

Івченко Т.Г. (канд. техн. наук, доцент)

ДВНЗ Донецький національний технічний університет, м. Донецьк, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ РІЗАННЯ З УРАХУВАННЯМ ЗМІННОСТІ ПАРАМЕТРІВ СТРУЖКОУТВОРЕННЯ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УМОВ ОБРОБКИ

Експериментально встановлений взаємозв'язок коефіцієнта усадки стружки зі швидкістю різання для різних передніх кутів леза інструменту. Теоретично встановлений вплив постійного коефіцієнта усадки стружки на температуру різання. Виконаний аналіз закономірностей формування теплових потоків та температур різання з урахуванням змінності коефіцієнта усадки стружки в залежності від параметрів процесу точіння. Встановлені характер та ступінь впливу швидкості різання та подачі на температуру різання для різних передніх кутів під час точіння з урахуванням змінності коефіцієнта усадки стружки. Здійснена експериментальна перевірка теоретичних досліджень.

Тепловий потік, температура, точіння, швидкість, подача, усадка стружки.

1. Вступ

Теплові явища в зоні різання мають суттєвий вплив на продуктивність механічної обробки та якість поверхневого шару деталей машин. Це доводить актуальність виконаних досліджень по визначенню температур різання в залежності від умов токарної обробки.

Відомі теоретичні та експериментальні методи аналізу теплових процесів в технологічних системах встановлюють загальні підходи до визначення теплових потоків та температур в зоні різання [1, 2, 3]. Вони складають основу для створення практичних рекомендацій з обґрунтування параметрів механічної обробки, що забезпечують допустимий рівень температур.

В наступний час на підставі досліджень закономірностей формування теплових потоків в зоні різання під час точіння визначені аналітичні залежності теплових потоків від умов механічної обробки [4], що сприяло удосконаленню методики аналітичного розрахунку температури різання [5] та виявленню загального впливу параметрів процесу різання на температуру леза інструменту [6].

Виконані дослідження залежностей щільностей теплових потоків від параметрів процесу різання [4] свідчать про суттєвий вплив на тепловий стан інструменту параметрів стружкоутворення, а саме - коефіцієнта усадки стружки. Однак, кількісні взаємозв'язки між параметрами встановлені без урахування складного характеру зміни самого коефіцієнта усадки стружки в залежності від умов обробки. Значення коефіцієнта усадки стружки приймається постійним для усього діапазону варіювання параметрів обробки.

Відомі експериментальні дослідження [2] встановлюють вплив геометричних параметрів інструменту та режимів різання на коефіцієнта усадки стружки, однак, для практичного використання потрібний подальший розвиток досліджень в напрямку встановлення аналітичних залежностей коефіцієнта усадки стружки від параметрів механічної обробки та їх врахування для визначення температури різання.

Мета роботи – аналіз впливу коефіцієнта усадки стружки на температуру різання та встановлення взаємозв'язку температури різання з подачею та швидкістю з урахуванням змінності коефіцієнта усадки стружки в залежності від умов обробки.

2. Основний зміст і результати роботи

Основним параметром стружкоутворення, що розглядається в наступній роботі, є коефіцієнт усадки стружки k , який характеризує ступінь деформування шару матеріалу деталі, що під час різання перетворюється в стружку. Коефіцієнт усадки стружки суттєво залежить від параметрів процесу різання. Відомо, що він зменшується з ростом переднього кута леза інструмента γ , швидкості різання V та подачі S [2].

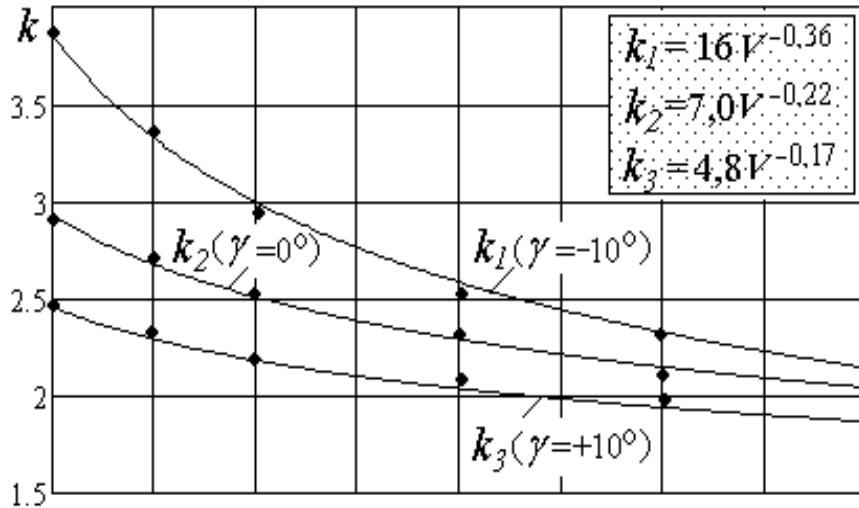


Рис. 1. Графіки залежності коефіцієнта усадки стружки k від швидкості різання V для різних передніх кутів γ в умовах обробки сталі 40Х твердосплавними різцями Т15К6; товщина зрізу $a = 0,45$ мм; ширина зрізу $b = 2$ мм; -●- - експериментальні дослідження [2]

На підставі експериментальних досліджень, представлених в роботі [2] (рис.1), встановлені регресійні залежності (з похибкою до 7%) коефіцієнта усадки стружки k від швидкості різання V для різних передніх кутів γ :

$$\begin{aligned} k_1 &= 16 V^{-0,36}; \\ k_2 &= 7,0 V^{-0,22}; \\ k_3 &= 4,8 V^{-0,17}. \end{aligned} \quad (1)$$

Графіки свідчать про те, що швидкість різання впливає на коефіцієнт усадки

стружки k тим сильніше, чим менший передній кут γ ; і навпаки - передній кут γ впливає на коефіцієнт усадки стружки k тим сильніше, чим менша швидкість різання V .

Температура різання розраховується як середня температура на передній Θ_1 і задній Θ_2 поверхнях леза інструменту [1]:

$$\Theta = (\Theta_1 l + \Theta_2 h) / (l + h) = [q_1 l (M_1 l + N_1 h) + q_2 h (M_2 h + N_1 l)] / (l + h) \lambda_{\dot{\epsilon}}, \quad (2)$$

де l - довжина контакту передньої поверхні леза зі стружкою; h - знос по задній поверхні леза; q_1 і q_2 - щільності теплових потоків на передній і задній поверхнях; $M_{1,2}$, $N_{1,2}$ - безрозмірні функції, що визначають нагрів контактних площадок на передній і задній поверхнях леза; λ_u - коефіцієнт теплопровідності інструментального матеріалу.

Щільності теплових потоків на передній q_1 і задньої q_2 поверхнях леза інструменту в залежності від теплофізичних характеристик деталі та інструменту та основних параметрів процесу різання визначаються наступним чином [4]:

$$q_1 = \frac{K_1 K_3 \lambda_u - K_2 N_2 h + K_1 M_2 h}{K_3 K_4 \lambda_u + M_2 K_4 h - N_1 N_2 l h / \lambda_u}; \quad q_2 = \frac{(K_1 - K_4 q_1) \lambda_u}{N_2 h}, \quad (3)$$

$$\text{де } K_1 = \frac{(1+c)\omega_{\dot{\epsilon}} k b' q_{\dot{\epsilon}}}{\lambda_{\dot{\epsilon}} V} + \frac{K_{c1} q_{1T}}{\lambda_{\dot{\epsilon}}} \sqrt{\frac{\omega_{\dot{\epsilon}} k l}{V}}; \quad K_2 = \frac{(1+c)\omega_{\dot{\epsilon}} k b' q_{\dot{\epsilon}} T_{\dot{\epsilon}}}{\lambda_{\dot{\epsilon}} V} + \frac{K_{c2} q_{2T}}{\lambda_{\dot{\epsilon}}} \sqrt{\frac{\omega_{\dot{\epsilon}} h}{V}};$$

$K_3 = 1,82K_{c2}\sqrt{\omega_{\bar{a}}h/V}/\lambda_{\bar{a}}$; $K_4 = 1,3K_{c1}\sqrt{\omega_{\bar{a}}kl/V}/\lambda_{\bar{a}} + M_1l/\lambda_u$; λ_{δ} , ω_{δ} – коефіцієнти теплопровідності та температуропровідності матеріалу деталі; c - коефіцієнт, що враховує підігрів шарів стружки за один оберт деталі; q_{δ} , q_{1T} , q_{2T} - щільності тепловиділення в зоні стружкоутворення, в зонах тертя стружки з передньою поверхнею леза та деталі з задньою поверхнею леза відповідно; b' - коефіцієнт відносної кількості теплоти, що йде в стружку; T_{δ} - безрозмірна функція розподілу температур деформації в деталі; K_{c1} , K_{c2} – коефіцієнти, що враховують закони розподілу щільності теплових потоків на передній та задній поверхнях леза відповідно.

Як свідчать представлені аналітичні залежності (2) і (3), коефіцієнт усадки стружки k безпосередньо впливає на щільності теплових потоків, отже і на температуру різання. Крім того, він впливає на інші параметри, що визначають температуру різання:

- довжину контакту передньої поверхні леза зі стружкою:

$$l(k) = 2S \cdot \sin\varphi [k(1 - \operatorname{tg}\gamma) + \sec\gamma],$$

де φ – головний кут в плані;

- безрозмірні функції, що визначають нагрів контактних площадок:

$$M_{1,2}(k) = (4,88 + 2,64\eta_{1,2}(k)0,5 \operatorname{lg} \eta_{1,2}(k))\beta^{0,85};$$

$$N_{1,2}(k) = (0,04 + 0,02 \eta_{1,2}(k)0,6 \operatorname{lg} \eta_{1,2}(k))B_{1,2}(h/l(k)),$$

де η – безрозмірний параметр: $\eta_1 = b/l(k)$, $\eta_2 = b/h$; b – ширина зрізу; β – кут загострення;

- коефіцієнт відносної кількості теплоти, що йде в стружку:

$$b'(k) = 1 / (1 + 1,5k / \sqrt{Pe_o}),$$

де Pe_o - безрозмірний критерій Пекле: $Pe_o = 10^{-3}Va/60 \omega_{\delta} \sin\Phi(k)$; Φ - кут зсуву;

- безрозмірну функцію розподілу температур деформації в деталі:

$$T_{\bar{a}}(k) = \sqrt{1 + l(k)\operatorname{tg}\Phi(k)/2a} - \sqrt{l(k)\operatorname{tg}\Phi(k)/2a}; \quad \Phi(k) = \arcsin(\cos\gamma / \sqrt{k^2 - 2k \sin\gamma + 1});$$

- щільності теплових потоків q_{1T} , q_{2T} , q_{δ} :

$$q_{1T}(k) = 10^6 V(P_{Z0} \sin\gamma + P_{N0} \cos\gamma) / 60kbl; \quad q_{2T} = 10^6 \sqrt{3}FV / 6\sqrt{\pi}bh;$$

$$q_{\bar{a}}(k) = 10^6 V \sin\Phi [P_{Z0}(k - \sin\gamma) - P_{N0} \cos\gamma] / 60abk,$$

де $P_{Z0} = P_z - F$ - різниця тангенціальної сили різання P_z та сили тертя по задній поверхні різця F ; $P_{N0} = P_y - N$ - різниця нормальної складової сили різання P_y та нормальної сили на задній поверхні різця N .

Основні закономірності зміни теплових потоків q_1 і q_2 та температури різання Θ в залежності від коефіцієнта усадки стружки k наведені на рис. 2. Розрахунки виконувались для обробки сталі 40X різцями Т15К6; геометричні параметри: головний кут в плані $\varphi = 45$, передній кут $\gamma = -7^\circ$, ($\gamma_1 = +7^\circ$), задній кут різця $\alpha = 7^\circ$; режими різання: глибина різання $t = 1$ мм, подача $S = 0,3$ мм/об, швидкість різання $V = 250$ м/хв; знос по задній поверхні $h = 0,1$ мм.

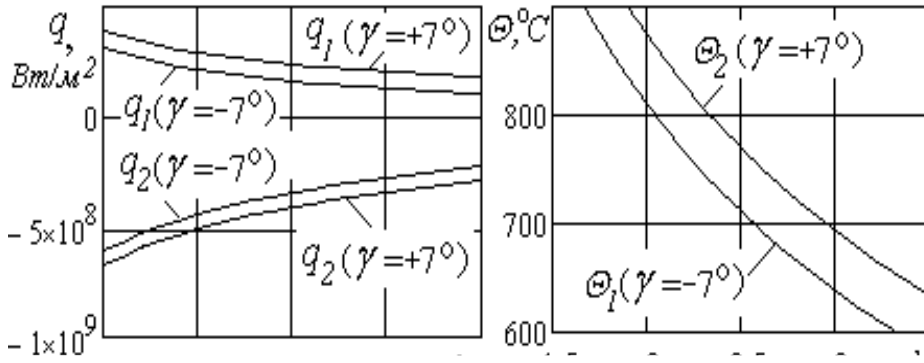


Рис. 2. Графіки залежності щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту – а) і температури різання Θ – б) від коефіцієнта усадки стружки k

Графіки залежності щільності теплових потоків і температури різання Θ від коефіцієнта усадки стружки k свідчать про те, що з підвищенням коефіцієнта усадки теплові потоки на передній поверхні леза інструменту q_1 та температура різання Θ зменшую-

ться. Це пояснюється тим, що з ростом усадки стружки підвищується довжина контакту передньої поверхні леза зі стружкою l , яка зменшує щільності теплових потоків, і як наслідок - температуру різання.

Температура різання для інших однакових умов обробки менша для більших передніх кутів у зв'язку з покращанням умов тепловідводу.

Від'ємні теплові потоки на задній поверхні леза q_2 свідчать про напрямок потоків із інструменту в деталь, що сприяє охолодженню інструменту. Підвищення теплового потоку на задній поверхні з ростом коефіцієнта усадки стружки пов'язане зі зменшенням теплового потоку на передній поверхні відповідно (3).

В процесі різання зміна коефіцієнта усадки стружки відбувається у зв'язку зі зміною швидкості різання і подачі згідно з встановленими залежностями (1) і (2). Враховуючі ці залежності в розрахунках теплових потоків і температур різання, встановлюємо основні закономірності їх взаємозв'язку з режимами різання з урахуванням змінності коефіцієнта усадки стружки.

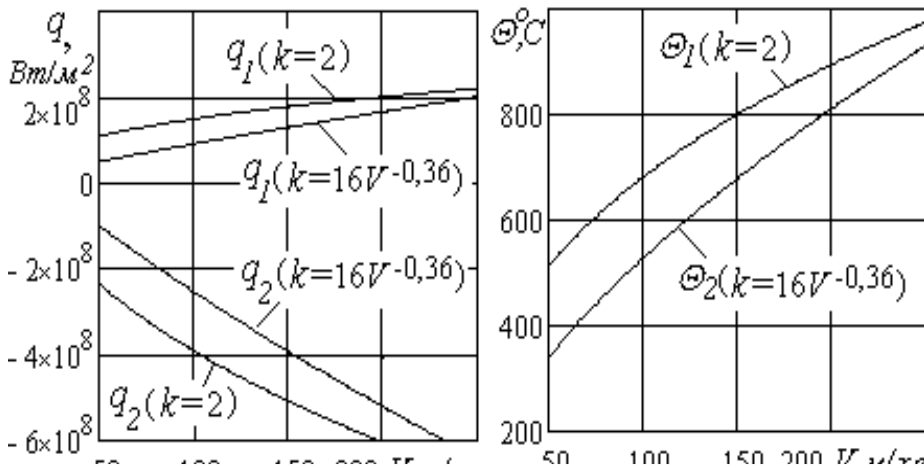


Рис. 3. Графіки залежності щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту – а) і температури різання Θ – б) від швидкості різання V для різних коефіцієнтів усадки стружки k (передній кут $\gamma = -10^\circ$)

Графіки залежності щільності теплових потоків та температури різання Θ від швидкості різання V для постійного коефіцієнта усадки стружки ($k = 2$) та змінного згідно встановленої залежності від швидкості (1), представлені на рис. 3. В зв'язку з тим, що для від'ємних значень переднього кута коефіцієнт усадки стружки $k >$

2, то на приведених графіках теплові потоки на передній поверхні леза інструменту q_1 та температура різання Θ менші, ніж для постійного значення коефіцієнта усадки.

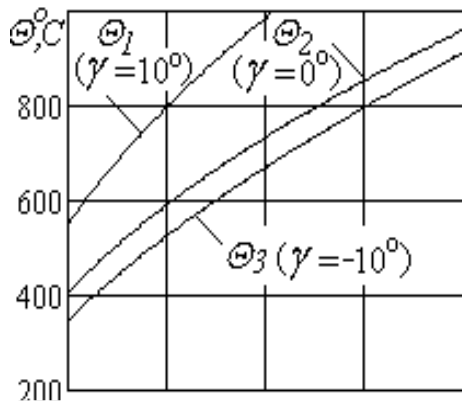


Рис. 4. Графіки залежності температури різання Θ від швидкості різання V для різних передніх кутів γ

рості постійного коефіцієнта усадки:

$$\Theta_{T(\gamma=-10^\circ)} = 47,5 V^{0,60} S^{0,33}; \quad \Theta_{T1(\gamma=-10^\circ)} = 169,5 V^{0,40} S^{0,34}; \quad (4)$$

$$\Theta_{T(\gamma=0^\circ)} = 77,4 V^{0,54} S^{0,38}; \quad \Theta_{T1(\gamma=0^\circ)} = 172,7 V^{0,42} S^{0,39}; \quad (5)$$

$$\Theta_{T(\gamma=+10^\circ)} = 116,6 V^{0,52} S^{0,42}; \quad \Theta_{T1(\gamma=+10^\circ)} = 120,9 V^{0,48} S^{0,42}. \quad (6)$$

Врахування змінності коефіцієнта усадки стружки підвищує температури різання та ступінь впливу на них швидкості різання тим більше, чим менший передній кут леза інструмента. Для передніх кутів $\gamma = +10^\circ$ похибка розрахунків для постійного коефіцієнта усадки стружки не перевищує 15%, що за певних умов може допускати розрахунки температури різання без урахування його змінності.

Зі зменшенням передніх кутів ступінь впливу швидкості різання на температуру різання з урахуванням змінності коефіцієнта усадки стружки суттєво зростає. Для від'ємних передніх кутів $\gamma = -10^\circ$ розрахунки без урахування змінності коефіцієнта усадки стружки недопустимі, так як температури, що розраховані для постійного коефіцієнта усадки стружки відрізняються від тих, що враховують його змінність, більш, ніж в 1,5 рази.

Визначені аналітичні залежності дозволяють підвищити точність розрахунків температури різання з урахуванням змінності коефіцієнта усадки стружки від режимів різання та передніх кутів.

Перевірка достовірності теоретичних моделей для розрахунку температур різання виконана шляхом порівняння з результатами відомих експериментальних досліджень [3] в однакових умовах обробки.

Експериментальні та теоретичні дослідження впливу швидкості на температуру різання виконувались для обробки сталі 40X ($\sigma = 800$ МПа) різцями Т15К6; геометричні параметри: головний кут в плані $\varphi = 45$, передній кут $\gamma = 12^\circ$, задній кут різця $\alpha = 7^\circ$; режими різання: глибина різання $t = 1$ мм, подачі $S_1 = 0,55$ мм/об, $S_2 = 0,31$ мм/об, знос по задній поверхні $h = 0,1$ мм. Графіки теоретичних Θ_T і експериментальних Θ_E залежностей температури різання від швидкості різання V для різних подач S під час токарної обробки наведені на рис. 5.

Підвищення переднього кута γ з урахуванням його впливу на коефіцієнт усадки стружки суттєво підвищує температуру різання в усьому діапазоні зміни швидкостей різання (рис. 4) у зв'язку з тим, що для більших передніх кутів зменшується коефіцієнт усадки та довжина контакту стружки з передньою поверхнею леза інструменту.

На підставі розроблених теоретичних моделей визначення температури різання з використанням множинного регресійного аналізу встановлені аналітичні залежності температури різання Θ_T від швидкості різання V та подачі S під час точіння з урахуванням змінності коефіцієнта усадки стружки.

Для порівняння наведені отримані за тією ж методикою аналітичні залежності температури різання Θ_{T1} від швидкості різання V та подачі S для по-

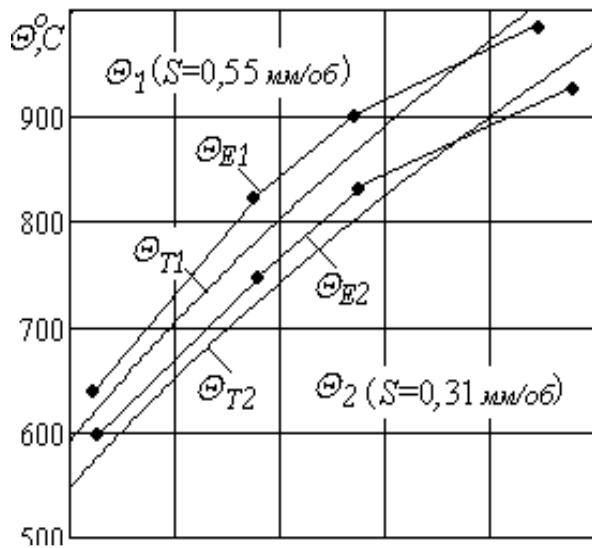


Рис. 5. Графіки залежності теоретичних Θ_T та експериментальних Θ_E температур різання від швидкості різання V для різних подач (передній кут $\gamma = 12$)
 -●- - експериментальні дані [3]

температуру різання для різних передніх кутів без урахування його залежності від режимів обробки. Встановлені характер та ступінь впливу швидкості різання та подачі на температуру різання для постійного коефіцієнта усадки стружки.

Виконаний аналіз закономірностей формування теплових потоків та температур різання з урахуванням змінності коефіцієнта усадки стружки в залежності від умов обробки. Теоретично встановлені та експериментально перевірені залежності температури різання від швидкості різання та подачі на під час точіння з урахуванням змінності коефіцієнта усадки стружки.

Перелік літератури

1. Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах / А.Н. Резников, Л.А. Резников - М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
2. Клушин М.И. Резание металлов / М.И. Клушин - М.: Машгиз, 1959. – 454 с.
3. Даниэлян А.М. Теплота и износ инструментов в процессе резания металлов / А.М. Даниэлян – М.: Машгиз, 1964. – 276 с.
4. Ивченко Т.Г. Влияние условий обработки на закономерности формирования тепловых потоков в зоне резания при точении / Т.Г. Ивченко // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип. 5.- Донецьк, ДонНТУ, 2008.- С.23-29.
5. Ивченко Т.Г. Анализ закономерностей изменения температурного поля режущего инструмента в процессе его эксплуатации / Т.Г. Ивченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Вып. 37.– Донецк: ДонНТУ, 2009. – С.84 - 89.
6. Ивченко Т.Г. Исследование общих закономерностей изменения температуры резания в различных условиях обработки / Т.Г. Ивченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Вип. 6. - Донецьк, ДонНТУ, 2009.- С.49 -55.

Розрахунки та графіки свідчать про те, що температури різання, одержані за теоретичними та експериментальними залежностями близькі за своїми значеннями як за рівнем температур, так і за характером їх зміни (похибка не перевищує 10%). Результати перевірки підтверджують можливість практичного використання теоретичних розрахунків температури різання з урахуванням змінності коефіцієнта усадки стружки за здобутими залежностями.

3. Висновки

На підставі аналізу експериментальних досліджень визначені залежності для оцінки впливу швидкості різання на коефіцієнт усадки стружки для різних передніх кутів леза інструменту.

Теоретично встановлений вплив постійного коефіцієнта усадки стружки на

Ивченко Т.Г.

Донецкий национальный технический университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ С УЧЕТОМ ПЕРЕМЕННОСТИ
ПАРАМЕТРОВ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ
ОБРАБОТКИ**

Экспериментально установлена взаимосвязь коэффициента усадки стружки со скоростью резания для различных передних углов лезвия инструмента. Теоретически определено влияние постоянного коэффициента усадки стружки на температуру резания. Выполнен анализ закономерностей формирования тепловых потоков и температур резания с учетом переменности коэффициента усадки стружки в зависимости от параметров процесса точения. Установлены характер и степень влияния скорости резания и подачи на температуру резания при точении с учетом переменности коэффициента усадки стружки. Выполнена экспериментальная проверка теоретических исследований.

Тепловой поток, температура, точение, скорость, подача, усадка стружки.

Ivchenko T.G.

Donetsk National Technical University

**DETERMINATION OF CUTTING TEMPERATURE TAKING INTO ACCOUNT
CHANGEABLENESS OF PARAMETERS OF CHIP FORMATION
IN DEPENDENCE ON MACHINING CONDITIONS**

As a basic parameter of the chip formation, the chip contraction coefficient is accepted.

Intercommunication of the chip contraction coefficient at a speed of cutting at turning of construction steels is experimentally set. The chip contraction coefficient diminishes with the increase of cutting speed. The degree of influence of speed of cutting on the chip contraction coefficient increases with diminishing of the rake. The analytical dependences of the chip contraction coefficient on the cutting speed for the different rake of the cutting tool with the use of regressive analysis are certain.

Influence of the constant chip contraction coefficient on the cutting temperature without the account of influence on him of the treatment terms is certain in theory. Character and degree of influence of cutting speed and rake on the cutting temperature for the constant chip contraction coefficient is set. A cutting temperature goes down with the increasing of the constant chip contraction coefficient and diminishing of the rake.

It is executed the theoretical analysis of conformities to law of forming of the thermal streams and temperatures cutting for the variable the chip contraction coefficient depending on the machining conditions. Character and degree of influence of cutting speed and the rake on the cutting temperature for the variable the chip contraction coefficient is set. With the increase of cutting speed, the cutting temperature increases. For the negative rake, the cutting temperature taking into account the variable chip contraction coefficient below, than at the constant chip contraction coefficient. The increase of the rake rises of cutting temperature.

With the use of regressive analysis analytical dependences of the cutting temperature on the cutting speed and feed for different the rake, taking into account both constant and variable chip contraction coefficient are certain. The comparison of the set dependences grounds a necessity to take into account changeability of the chip contraction coefficient depending on the treatment terms at the calculations of cutting temperature. Analytical dependences of cutting temperature on cutting speed and feed, taking into account changeability of the chip contraction coefficient promote exactness of calculations.

It is executed experimental verification of theoretical researches. The results of experimental researches confirm the theoretical calculations of the cutting temperature at turning, executed on the developed analytical dependences taking into account changeability of the chip contraction coefficient.

Thermal stream, temperature, turning, speed, feed, chip contraction.