

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ РІЗАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ОХОЛОДЖУЮЧИХ СЕРЕДОВИЩ

The theoretical and experimental investigation of cutting tools temperature used for increasing of reliability. The improvement of cutting tools effective exploitation is made by substantiation of optimal temperature level and creation the optimum cutting conditions.

Температура різання має істотний вплив на працездатність ріжучого інструменту. Одним із найбільш ефективних сучасних шляхів зниження температури і підвищення стійкості інструмента та якості обробленої поверхні є застосування мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ. У зв'язку з цим досить актуальна розробка методів керування тепловими явищами в зоні обробки з їх використанням.

В наступний час замість досить трудомістких експериментальних методів дослідження теплових процесів в технологічних системах зростає роль теоретичних методів, які дозволяють розраховувати як рівень температур різання [1, 2], так і вплив на неї охолоджуючих технологічних середовищ [3, 4]. Однак, в існуючих дослідженнях теплового стану ріжучого інструменту відсутні кількісні дані про вплив умов конвективного теплообміну при різних способах подачі охолоджуючого середовища на температуру різання, що обмежує можливість раціонального застосування та визначення ефективності цих засобів.

Основна мета роботи полягає в комплексному дослідженні взаємозв'язків температури різання з коефіцієнтами тепловіддачі та умовами подачі технологічних охолоджуючих середовищ, а також в обґрунтуванні можливостей направлено змінювання температури в заданому діапазоні.

В роботі розглядаються наступні найбільш розповсюджені способи подачі охолоджуючих середовищ в зону різання лезовими інструментами:

- вільно падаючим струменем рідини, при якому струмінь направляється як на стружку, так і на інструмент з боку передньої поверхні;
- струйно-напірний, який полягає в подачі рідини тонким струменем з тиском до 2 МПа в зону контакту інструмента з оброблюваною деталлю з боку задньої поверхні;
- розпилення невеликої кількості рідини стисненим повітрям при тиску 0,2 МПа зі швидкістю до 300 м/с як з боку задньої, так і з боку передньої поверхні.

Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі при змушеній конвекції середовища, що виникає у випадку примусового руху охолоджуючого середовища у зоні різання, виконується на підставі відомих критеріальних рівнянь [1]. Для охолодження інструмента переважно використовуються охолоджуючі середовища на основі водних розчинів (3% - 5% емульсол), що мають теплофізичні властивості, близькі до властивостей води.

Під час подачі водних розчинів вільним поливом критеріальне рівняння та визначений на його підставі коефіцієнт тепловіддачі наступні:

$$Nu_o = 0,28 Re_o^{0,6} Pr_o^{0,36} (Pr_o / Pr_s)^{0,25}; \quad \alpha_{полив} = 19 \cdot 10^3 w^{0,6} / l^{0,4}, \quad (1)$$

де $Nu_o = \alpha l / \lambda$ - критерій Нуссельта; $Re_o = w l / \nu$ - критерій Рейнольдса; $Pr = \nu / \omega$ - критерій Прандтля; α - коефіцієнт тепловіддачі; w - швидкість потоку; ν - кінематичний коефіцієнт в'язкості середовища; ω - коефіцієнт теплопроводності; λ - коефіцієнт теплопроводності; l - характерний розмір, який за умов поперечного обтікання тіла рідиною визначається як еквівалентний діаметр з обліком розмірів інструменту B і H : $l = BH / 2(B + H)$.

Під час струйно-напірної подачі водних розчинів критеріальне рівняння та визначений на його підставі коефіцієнт тепловіддачі наступні:

$$Nu_o = 0,021 Re_o^{0,8} Pr_o^{0,43} (Pr_o / Pr_s)^{0,25}; \quad \alpha_{напір} = 2,6 \cdot 10^3 w^{0,8} / l^{0,2}, \quad (2)$$

де l - характерний розмір, який за умови подовжнього обтікання тіла рідиною приймається як розмір по напрямку її плину $l = H$.

З обліком того, що швидкість потоку рідини $w = 4 \cdot 10^3 R / 60 \pi d^2$ визначається її витрачанням R (л/хв) і діаметром насадка d , із якого вона витікає, коефіцієнт тепловіддачі може бути визначений:

$$\alpha_{полив} = 1,2 \cdot 10^4 R^{0,6} / l^{0,4} d^{1,2}; \quad \alpha_{напір} = 3 \cdot 10^4 R^{0,8} / l^{0,2} d^{1,6}. \quad (3)$$

У зв'язку з тим, що при різанні на поверхнях леза інструмента в процесі механообробки виникають значно більш високі температури, чим $100^\circ C$, необхідно враховувати особливості теплообміну при зміні агрегатного стану рідини – кипінні [1]:

$$\begin{aligned} \alpha_x &\approx 170 (\Theta_s - 100)^{1,86} \text{ при } \Theta_s < 120^\circ C; \\ \alpha_x &= 3,33 \cdot 10^6 (\Theta_s - 100)^{-1,43} \text{ при } \Theta_s \geq 120^\circ C. \end{aligned} \quad (4)$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі α_{np} , що враховує спільний вплив кипіння і конвективного теплообміну під час подачі охолоджуючого середовища вільно падаючим струменем, визначається таким чином [1]:

$$\alpha_{npI} \approx \alpha_{\kappa} \text{ при } \alpha_{\kappa}/\alpha_{\text{полиэ}} \geq 2;$$

$$\alpha_{npII} = \alpha_{\text{полиэ}} \left[\frac{4\alpha_{\text{полиэ}} + \alpha_{\kappa}}{5\alpha_{\text{полиэ}} - \alpha_{\kappa}} \right] \text{ при } 0.5 \leq \alpha_{\kappa}/\alpha_{\text{полиэ}} \leq 2; \quad (5)$$

$$\alpha_{npIII} \approx \alpha_{\text{полиэ}} \text{ при } \alpha_{\kappa}/\alpha_{\text{полиэ}} \leq 0.5.$$

Графіки залежностей відношення $\alpha_{\kappa}/\alpha_{\text{полиэ}}$ від швидкості потоку рідини w и температури поверхні Θ у вигляді ліній рівня, на яких вказані чисельні значення цього відношення, представлені на рис. 1.

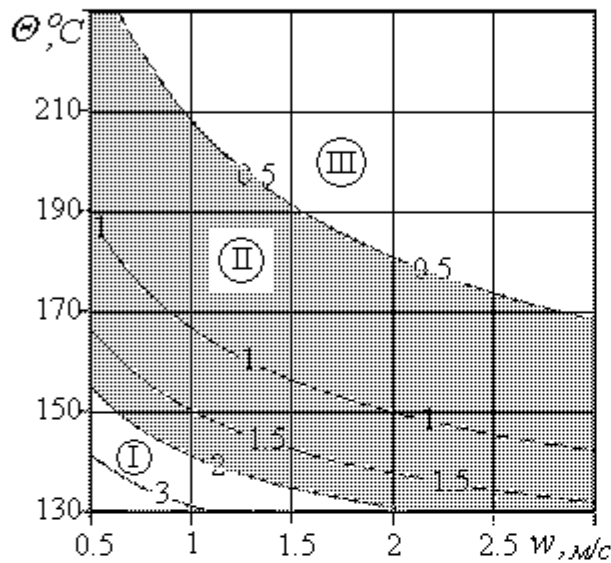


Рис. 1. Графіки залежності відношення $\alpha_{\kappa}/\alpha_{\text{полиэ}}$ від швидкості потоку рідини w і температури поверхні Θ

Аналіз цих залежностей дозволяє встановити області швидкості потоку рідини w и температури поверхні Θ , для яких відповідно формулі (5) розраховується приведений коефіцієнт тепловіддачі α_{npI} .

Відповідно з установленими умовами на рис.2 побудовані графіки залежності приведенного коефіцієнта тепловіддачі α_{np} від температури поверхні Θ та швидкості потоку рідини w .

В зоні I низьких швидкостей та температур (нижче лінії $\alpha_{\kappa}/\alpha_{\text{полиэ}} = 2$) приведений коефіцієнт α_{npI} визначається лише умовами кипіння.

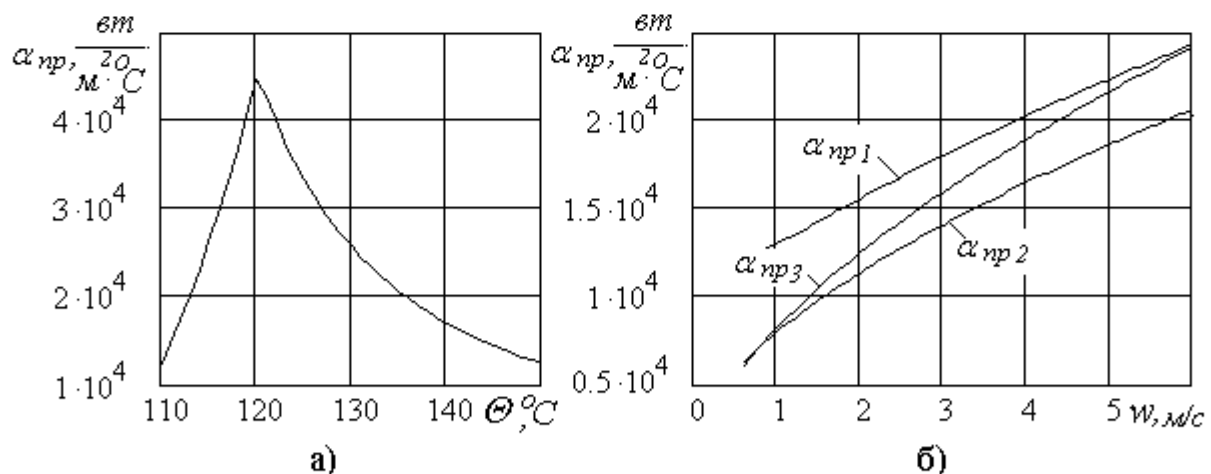


Рис. 2. Графіки залежності приведенного коефіцієнта тепловіддачі α_{np} від температури поверхні Θ (при $\Theta \leq 150^{\circ}\text{C}$) - а) та швидкості потоку рідини - б): α_{npI} відповідає $\Theta = 170^{\circ}\text{C}$; α_{np2} - $\Theta = 220^{\circ}\text{C}$; α_{np3} - $\Theta > 235^{\circ}\text{C}$.

Графік залежності приведенного коефіцієнта тепловіддачі α_{np} від температури поверхні Θ в цій зоні (рис.2а) свідчить про те, що в області температури 120°C має місце значне підвищення коефіцієнту тепловіддачі, його максимальне значення дорівнює $\alpha_{np\max} = 4,65 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$.

В зоні II коефіцієнт α_{npII} має місце сумісний вплив умов кипіння та конвективного теплообміну на коефіцієнт тепловіддачі α_{npII} , залежність якого від швидкості потоку рідини представлена на рис.2б.

В зоні III високих швидкостей та температур (вище лінії $\alpha_k / \alpha_{\text{полив}} = 0,5$) приведений коефіцієнт α_{npIII} не залежить від умов кипіння, а визначається лише умовами конвективного теплообміну. Тому при струйно-напірній подачі коефіцієнт тепловіддачі практично не залежить від температури і на нього не впливає зміна агрегатного стану охолоджуючого середовища – кипіння.

Для обґрунтування можливостей направлено змінювання температури і його практичного застосування на підставі розрахованих з використанням метода кінцевих різностей коефіцієнтів зниження температури різання [4], позначених на рис.3 $K_{\Theta P}$, виконана математична обробка результатів розрахунку та визначений характер и ступень впливу коефіцієнта тепловіддачі на зниження температури різання $K_{\Theta T}$ при поливі вільно падаючим струменем та при струйно-напірній подачі:

$$K_{\Theta T \text{ полив}} = 1 - 7,5 \cdot 10^{-6} \alpha_{\text{полив}}; \quad K_{\Theta T \text{ напір}} = 5,3 \cdot \alpha_{\text{напір}}^{-0,18}. \quad (6)$$

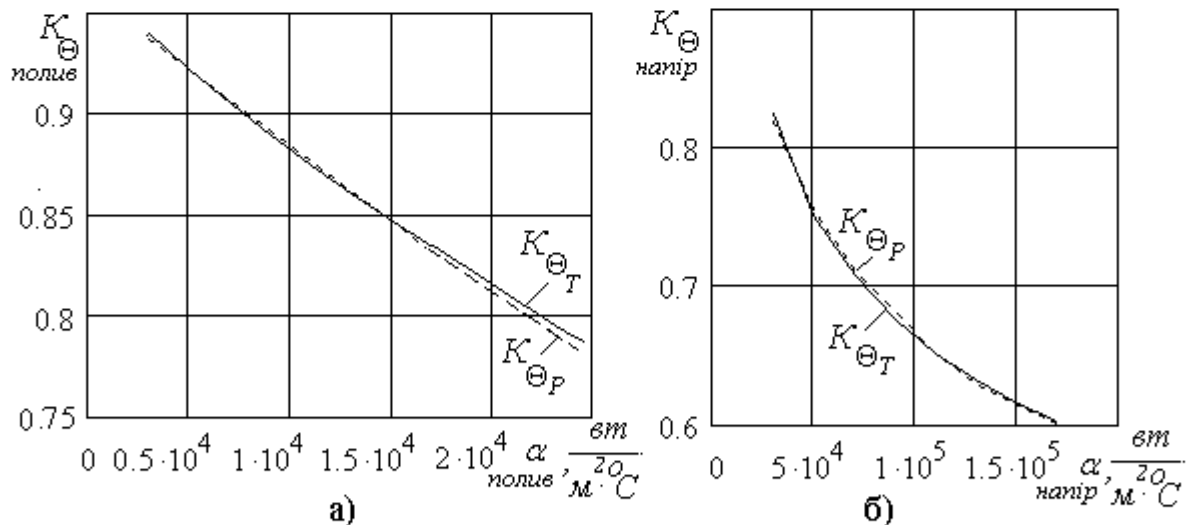


Рис.3. Графіки залежності коефіцієнта зниження температури різання від коефіцієнта тепловіддачі α , Вт/м^2 :

а) полив вільно падаючим струменем охолоджуючого середовища;

б) струйно-напірна подача охолоджуючого середовища.

З обліком (6) розраховані коефіцієнти зниження температури різання K_{Θ} , які можуть бути застосовані для прогнозування рівня температури різання в залежності від умов подачі охолоджуючого середовища в зону обробки:

$$K_{\Theta_{\text{полив}}} = 1 - 0,09 \cdot R^{0,6} / l^{0,4} d^{1,2}; \quad K_{\Theta_{\text{струйно}}} = 1,6 \cdot 10^5 \cdot l^{0,07} \cdot d^{0,29} / R^{0,14}. \quad (7)$$

На рис. 4 наведені графіки залежності коефіцієнта зниження температури різання K_{Θ} (у вигляді ліній рівня, на яких цифрами вказані його значення) під впливом охолоджуючого середовища від витрачання рідини R і діаметра насадка d для $B \times H = 20 \times 25 \text{ мм}^2$ при поливі вільно падаючим струменем та при струйно-напірній подачі. На підставі цих залежностей та графіків для заданого рівня коефіцієнта K_{Θ} визначаються умови подачі охолоджуючого середовища, які забезпечують потрібну температуру при різанні.

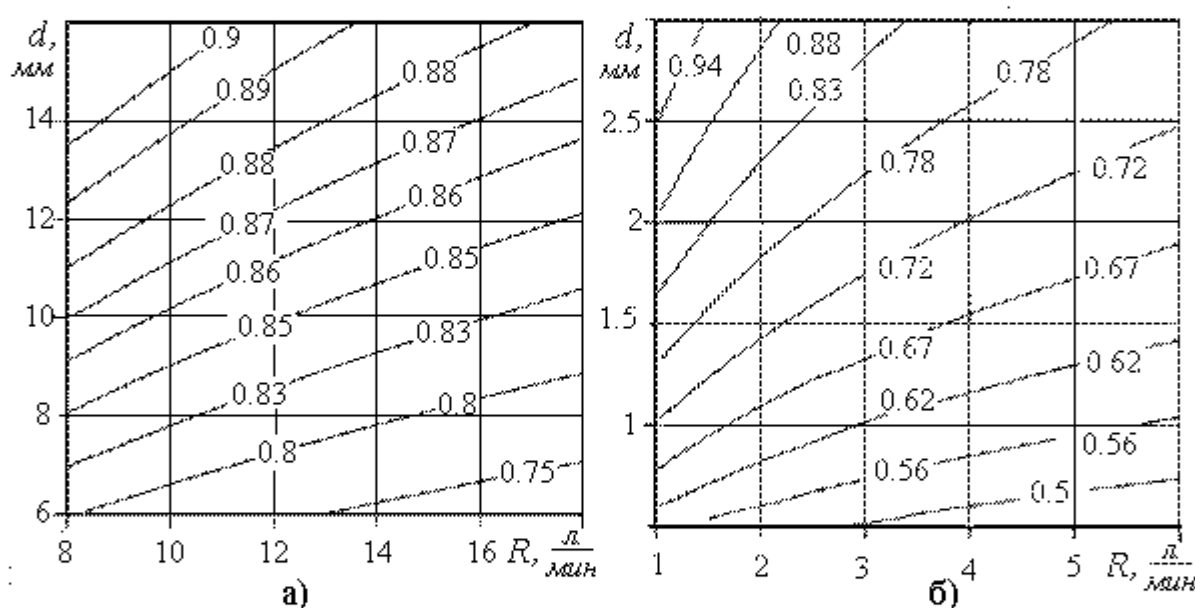


Рис. 4. Графіки залежності коефіцієнта зниження температури різання від витрачання рідини R і діаметра насадка d :

- а) полив вільно падаючим струменем охолоджуючого середовища;
- б) струйно-напірна подача охолоджуючого середовища

Аналіз графіків свідчить про те, що коефіцієнт зниження температури різання при струйно-напірній подачі охолоджуючого середовища внаслідок значно більших значень коефіцієнта тепловіддачі вище, ніж при поливі вільно падаючим струменем охолоджуючого середовища.

Найбільш ефективним з погляду використання охолоджуючих технологічних середовищ для твердосплавного інструменту, який особливо чуткий до теплових ударів, є розпилення рідини.

При подачі охолоджуючої рідини у зону різання в розпиленому стані має місце складний теплообмін поверхні леза інструмента з двофазним повітряно-рідинним середовищем. Приведений коефіцієнт тепловіддачі, який враховує усі процеси теплообміну, дорівнює [1]:

$$\alpha_{np} = 1,2 K^{2\beta} m^2 (\alpha_{розм} - \alpha_{нов}) + \alpha_{нов}, \quad (8)$$

де K – концентрація рідини в двофазному повітряно-рідинному середовищі; m – коефіцієнт, що характеризує деформацію краплі рідини при зіткненні з поверхнею ($m = 6$); $\alpha_{розм}$, $\alpha_{нов}$ – коефіцієнти тепловіддачі розпиленої рідини та інструменту в повітря.

Коефіцієнт тепловіддачі інструменту в повітря $\alpha_{нов}$ визначається, виходячи з критеріальних рівнянь для умов змушеної конвекції, відповідно для подачі розпиленої рідини з боку передньої і задньої поверхонь [3]:

$$\alpha_{нов\text{ зп}} = 5,0 w^{0,6} / l_{зм}^{0,4}; \quad \alpha_{нов\text{ зл}} = 3,4 w^{0,8} / l_{зм}^{0,2}. \quad (9)$$

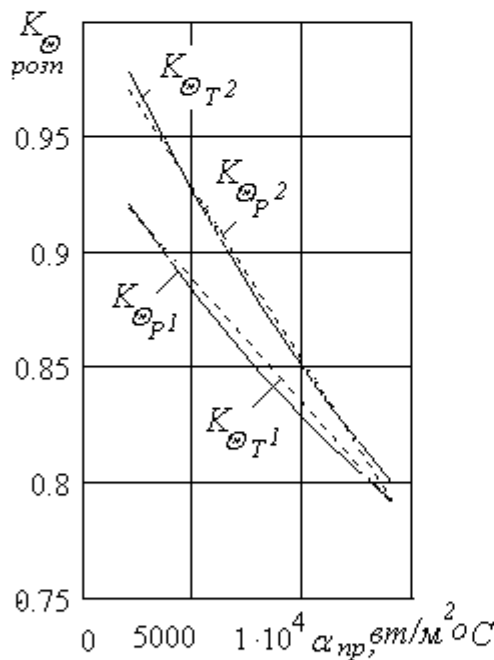


Рис. 5. Графіки залежності коефіцієнта зниження температури різання $K_{\theta_{розм}}$ від коефіцієнта тепловіддачі α_{np} при подачі розпиленої рідини з боку задньої (K_{θ_1}) та передньої (K_{θ_2}) поверхонь леза інструмента

На підставі розрахованих з використанням метода кінцевих різностей коефіцієнтів зниження температури різання [3], позначених на рис.5 K_{θ_p} , виконана математична обробка результатів розрахунку та визначений характер и ступень впливу коефіцієнта тепловіддачі на зниження температури різання K_{θ_T} при подачі розпиленої рідини з боку задньої поверхні леза інструмента $K_{\theta_{T1}}$, а також з боку передньої поверхні $K_{\theta_{T2}}$:

$$K_{\theta_{T\text{ розм}1}} = 0,94 - 1,07 \cdot 10^{-5} \alpha_{np}; \quad (12)$$

$$K_{\theta_{T\text{ розм}2}} = 1,0 - 1,5 \cdot 10^{-5} \alpha_{np}. \quad (13)$$

Для прогнозування рівня температури різання в залежності від умов подачі розпиленої рідини в зону обробки на рис. 6 наведені залежності коефіцієнта зниження температури різання $K_{\theta_{розм}}$ від концентрації рідини K ($w = 200\text{ м/с}$; $l = 20\text{ мм}$; $\alpha_{нов} = 0,5 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$; $\alpha_{розм} = 4 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$)

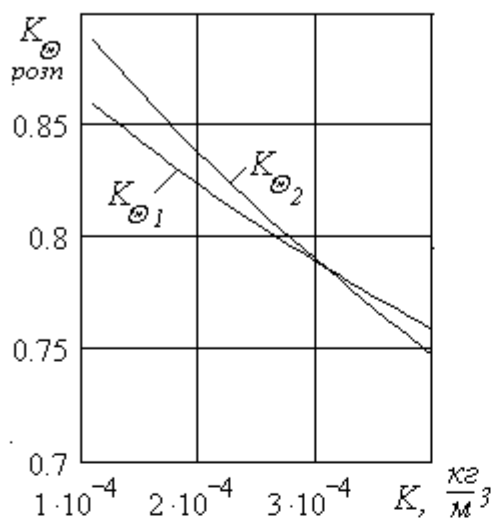


Рис. 6. Графіки залежності коефіцієнта зниження температури різання K_{erosn} від концентрації K при подачі розпиленої рідини з боку задньої ($K_{\odot 1}$) та передньої ($K_{\odot 2}$) поверхонь інструменту

Таким чином, виконані дослідження взаємозв'язків температури різання з коефіцієнтами тепловіддачі та умовами подачі технологічних середовищ, на підставі яких обґрунтовані можливості направлено змінювання температури в заданому діапазоні для різних способів подачі охолоджуючих середовищ: вільно падаючого струменя рідини, струйно-напірного, розпилення рідини.

Результати комплексних дослідження впливу способів подачі охолоджуючого середовища на тепловий стан леза ріжучого інструменту, встановлені кількісні зв'язки коефіцієнту тепловіддачі та температури різання, складають підставу для розробка методів керування тепловими явищами в зоні обробки в умовах конвективного теплообміну.

Література.

1. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение, 1990. - 288с.
2. Івченко Т.Г. Аналітичне визначення температури різання в залежності від умов експлуатації ріжучого інструменту // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 92. - Донецьк, ДонНТУ, 2005.- С.37-42.
3. Івченко Т.Г. Підвищення ефективності функціонування збірного ріжучого інструменту з використанням технологічних охолоджуючих середовищ // Прогресивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2005. Вып. 29. – С.87-94.
4. Івченко Т.Г., Нечепасєв В.Г., Гнисько, О.М. Вплив способу подачі охолоджуючого середовища на температуру різання // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. Вип.16. – Краматорськ: ДДМА, 2005.- С.34-38.