

Івченко Т.Г.

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТОЧІННЯ СТАЛЕЙ З ОБЛІКОМ ДІЇ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧИХ СЕРЕДОВИЩ

Підвищення продуктивності механічної обробки за рахунок застосування мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ (МОТС) – перспективний напрямок розвитку сучасного машинобудування, у зв'язку з чим тема представленої роботи досить актуальна.

Задачі обґрунтованого підвищення режимів різання найбільш ефективно 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. Інформація про температурні обмеження для різних умов обробки в сучасній довідково - нормативній літературі досить обмежена, що потребує подальших досліджень в цьому напрямку.

Визначені в роботі [3] аналітичні залежності впливу режимів точіння на температуру різання в різних умовах механічної обробки розширюють можливості урахування температурних обмежень під час оптимізації режимів різання для різних оброблюваних матеріалів. Можливості МОТС по зниженню температури різання під час точіння, досліджені в роботі [4], складають основу для оцінки ефективності дії МОТС з різними охолоджуючими та мастильними властивостями по підвищенню продуктивності обробки.

На підставі встановлених аналітичних залежностей оптимальних за критерієм максимальної продуктивності режимів різання від умов чистової та чорнової обробок з урахуванням дії МОТС в роботі [5] визначений коефіцієнт підвищення продуктивності обробки за рахунок використання МОТС, однак, приклади розрахунків наведені лише для обробки конструкційної сталі 45, для якої обґрунтоване підвищення продуктивності до 2 разів. Практичний інтерес представляє подальший розвиток досліджень в напрямку розширення умов обробки.

Мета роботи - оцінка можливостей підвищення продуктивності чистового та чорнового точіння різних сталей за рахунок використання МОТС.

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  $K_{\Pi} = S_{o\text{МОТС}}V_{o\text{МОТС}}/S_oV_o$ .

На підставі визначених [3] аналітичних залежностей оптимальних подач  $S_o$  та швидкостей різання  $V_o$  від умов обробки коефіцієнти підвищення продуктивності обробки за рахунок використання МОТС для чорнової обробки  $K_1$  та для чистової обробки  $K_2$  можуть бути представлені наступним чином:

$$K_1 = \begin{cases} K_o^{-1/z_t} K_{MP}^{(y_t - z_t)/y_p z_t}, & K_o \geq K_{o10}; \\ \left( \frac{C_V K_V}{T^{m_t} x_v} \right) \left( \frac{C_{\Theta} K_{\Theta} K_o t^{x_t}}{\Theta} \right)^{1/z_t} K_M^{y_p - 1} \left( \frac{C_P K_P K_{MP} t^{(x_p - 0,77)}}{34c^{1,25} K_{\phi}^{0,8}} \right)^{y_p z_t - y_t}. \end{cases} \quad (1)$$

$$K_2 = \begin{cases} K_O^{(k_1-k_3)/(y_t k_3 - z_t k_1)} K_{MR}^{(y_t - z_t)/y_p z_t}, & K_O \geq K_{O2o}; \\ \left( \frac{C_V K_V}{T^m} \right)^{\frac{k_1 - k_3}{k_1 - y_v k_3}} \left( \frac{C_\Theta K_\Theta K_O t^{x_t}}{\Theta} \right)^{\frac{k_3 - k_1}{y_t k_3 - z_t k_1}} K_{MR}^{\frac{y_v - 1}{k_1 - y_v k_3}} \times \\ \left( \frac{R_a}{k_0 K_R} \right)^{\frac{(y_v z_t - y_t)(k_1 - k_3)}{(y_t k_3 - z_t k_1)(k_1 - y_v k_3)}} t^{x_v (k_3 - k_1)}, \end{cases} \quad (2)$$

де  $t$  – глибина різання;  $T$  – стійкість інструменту;  $c$  – товщина пластини;  $C_V, K_V, x_v, y_v, m$  коефіцієнти та показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі і стійкості на швидкість різання;  $C_P, K_P, x_p, y_p, n_p$  – коефіцієнти та показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі і швидкості на силу різання;  $K_{MP}$  – коефіцієнт, що враховує мастильну дію МОТС на силу різання;  $K_\varphi = (\sin 60^\circ / \sin \varphi)^{0.8}$  – коефіцієнт, що враховує головний кут різця в плані  $\varphi$ ;  $R_a$  – допустима шорсткість обробленої поверхні;  $k_0, K_R, k_1, k_3$  – коефіцієнти та показники, що характеризують ступінь впливу подачі і швидкості різання на шорсткість обробленої поверхні;  $K_{MR}$  – коефіцієнт, що враховує мастильну дію МОТС на шорсткість;  $\Theta$  – допустима температура різання;  $C_\Theta, K_\Theta, x_t, y_t, z_t$  – коефіцієнти та показники, що характеризують ступінь впливу глибини, подачі та швидкості на температуру різання -  $K_O$  – коефіцієнт, що враховує охолоджуючу дію МОТС;  $K_{O1o} = \Theta / \Theta_{o1}, K_{O2o} = \Theta / \Theta_{o2}$  – коефіцієнти, що враховують охолоджуючу дію МОТС та визначають граничні значення, для яких необхідно враховувати температурне обмеження під час чорнової та чистової обробок:

$$K_{O1} = \Theta / C_\Theta K_\Theta K_O t^{x_t} \left( \frac{C_V K_V}{T^m t^{x_v}} \right)^{z_t} \left[ \frac{340 c^{1.35} t^{(0.77 - x_p)} K_\varphi}{C_P K_P K_{MP}} \right]^{\frac{y_t - y_v z_t}{y_p}};$$

$$K_{O2} = \Theta / C_\Theta K_\Theta K_O t^{x_t} \left( \frac{C_V K_V}{T^m t^{x_v}} \right)^{z_t} \left[ \frac{R_a T^{m k_3}}{k_0 K_R K_{MR} (C_V K_V)^{k_3}} \right]^{\frac{y_t - y_v z_t}{k_1 - y_v k_3}}.$$

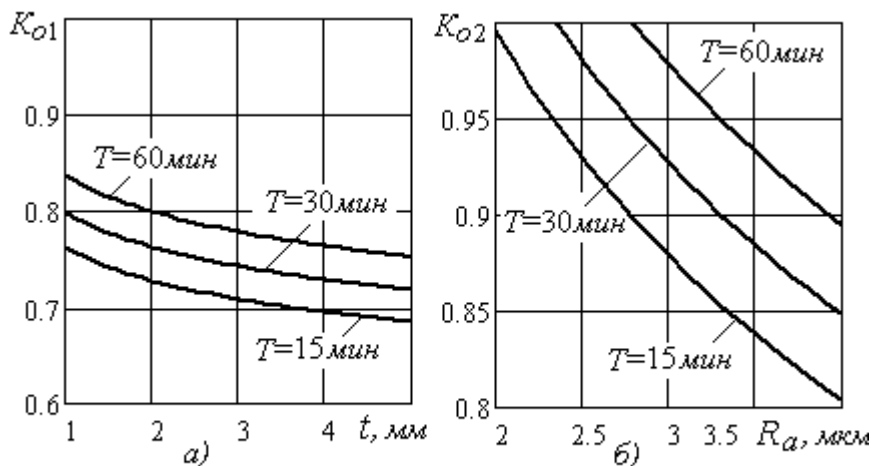


Рис. 1. Графіки зміни граничних коефіцієнтів  $K_{O1}$  та  $K_{O2}$  від глибини різання  $t$  під час чорнової обробки – а) та шорсткості обробленої поверхні  $R_a$  під час чистової обробки – б)

Графіки залежності граничних коефіцієнтів  $K_{O1}$  та  $K_{O2}$  від глибини різання  $t$  під час чорнової обробки та шорсткості обробленої поверхні  $R_a$  під час чистової обробки для різних значень стійкості різального інструменту  $T$  наведені на рис. 1. Значення граничних коефіцієнтів  $K_{O1}$  та  $K_{O2}$  підвищуються зі збільшенням глибини різання, шорсткості обробленої поверхні та стійкості інструменту.

З використанням відомих довідково – нормативних даних [6] коефіцієнти підвищення продуктивності для різних сталей можуть бути представлені у вигляді: для конструкційної сталі 45:

$$K_1 = \begin{cases} K_O^{-2,6} K_{MP}^{-0,17}, & K_O \geq K_{O1o}; \\ 2,6 / K_{MP}^{0,73} T^{0,2} t^{0,28} \end{cases}, \quad K_2 = \begin{cases} K_O^{-3,0} K_{MR}^{-0,06}, & K_O \geq K_{O2o}; \\ 1,24 R_a^{0,9} / K_{MR}^{0,97} T^{0,2} t^{0,15} \end{cases}, \quad (3)$$

для конструкційної сталі 30ХГС:

$$K_1 = \begin{cases} K_O^{-2,6} K_{MP}^{-0,17}, & K_O \geq K_{O1o}; \\ 3,4 / K_{MP}^{0,73} T^{0,2} t^{0,28} \end{cases}, \quad K_2 = \begin{cases} K_O^{-3,0} K_{MR}^{-0,06}, & K_O \geq K_{O2o}; \\ 2,14 R_a^{0,9} / K_{MR}^{0,97} T^{0,2} t^{0,15} \end{cases}, \quad (4)$$

для нержавіючої сталі Х18Н9Т:

$$K_1 = \begin{cases} K_O^{-2} K_{MP}^{-0,5}, & K_O \geq K_{O1o}; \\ 4,4 / K_{MP}^{0,73} T^{0,25} t^{0,2} \end{cases}, \quad K_2 = \begin{cases} K_O^{-2} K_{MR}^{-0,17}, & K_O \geq K_{O2o}; \\ 3,25 R_a^{0,3} / K_{MR}^{0,46} T^{0,25} t^{0,3} \end{cases}. \quad (5)$$

Приклади розрахунків наведені для наступних умов: токарна обробка конструкційних сталей різцями Т5К10 (чорнова обробка; глибина різання  $t = 3$  мм) та Т15К6 (чистова обробка;  $t = 1$  мм); обробка нержавіючої сталі Х18Н9Т різцями ВК8 (чорнова обробка;  $t = 3$  мм) та ВК6 (чистова обробка;  $t = 1$  мм) с геометричними параметрами: головний кут в плані  $\varphi = 45$ , передній кут  $\gamma = 0^\circ$ ; стійкість  $T = 30$  хв.; шорсткість обробленої поверхні  $R_a = 3,2$  мкм; допустима температура різання  $\Theta = 800^\circ\text{C}$ ;

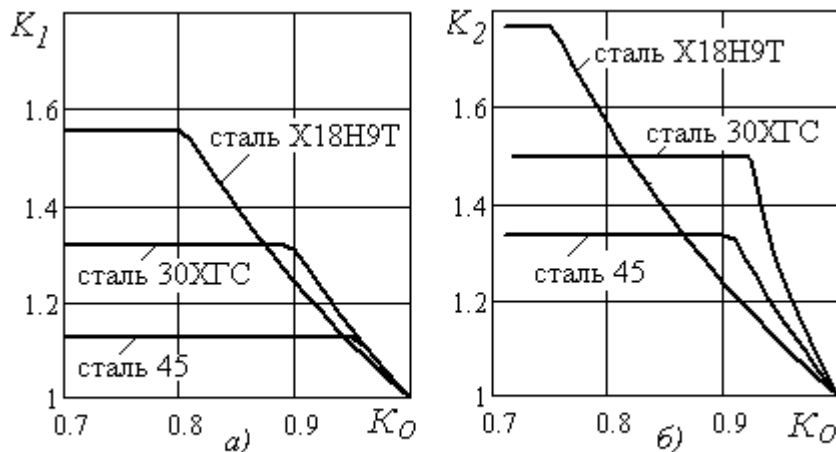


Рис. 2. Графіки зміни коефіцієнтів підвищення продуктивності  $K$  від коефіцієнта зниження температури  $K_O$  для різних сталей під час чорнкової обробки – а) та чистової обробки - б)

Графіки залежності коефіцієнтів підвищення продуктивності  $K$  від коефіцієнта зниження температури  $K_O$ , що враховує охолоджуючу дію МОТС, для обробки різних сталей наведені на рис. 2.

Коефіцієнти підвищення продуктивності  $K_{п1}$  та  $п2$  досягають більших значень для нержавіючої сталі в порівнянні з конструкційними, однак потребують використання

МОТС з більшим охолоджуючим ефектом. Використання МОТС дає більший ефект підвищення продуктивності під час чистової обробки менший – для чорнкової.

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 і подальша зміна коефіцієнта зниження температури різання стає недоцільною.

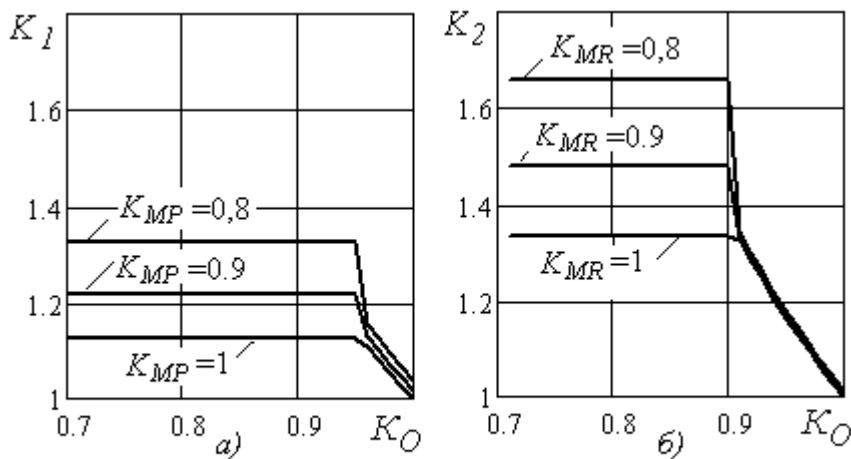


Рис. 3. Графіки зміни коефіцієнтів підвищення продуктивності  $K_{II}$  від коефіцієнта зниження температури  $K_O$  для різних коефіцієнтів  $K_{MP}$  та  $K_{MR}$ , що враховують мастильну дію МОТС, під час чорнкової обробки – а) та чистової обробки - б)

сталі 45.

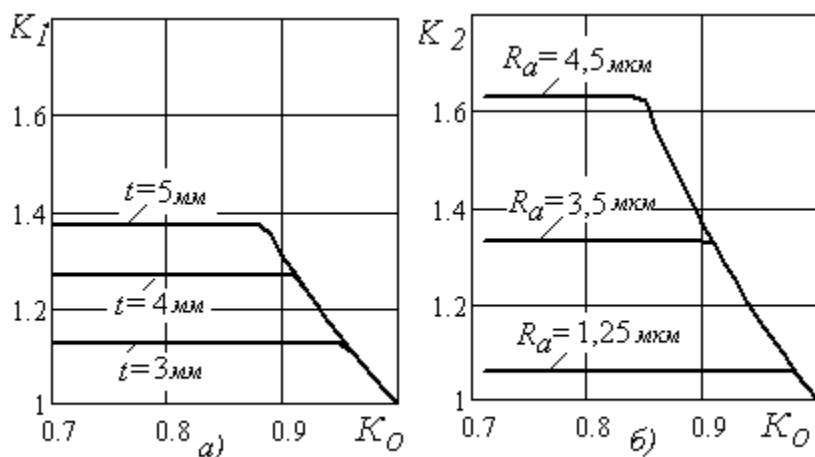


Рис. 4. Графіки зміни коефіцієнтів підвищення продуктивності  $K_{II}$  від коефіцієнта зниження температури  $K_O$  для різних глибин різання  $t$  та шорсткостей поверхні  $R_a$  під час чорнкової обробки а) та чистової обробки - б)

Результати аналізу можливостей різних МОТС та способів їх подачі в зону різання по забезпеченню коефіцієнта зниження температури представлені на рис. 5 та рис. 6. Аналіз виконаний для наступних найбільш розповсюджених МОТС: 5% розчин емульсолу Укринол-1 (універсальна МОТС, яку можна застосовувати на операціях точіння для всіх оброблюваних матеріалів); 5% розчин емульсолу Аквол-2 (МОТС, що володіє найбільш вираженими охолоджуючими властивостями та частково мастильними); МР-1у (МОТС, що володіє найбільш вираженими мастильними властивостями та частково охолоджуючими).

На підставі представлених аналітичних залежностей температури різання від умов обробки [3] може бути визначений коефіцієнт зниження температури різання при використанні МОТС -  $\Theta_{МОТС}$  в порівнянні з обробкою без МОТС -  $\Theta_{без\ МОТС}$ :  $K_O = \Theta_{МОТС} / \Theta_{без\ МОТС}$ .

Графіки залежності коефіцієнта зниження температури різання  $K_O$  від швидкості  $V$  в умовах обробки конструкційної сталі 45 та нержавіючої сталі Х18Н9Т з використанням

Графіки залежності коефіцієнта підвищення продуктивності  $K$  від коефіцієнта зниження температури різання  $K_O$  з урахуванням мастильної дії МОТС, що визначається коефіцієнтами  $K_{MR}$  і  $K_{MP}$ , наведені на рис. 3. Продуктивність обробки тим вище, чим нижче ці коефіцієнти, тобто вищі мастильні властивості МОТС.

Приклад наведений для чорнкової та чистової обробки конструкційної

Графіки залежності коефіцієнта підвищення продуктивності  $K$  від коефіцієнта зниження температури різання  $K_O$  з урахуванням дії МОТС для різних глибин різання під час чорнкової обробки та різних шорсткостей обробленої поверхні під час чистової обробки конструкційної сталі 45 наведений на рис. 4.

Продуктивність обробки тим вище, чим більші глибина різання та шорсткість обробленої поверхні.

різних МОТС та різних способів подачі МОТС в зону різання наведені на рис. 5 та рис. 6.

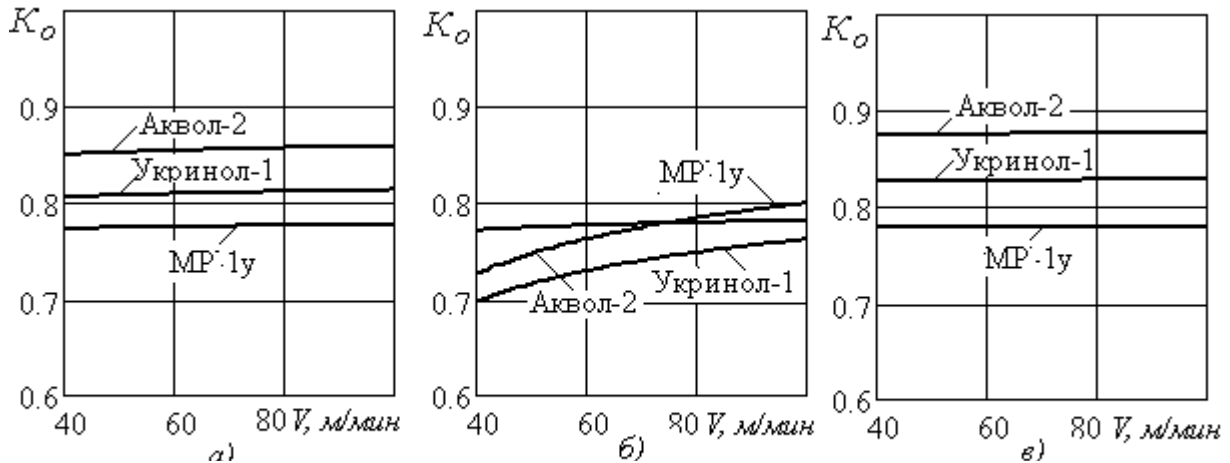


Рис. 5. Графіки залежності коефіцієнта зниження температури різання  $K_o$  від швидкості  $V$  під час обробки сталі 45 з подачею МОТС вільним поливом - а) напірним струменем - б) та розпиленням - в)

Графіки свідчать, що з ростом швидкості різання коефіцієнти зниження температури змінюються несуттєво. Під час обробки сталей з подачею МОТС напірним струменем найбільше зниження температури має місце при застосуванні МР-1у, незважаючи на те, що ця МОТС має найменший коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$ , однак володіє найбільш вираженими змащувальними властивостями. Під час обробки сталей з подачею МОТС розпиленням використання МР-1у найменш ефективно. При використанні МР-1у спосіб подачі МОТС майже не впливає на зниження температури.

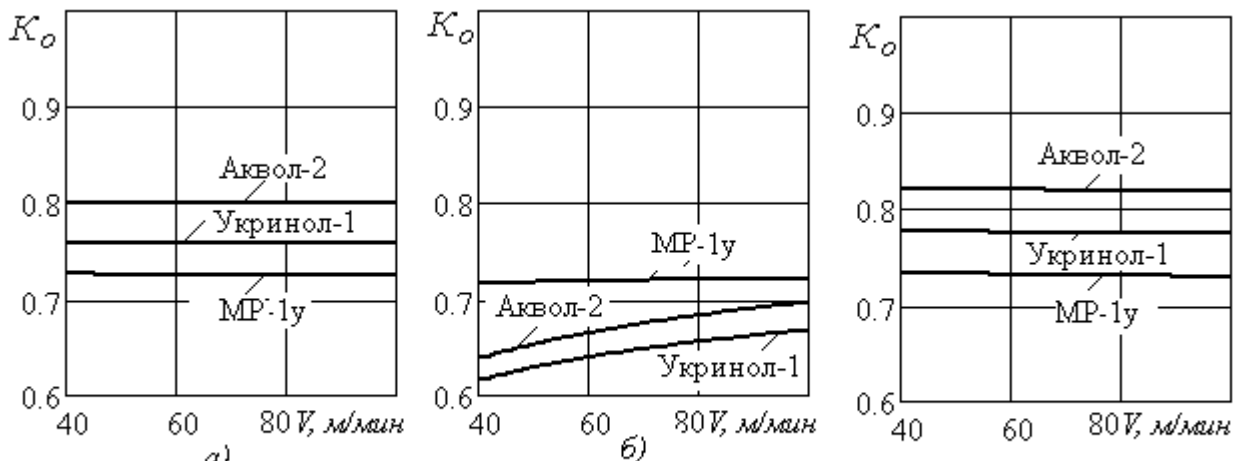


Рис. 6. Графіки залежності коефіцієнта зниження температури різання  $K_o$  від швидкості  $V$  під час обробки сталі X18H9T з подачею МОТС вільним поливом - а), напірним струменем - б) та розпиленням - в)

5% розчин емульсолу Аквол-2, який має найбільш виражені охолоджуючі властивості, незначно поступається 5% розчину емульсолу Укринол-1, який частково володіє мастильними властивостями та забезпечує більше зниження температури різання. Ці МОТС мають більший ефект зниження температури при використанні способу подачі МОТС напірним струменем, для якого коефіцієнт тепловіддачі значно вищий, ніж для інших.

Використання МОТС для всіх способів подачі її в зону різання більшу ефективність з точки зору зниження температури різання має під час обробки нержавіючої сталі X18H9T, внаслідок чого для цих сталей вища і ефективність застосування МОТС з точки зору

підвищення продуктивності обробки.

Можливості різних МОТС та способів їх подачі в зону різання по забезпеченню коефіцієнта зниження температури різання  $K_{00}$  для різних оброблюваних та інструментальних матеріалів наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Коефіцієнти зниження температури для різних умов обробки

Оброблюван ий матеріал	Інструмен тальний матеріал	Мастильно – охолоджуюче середовище (МОТС)								
		Аквол-2			Укринол-1			МР-1у		
		Коефіцієнти зниження температури для різних способів подачі МОТС в зону різання (1- вільним поливом, 2 – напірним струменем, 3 – розпиленням)								
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Конструкцій ні сталі	Твердий сплав	0,85	0,75	0,88	0,82	0,72	0,84	0,78	0,78	0,78
Нержавіючі сталі	Твердий сплав	0,80	0,70	0,82	0,76	0,67	0,78	0,73	0,73	0,73

## ВИСНОВКИ

На підставі визначеного коефіцієнт підвищення продуктивності виконана оцінка можливостей підвищення продуктивності чистового та чорнового точіння в залежності від умов обробки за рахунок використання МОТС з різними охолоджуючими та мастильними властивостями. Встановлений вплив коефіцієнта зниження температури різання на коефіцієнт підвищення продуктивності для різних оброблюваних та інструментальних матеріалів, різних значень глибин різання, шорсткості оброблюваної поверхні та стійкості інструменту.

Встановлені граничні значення температури різання та коефіцієнтів, що враховують охолоджуючу дію МОТС та визначають необхідність враховувати температурне обмеження під час чорнової та чистової обробок. Виконаний аналіз можливостей різних МОТС та способів їх подачі в зону різання по забезпеченню коефіцієнта зниження температури різання.

Встановлено, що використання МОТС дає ефект підвищення продуктивності під час обробки нержавіючих сталей до 2 разів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве /В.К.Старков. - М.: Машиностроение. 1989. - 296с.
2. Івченко Т.Г. Оптимізація параметрів процесу різання з обліком температурних обмежень // Научний вестник ДГМА. – Краматорск: ДГМА, 2012. – №1 (9 Е). – С. 47–52.
3. Івченко Т.Г. Визначення впливу режимів точіння на температуру різання в різних умовах механічної обробки / Т.Г. Івченко, К.О. Король, Д.В. Вітохіна // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы. Материалы 14 международного научно-практического семинара в Донецке. В 2-х т. Т. 2. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – С.121 - 125.
4. Івченко Т.Г. Оцінка ефективності зниження температури різання під час обробки нержавіючих сталей з використанням мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ / Т.Г. Івченко, В.А. Богуславський, Т.Г., В.В. Польченко, К.О. Король // Прогрессивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2013. Вып. 45 . – С.49-53.
5. Івченко Т.Г. Підвищення продуктивності обробки з використанням мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ / Т.Г. Івченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2013. Вып. 45. – С.112-117.

6. *Справочник технолога – машиностроителя. В 2-х т. Т.1/Под ред. А.М. Дальского, А.Г.Суслова, А.Г.Косиловой и Р.К.Мецзякова. - М.: Машиностроение, 2001.-910с.*

## АННОТАЦИИ

**Ивченко Т.Г. Анализ возможностей повышения производительности точения сталей с учетом действия смазочно-охлаждающих технологических сред // Научный вестник ДГМА. 2013. - №**

*На основании установленного коэффициента повышения производительности выполнена оценка возможностей повышения производительности в зависимости от условий обработки за счет использования СОТС с разными охлаждающими и смазочными свойствами.*

*Установлены граничные значения коэффициентов снижения температуры резания, учитывающих охлаждающее действие СОТС и определяющих необходимость учета температурных ограничений при черновой и чистовой обработках. Выполнен анализ возможностей различных МОТС и способов их подачи в зону резания по обеспечению коэффициента снижения температуры резания.*

**Ивченко Т.Г. Аналіз можливостей підвищення продуктивності точіння сталей з обліком дії мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ // Науковий вісник ДДМА. 2013. - №**

*На підставі визначеного коефіцієнт підвищення продуктивності виконана оцінка можливостей підвищення продуктивності в залежності від умов обробки за рахунок використання МОТС з різними охолоджуючими та мастильними властивостями.*

*Встановлені граничні значення коефіцієнтів зниження температури різання, що враховують охолоджуючу дію МОТС та визначають необхідність врахування температурних обмежень під час чорнової та чистової обробок. Виконаний аналіз можливостей різних МОТС та способів їх подачі в зону різання по забезпеченню коефіцієнта зниження температури різання.*

**Ivchenko T.G. Analysis of possibilities of increase of the steel turning productivity taking into account the technological cutting fluid action // Scientific herald of the DSEA. – 2013. - №**

*Based on certain coefficient of the productivity increasing estimation of possibilities of the productivity increasing depending on the terms of treatment due to the use of TCF with different cooling and lubricating properties is executed.*

*Scope values of coefficients of cutting temperature declining are set, which take into account the cooling action of TCF and determine the necessity of account of temperature limitations at draft and finish treatments. It is executed the analysis of possibilities of different TCF and methods of their serve in the area of cutting on providing of coefficient of cutting temperature declining.*

### Сведения об авторах:

Ивченко Татьяна Георгиевна – канд. техн. наук, доцент ДонНТУ;

ДонНТУ – Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

–канд. техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения

E-mail:ivchenko.sovet@gmail.com