

## **ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТОЧІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ**

*З використанням методу лінійного програмування виконана оптимізація режимів різання чистового та чорнового точіння за критерієм максимальної продуктивності з урахуванням дії мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ, (МОТС). Встановлені аналітичні залежності оптимальних значень подачі і швидкості різання від параметрів процесу точіння, які забезпечують кількісну оцінку можливостей підвищення режимів різання та продуктивності обробки за рахунок застосування МОТС.*  
**Ключові слова:** оптимізація, продуктивність, точіння, мастильно-охолоджуюче середовище, температура, шорткість.

### **1. Вступ.**

Підвищення продуктивності механічної обробки деталей машин є важливою задачею сучасного машинобудування, у зв'язку з чим вельми актуальні виконані дослідження по визначенню можливостей підвищення режимів різання та продуктивності за рахунок застосування мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ (МОТС).

Найбільш ефективно задачі обґрунтованого підвищення режимів різання вирішуються на підставі оптимізації за критерієм максимальної продуктивності з використанням методу лінійного програмування [1], який дозволяє здійснювати одночасну оптимізацію швидкості різання і подачі з урахуванням діючих обмежень. Під час точіння з використанням твердосплавних інструментів внаслідок високих температур різання значну роль відіграють температурні обмеження [2], усунення яких за рахунок використання МОТС дозволяє суттєво підвищити оптимальні режими різання та продуктивність обробки. Однак, в сучасній довідково - нормативній літературі інформація про температурні обмеження для різних умов обробки досить обмежена, що потребує подальших досліджень в цьому напрямку.

Досить успішно задачі оптимізації режимів різання вирішені для окремих видів обробки [3, 4]. Проте, результати цих досліджень не встановлюють загальні підходи до кількісної оцінки можливостей підвищення продуктивності обробки з використанням МОТС. Представляє інтерес подальший розвиток методики оптимізації режимів різання з урахуванням дії МОТС, що дозволить суттєво підвищити рівень режимів різання і продуктивності обробки.

Мета роботи - визначення оптимальних режимів різання чистового та чорнового точіння за критерієм максимальної продуктивності в залежності від умов обробки та оцінка на їх підставі можливостей підвищення продуктивності за рахунок використання МОТС.

### **2. Основний зміст і результати роботи**

Процес токарної обробки деталей машин твердосплавними інструментами супроводжується високими температурами різання. На підставі експериментальних досліджень для конструкційних сталей встановлені залежності температури різання від режимів чистової ( $\Theta_1$ ) та чорнкової ( $\Theta_2$ ) обробок конструкційних сталей [5]:

$$\Theta_1 = 314K_o V^{0.23} S^{0.14} t^{0.04}; \quad \Theta_2 = 306K_o V^{0.25} S^{0.14} t^{0.06}, \quad (1)$$

де  $V$  - швидкість різання;  $S$  – подача;  $t$  - глибина різання.

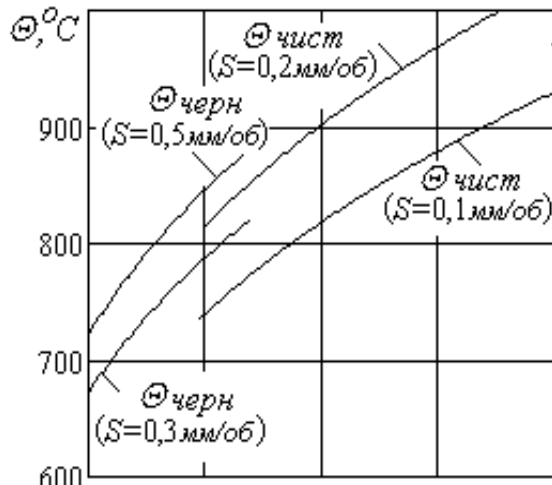


Рис. 1. Графіки залежності температури різання  $\Theta$  від швидкості різання  $V$  для різних умов обробки

Графіки залежностей температури різання  $\Theta$  від швидкості різання  $V$  для різних подач  $S$  під час токарної обробки конструкційної сталі різцями Т5К10 (чорнова обробка:  $t = 3$  мм) та Т15К6 (чистова обробка:  $t = 1$  мм) с геометричними параметрами: головний кут в плані  $\varphi = 45^\circ$ , передній кут  $\gamma = 0^\circ$ , задній кут різця  $\alpha = 7^\circ$ , приведені на рис. 2

Графіки свідчать про те, що температури різання  $\Theta$  для чистової обробки вищі, ніж для чорнкової обробки, однак як для чистової, так і для чорнкової обробок при певних режимах температури різання  $\Theta$  можуть перевищувати допустимий рівень  $800^\circ\text{C}$ , що потребує урахування температурних обмежень та застосування МОТС для зниження температур.

Під час оптимізації режимів різання як цільова функція розглядається продуктивність обробки, обумовлена основним часом:  $t_o = L/nS$  ( $L$  – довжина обробки,  $n$  – частота обертання). Максимум продуктивності досягається при мінімумі основного часу, або максимумі добутку  $n \cdot S \rightarrow \max$ .

Під час чистової токарної обробки розглядаються обмеження: по можливостях різального інструмента, по потужності верстата  $N_{cm}$ , по шорсткості обробленої поверхні  $R_a$ , по жорсткості деталі, по температурі різання  $\Theta$ , по припустимих діапазонах частоти обертання і подачі.

В результаті лінеаризації цільової функції й обмежень шляхом логарифмування ( $X1 = \ln n$ ;  $X2 = \ln S$ ) для чистової токарної обробки визначена наступна математична модель процесу різання, виражена системою лінійних нерівнянь:

$$\begin{cases} X1 + y_V X2 \leq b_1, \\ (n_P + 1)X1 + y_P X2 \leq b_2, \\ n_P X1 + y_P X2 \leq b_3, \\ k_3 X1 + k_1 X2 \leq b_2 \\ z_t X1 + y_t X2 \leq b_5, \\ X1 \geq b_6, \quad X1 \leq b_7, \\ X2 \geq b_8, \quad X2 \leq b_9, \\ (X1 + X2) \rightarrow \max, \end{cases} \quad \begin{cases} b_1 = \ln(1000 C_V K_V / \pi D T^m t^{x_v}); \\ b_2 = \ln(6 \cdot 10^3 (n_P + 2) N_{c\delta} \eta / C_P K_P K_{MP} (\pi D)^{(n_P + 1)} t^{x_P}); \\ b_3 = \ln\left(\frac{1000^n 0,05 D^4 K_3 E \ddot{a} f \ddot{a} \ddot{a} \ddot{a}}{1,1 \cdot 10 C_P K_P K_{MP} (\pi D)^{n_P} t^{x_P} L^3 \mu}\right); \\ b_4 = \ln(R_a (\pi D / 1000)^{k_3} / k_o K_R K_{MR}); \\ b_5 = \ln(1000^{z_t} \Theta / \tilde{N}_\Theta K_\Theta K_O (\pi D)^{z_t}); \\ b_6 = \ln n_{min}; \quad b_7 = \ln n_{max}; \quad b_8 = \ln S_{min}; \quad b_9 = \ln S_{max}. \end{cases} \quad (2)$$

де  $D$  – діаметр обробки;  $t$  – глибина різання;  $T$  – стійкість інструменту;  $C_V, K_V$  – постійний коефіцієнт та коефіцієнт, що враховує умови обробки;  $x_v, y_v, m$  – показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі і стійкості на швидкість різання;  $C_P, K_P$  – постійний коефіцієнт та

коефіцієнт, що враховує умови обробки;  $K_{MP}$  - коефіцієнт, що враховує мастильну дію МОТС на силу різання;  $x_p, y_p, n_p$  - показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі і швидкості на силу різання  $P_z$ ;  $\eta$  - коефіцієнт корисної дії передач верстата;  $E_\sigma$  - модуль пружності матеріалу деталі;  $f_\sigma$  - допустима стріла прогину деталі;  $L$  - довжина деталі;  $K_3, \mu$  - коефіцієнти, що залежать від способу закріплення деталі;  $k_0, K_R$  - постійний коефіцієнт та коефіцієнт, що враховує умови обробки;  $K_{MR}$  - коефіцієнт, що враховує мастильну дію МОТС на шорсткість;  $k_1, k_3$  - показники, що характеризують ступінь впливу подачі і швидкості різання на шорсткість обробленої поверхні;  $C_\Theta, K_\Theta$  - постійний коефіцієнт та коефіцієнт, що враховує умови обробки;  $K_O$  - коефіцієнт, що враховує охолоджуючу дію МОТС;  $x_t, y_t, z_t$  - показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі та швидкості на температуру різання.

Під час чорнової токарної обробки розглядаються обмеження: по можливостях різального інструменту, по потужності різання, по міцності державки різця, по міцності пластини різця, по температурі різання, по припустимих діапазонах частоти обертання і подачі. Для чорнової токарної обробки визначена наступна математична модель процесу різання:

$$\begin{aligned}
 X1 + y_V X2 &\leq b_1, & b_1 &= \ln(1000 C_V K_V / \pi D T^m t^{x_v}); \\
 (n_p + 1) X1 + y_p X2 &\leq b_2, & b_2 &= \ln(6 \cdot 10^3 (n_p + 2)^{N_{c\sigma}} \eta / C_P K_P K_{MP} (\pi D)^{(n_p + 1)} t^{x_p}); \\
 n_p X1 + y_p X2 &\leq b_3, & b_3 &= \ln(\sigma_\epsilon \hat{A} l^2 1000^n / 6 l C_P K_P K_{MP} (\pi D)^{n_p} t^{x_p} \hat{E} \zeta); \\
 y_p X2 &\leq b_4, & b_4 &= \ln(34 \hat{n}^{1.35} K_\varphi / C_P K_P K_{MP} t^{(x_p - 0.77)}); \\
 z_t X1 + y_t X2 &\leq b_5, & b_5 &= \ln(1000^{z_t} \Theta / \hat{N}_\Theta K_\Theta K_O (\pi D)^{z_t}); \\
 X1 &\geq b_6, \quad X1 \leq b_7, & b_6 &= \ln n_{min}; \quad b_7 = \ln n_{max}; \quad b_8 = \ln S_{min}; \quad b_9 = \ln S_{max}.
 \end{aligned} \tag{3}$$

де  $l$  - виліт різця;  $\sigma_u$  - допустиме напруження для матеріалу державки різця;  $B$  і  $H$  - ширина і висота державки різця;  $K_3$  - коефіцієнт, що залежить від способу закріплення деталі;  $c$  - товщина пластини;  $K_\varphi = (\sin 60^\circ / \sin \varphi)^{0.8}$  - коефіцієнт, що враховує головний кут різця в плані  $\varphi$ .

Виконуючи аналіз діючих обмежень та вирішуючи вказані системи (2) та (3), визначаємо для будь яких умов токарної обробки оптимальні подачі  $S_o$  та швидкості різання  $V_o$ :

чистова обробка

$$S_{o1} = \begin{cases} \left[ \Theta (k_0 K_R K_{MR})^{z_t/k_3} / C_\Theta K_\Theta K_O t^{x_t} R_d^{z_t/k_3} \right]^{k_3 / (y_t k_3 - z_t k_1)}, \quad \text{якщо } \Theta < \Theta_0; \\ \left[ R_d T^{mk_3} t^{k_3 x_v} / k_0 K_R K_{MR} (C_V K_V)^{k_3} \right]^{1 / (k_1 - y_v k)}, \quad \text{якщо } \Theta \geq \Theta_0; \end{cases} \tag{4}$$

$$V_{01} = \begin{cases} \left[ \frac{R_a}{k_0 K_R K_{MR}} S_{01}^{k_1} \right]^{\frac{1}{k_3}}, \text{ якщо } \Theta < \Theta_0; \\ C_V K_V / T^m t^{x_v} S_{01}^{y_v}, \text{ якщо } \Theta \geq \Theta_0, \end{cases} \quad (5)$$

чорнова обробка

$$S_{i2} = \left( 340 c^{1,35} t^{(0,77-x_p)} K_\varphi / C_P K_P K_M \right)^{\frac{1}{y_p}}. \quad (6)$$

$$V_{i2} = \begin{cases} \left( \frac{\Theta}{C_\Theta K_\Theta K_O} t^{x_t} S_{02}^{y_t} \right)^{\frac{1}{z_t}}, \text{ якщо } \Theta < \Theta_0; \\ C_V K_V / T^m t^{x_v} S_{02}^{y_v}, \text{ якщо } \Theta \geq \Theta_0, \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{де } \Theta_{01} = C_\Theta K_\Theta K_O t^{x_t} \left( \frac{C_V K_V}{T^m t^{x_v}} \right)^{z_t} \left[ \frac{R_a T^{mk_3}}{k_0 K_R K_{MR} (C_V K_V)^{k_3}} \right]^{\frac{y_t - y_v z_t}{k_1 - y_v k_3}};$$

$$\Theta_{02} = C_\Theta K_\Theta K_O t^{x_t} \left( \frac{C_V K_V}{T^m t^{x_v}} \right)^{z_t} \left[ \frac{340 c^{1,35} t^{(0,77-x_p)} K_\varphi}{C_P K_P K_M} \right]^{\frac{y_t - y_v z_t}{y_p}},$$

- граничні значення температури різання, для яких необхідно враховувати температурне обмеження під час чистової та чорнової обробки відповідно.

Використання МОТС забезпечує можливість підвищення оптимальних подач  $S_{o\text{МОТС}}$  та швидкостей різання  $V_{o\text{МОТС}}$  в порівнянні з оптимальними режимами  $S_o$  та  $V_o$  під час обробки без МОТС. Кількісно оцінка підвищення продуктивності обробки можлива на підставі коефіцієнта підвищення продуктивності  $K_{II} = S_{o\text{МОТС}} V_{o\text{МОТС}} / S_o V_o$ .

На підставі визначених аналітичних залежностей оптимальних подач  $S_o$  та швидкостей різання  $V_o$  від умов обробки коефіцієнти підвищення продуктивності обробки за рахунок використання МОТС для чистової обробки  $K_{II1}$  та для чорнової обробки  $K_{II2}$  визначаються наступним чином:

$$K_{II1} = \begin{cases} K_O^{(k_1-k_3)/(y_t k_3 - z_t k_1)} K_{MR}^{(y_t - z_t)/y_p z_t}, \text{ якщо } K_O \geq K_{O10}; \\ \left( \frac{C_V K_V}{T^m} \right)^{\frac{k_1-k_3}{k_1-y_v k_3}} \left( \frac{C_\Theta K_\Theta K_O}{\Theta} \right)^{\frac{k_3-k_1}{y_t k_3 - z_t k_1}} K_{MR}^{\frac{y_v-1}{k_1-y_v k_3}} \times \\ \times \left( \frac{R_a}{k_0 K_R} \right)^{\frac{(y_v z_t - y_t)(k_1-k_3)}{(y_t k_3 - z_t k_1)(k_1-y_v k_3)} t^{x_v}(k_3-k_1)}, \end{cases} \quad (9)$$

$$K_{\bar{I}2} = \begin{cases} K_0^{-1/z_t} K_{MP}^{(y_t - z_t)/y_p z_t}, & \text{якщо } K_0 \geq K_{O20}; \\ \left( \frac{C_V K_V}{T^{m_t x_v}} \right) \left( \frac{C_\Theta K_\Theta K_O}{\Theta} \right)^{\frac{1}{z_t}} K_M^{\frac{y_v - 1}{y_p}} \left( \frac{C_p K_p K_{MP} t^{(xp - 0,77)}}{34c^{1,25} K_\phi^{0,8}} \right)^{\frac{y_v z_t - y_t}{y_p z_t}}. \end{cases} \quad (10)$$

де  $K_{O10} = \Theta_{001}/\Theta_{01}$ ,  $K_{O20} = \Theta_{002}/\Theta_{02}$  – коефіцієнти, що враховують охолоджуючу дію МОТС та визначає граничне значення, для якого необхідно враховувати температурне обмеження під час чистової та чорнової обробки відповідно.

Графіки залежності коефіцієнтів підвищення продуктивності  $K_{II}$  від коефіцієнта зниження температури  $K_O$ , що враховує охолоджуючу дію МОТС, для обробки конструкційних сталей (в умовах обробки, вказаних раніше) наведені на рис. 2.

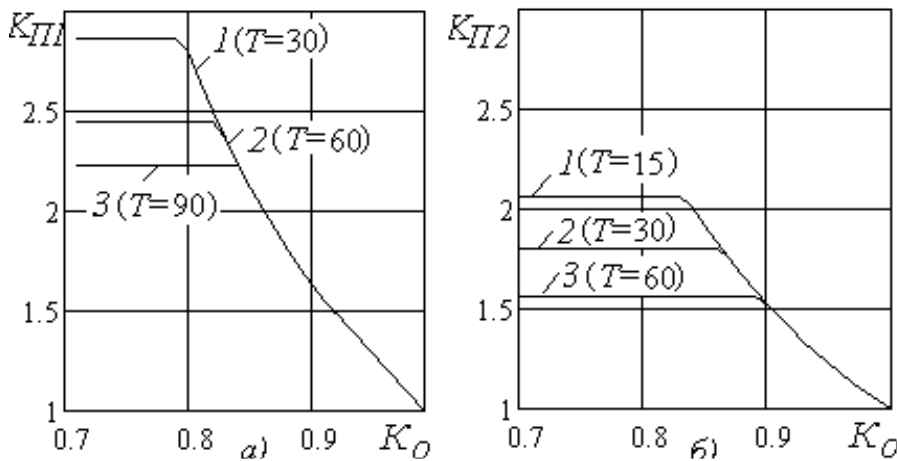


Рис. 2. Графіки зміни коефіцієнтів підвищення продуктивності  $K_{II}$  від коефіцієнта зниження температури  $K_O$  для різних стійкостей  $T$  під час чистової обробки *a)* та чорнової - *б)*

Продуктивність обробки з використанням МОТС підвищується у зв'язку зі зменшенням коефіцієнта зниження температури різання до рівня, який визначається зняттям температурного обмеження, після чого продуктивність залишається постійною. Подальша зміна коефіцієнта зниження температури різання

стає недоцільною з точки зору підвищення продуктивності обробки. Більше підвищення продуктивності може бути досягнуте при менших значеннях стійкості інструменту

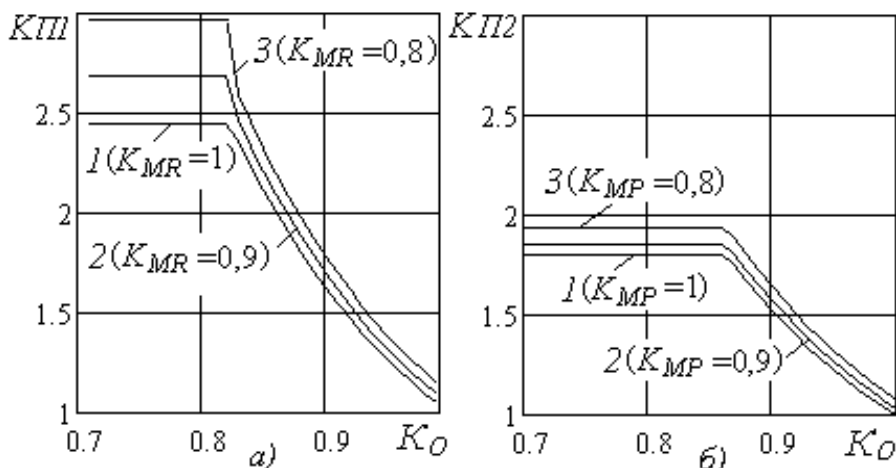


Рис. 3. Графіки зміни коефіцієнтів підвищення продуктивності  $K_{II}$  від коефіцієнта зниження температури  $K_O$  для різних коефіцієнтів, що враховують мастильну дію МОТС, під час чистової обробки  $K_{MR}$  - *a)* та чорнової  $K_{MP}$  - *б)*

Графіки залежності коефіцієнта підвищення продуктивності  $K_{II}$  від коефіцієнта зниження температури різання  $K_O$ , з урахуванням мастильної дії МОТС, що визначається коефіцієнтами  $K_{MR}$  і  $K_{MP}$ , наведені на рис. 3. Продуктив-

вність обробки тим вище, чим нижче ці коефіцієнти, тобто вищі мастильні властивості МОТС.

Використання МОТС дає більший ефект підвищення продуктивності під час чистової обробки менший – для чорнової.

### **3. Висновки**

Визначені аналітичні залежності оптимальних за критерієм максимальної продуктивності режимів різання від умов чистової та чорнової обробок з урахуванням дії МОТС. Встановлені граничні значення температури різання, які визначають мінімально необхідний рівень зниження температури, для якого при використанні МОТС може бути зняте температурне обмеження та суттєво підвищена продуктивність обробки.

На підставі встановлених аналітичних залежностей оптимальних подач та швидкостей різання визначений коефіцієнт підвищення продуктивності обробки за рахунок використання МОТС, завдяки якому може бути виконана оцінка ефективності використання МОТС з різними охолоджуючими та мастильними властивостями в різних умовах обробки. Встановлено, що використання МОТС дає ефект підвищення продуктивності під час обробки конструкційних сталей до 2,5 разів.

### **Перелік літератури:**

1. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве / В.К. Старков. - М.: Машиностроение. 1989. - 296с.

2. Ивченко Т.Г. Расчет тепловых потоков и температур резания при точении с использованием смазочно-охлаждающих жидкостей / Т.Г. Ивченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Вип.26. – Краматорськ, ДДМА, 2010. - С.90 -96.

3. Ивченко Т.Г. Двохкритеріальна оптимізація режимів різання під час обробки чавунів інструментами з надтвердих матеріалів / Т.Г. Ивченко, Є.В. Полякова // Прогресивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2011. Вып. 41. – С.152-158.

4. Ивченко Т.Г. Підвищення продуктивності торцевого фрезерування за рахунок оптимізації режимів різання / Т.Г. Ивченко // Прогресивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2012. Вып. 34 . – С.148-155.

5. Даниэлян А.М. Теплота и износ инструментов в процессе резания металлов / А.М. Даниэлян. – М.: Машгиз, 1964. – 276с.

**Т.Г. Ивченко**  
**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ  
ТОЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИ-  
ЧЕСКИХ СРЕД**

*С использованием метода линейного программирования выполнена оптимизация режимов резания чистового и чернового точения по критерию максимальной производительности с учетом действия смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС). Установлены аналитические зависимости оптимальных значений подачи и скорости резания от параметров процесса точения, обеспечивающие количественную оценку возможностей повышения режимов резания и производительности*

**T.G. Ivchenko**  
**INCREASE OF THE TURNING  
PRODUCTIVITY WITH THE USE  
TECHNOLOGICAL CUTTING FLUID**

*With the use of the linear programming method the optimization of the cutting regimes at the finish and draft turning on the maximum productivity criterion taking into account the action of technological cutting fluid (CF) are executed. Analytical dependences of optimum cutting feed and speed from the parameters of finish turning process providing the quantitative estimation of possibilities of the cutting regimes increase due to application of CF are set.*

обработки за счет применения СОТС.

**Ключевые слова:** оптимизация, производительность, точение, смазочно-охлаждающая среда, температура, шероховатость

**Key words:** optimization, productivity, turning, cutting fluid, temperature, roughness.

Поступила в редколлегию \_\_\_\_\_