в багатокутнику $ABCD$ в якій цільова функція приймає максимальне значення, є крапкою перетину обмежень по гранично припустимій шорсткості обробленої поверхні (4) та припустимій температурі різання (5), коли максимальна допустима з умов структурно-фазових перетворень оброблюваної поверхні температура складає $\Theta_{don} = 800^\circ\text{C}$.

Для заданих умов механообробки визначені наступні результати розрахунку оптимальних режимів різання:

$$\begin{aligned} X2_{opt} &= -1,899; X1_{opt} = 5,687; \\ n_{opt} &= e^{X1_{opt}} = 294 \text{об/хв}; s_{opt} = e^{X2_{opt}} = 0,15 \text{мм/об}; \\ v_{opt} &= \pi D n_{opt} / 1000 = 185 \text{м/хв} \end{aligned}$$

Згідно паспортним даним верстата прийняті наступні режими різання:

$$n_{opt} = 300 \text{об/хв}; s_{opt} = 0,15 \text{мм/об}; v_{opt} = 188 \text{м/хв}.$$

Як свідчать графіки на рис.2.10 і 2.11 для чистової обробки оптимальні рішення з області можливих, окреслених багатокутником $ABCD$, не залежать від кінематичних обмежень (6,7,8,9), а також обмежень по гранично припустимій потужності різання (2) та по жорсткості деталі (3). Активними являються обмеження по гранично припустимій шорсткості обробленої поверхні (4) та по можливостях ріжучого інструмента (1) або по припустимій температурі різання (5). Для заданих умов (рис.2.10) обмеження по температурі різання (5) не впливає на оптимальні режими різання. Однак, обмеження допустимого рівня температури різання до $\Theta_{don} = 800^\circ\text{C}$ приведе до зміни активних обмежень, коли замість обмеження по можливостях ріжучого інструмента (1) активним стає обмеження по температурі (5). На підставі виконаного аналізу обмежень, для

будь яких умов чистової токарної обробки оптимальні режими різання можуть бути визначені:

оптимальна подача:

$$S_{opt} = \begin{cases} \left(\frac{\Theta}{C_t t^{x_t}} \right)^{\frac{k_3}{y_t k_3 + k_1 n_t}} \left[\frac{R_a r^{k_2}}{k_0 (90 + \gamma)^{k_4}} \right]^{\frac{n_t}{y_t k_3 + k_1 n_t}}, & \text{якщо } \Theta_{don} \leq \Theta_0; \\ \left[\frac{R_a C_V^{k_3} K_V^{k_3} r^{k_2}}{k_0 T^{m k_3} t^{x_v k_3} (90 + \gamma)^{k_4}} \right]^{\frac{1}{k_1 + y_v k_3}}, & \text{якщо } \Theta_{don} \geq \Theta_0. \end{cases} \quad (2)$$

де $\Theta_0 = \tilde{N}_t t^{x_t} \left(\frac{C_V K_V}{T^{m_v} t^{x_v}} \right)^{n_t} \left[\frac{R_a C_V^{k_3} K_V^{k_3} r^{k_2}}{k_0 T^{m k_3} t^{x_v k_3} (90 + \gamma)^{k_4}} \right]^{\frac{y_t - y_v n_t}{k_1 + y_v k_3}}$ - граничне значення температури різання, для якого необхідно враховувати температурне обмеження

оптимальна швидкість різання:

$$v_{opt} = \begin{cases} \left(\frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot t^{x_v}} \right) \cdot \left(\frac{\Theta}{C_t t^{x_t}} \right)^{\frac{k_3 y_v}{y_t k_3 + k_1 n_t}} \left[\frac{R_a r^{k_2}}{k_0 (90 + \gamma)^{k_4}} \right]^{\frac{n_t y_v}{y_t k_3 + k_1 n_t}}, & \text{якщо } \Theta_{don} \leq \Theta_0; \\ \frac{C_V K_V}{T^m t^{x_v}} \left[\frac{k_0 T^{m k_3} t^{x_v k_3} (90 + \gamma)^{k_4}}{R_a C_V^{k_3} K_V^{k_3} r^{k_2}} \right]^{\frac{y_v}{k_1 + y_v k_3}}, & \text{якщо } \Theta_{don} \geq \Theta_0. \end{cases} \quad (3)$$

ВИСНОВКИ

На підставі встановлених закономірностей зміни коефіцієнтів тепловіддачі можуть виконуватись розрахунки температури різання з обліком охолодження в залежності від способу подачі МОТС в зону різання. Під час токарної обробки найбільш ефективно використовувати струйно-напірну подачу МОТС, яка за рахунок максимальних значень коефіцієнта тепловіддачі може забезпечити найбільше зниження температури різання.

В результаті комплексних досліджень впливу способів подачі МОТС на тепловий стан леза різального інструменту, встановлені кількісні зв'язки коефіцієнту тепловіддачі та температури різання, які складають підставу для розробки методів керування тепловими явищами в зоні обробки в умовах конвективного теплообміну. Розроблена методика може бути використана для любых методів лезової обробки деталей машин.

ЛІТЕРАТУРА.

1. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве / В.К. Старков. - М.: Машиностроение, 1989. - 296с.
2. Оптимизация и управление процессом резания: / О.С. Кроль, Г.Л. Хмеловский. – К.: УМК ВО, 1991. – 140с.
3. Ивченко Т.Г., Шальская Е.Е. Оптимизация режимов резания при чистовом и тонком точении методом геометрического программирования / Т.Г. Ивченко, Е.Е. Шальская // Прогрессивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2010. - Вып. 39. – С.91-97.