Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Державний вищий навчальний заклад
Донецький національний технічний університет
Кафедра «Технологія машинобудування»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт
з курсу «Моделювання теплових процесів в технологічних системах»
(для студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування»
спеціалізації «Технологія машинобудування»
всіх форм навчання)

Донецьк ДонНТУ 2011

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Державний вищий навчальний заклад
Донецький національний технічний університет
Кафедра «Технологія машинобудування»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт
з курсу «Моделювання теплових процесів в технологічних системах»
(для студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування»
спеціалізації «Технологія машинобудування»
всіх форм навчання)

Розглянуто на засіданні кафедри
«Технологія машинобудування»
Протокол № 10 від 15.02 2011р.

Затверджено навчально - видавничою
Радою ДонНТУ
Протокол № 2 від 21.03 2011р.

Донецьк ДонНТУ 2011

УДК 621.75.008.001.2 (071)

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Моделювання теплових процесів в технологічних системах» (для студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування» спеціалізації «Технологія машинобудування» всіх форм навчання) / Т.Г. Івченко, І.О. Петряєва - Донецьк: ДонНТУ, 2011. - 34с.

Приведено основні теоретичні відомості з розрахунків теплових процесів в технологічних системах. Представлено методичні вказівки до виконання лабораторних робіт, вимоги до звіту про роботи. Приведено рекомендований список літератури.

Укладачі Т.Г. Івченко, доц.
І.О. Петряєва, асс.

Відп. за випуск О.М. Михайлов, проф.

ВСТУП

Мета вивчення курсу «Моделювання теплових процесів в технологічних системах» - отримання студентами знань про теплові процеси в технологічних системах, методах досліджень та шляхах керування, що забезпечують найбільш ефективне функціонування цих систем.

Задача курсу - оволодіння науково - методичними та організаційними основами діяльності в області теплових процесів в технологічних системах.

Основна задача лабораторних робіт - оволодіння практичними навиками аналізу теплофізичного стану основних елементів технологічних систем: деталей, пристроїв та інструментів:

- схематизація тіл, що приймають участь у теплообміні, та джерел теплоти, що виникають під час функціонування основних компонентів систем;
- визначення математичних моделей опису задач теплопровідності та конвективного теплообміну, які мають місце в системах механічної обробки деталей машин;
- вивчення закономірностей формування теплових потоків та температурних полів в інструментах та деталях для різних методів обробки: лезової, абразивної, пластичним деформуванням;
- моделювання теплових потоків та температурних полів для заданих умов обробки з використанням сучасних математичних пакетів прикладних програм;
- комп'ютерні розрахунки щільності теплових потоків та температур на поверхнях інструментів та деталей для заданих умов обробки;
- визначення впливу параметрів механічної обробки на тепловий стан елементів технологічних систем та аналіз шляхів керування тепловими процесами в цих системах;
- обгрунтування вибору раціональних методів і параметрів обробки, що забезпечують ефективне функціонування технологічних систем та високу якість оброблюваних деталей.

Оснащення лабораторних робіт базується на створеному комп'ютерному програмному забезпеченні задач моделювання теплових потоків та температурних полів для заданих умов обробки, яке виконане на базі математичного пакету прикладних програм Mathcad.

Лабораторна робота №1

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ В ЗОНІ РІЗАННЯ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПАРАМЕТРІВ ОБРОБКИ ПІД ЧАС ТОЧІННЯ

Мета роботи: встановити характер та ступінь впливу режимів різання та зносу по задній поверхні леза інструменту на теплові потоки в зоні різання

Основні теоретичні відомості

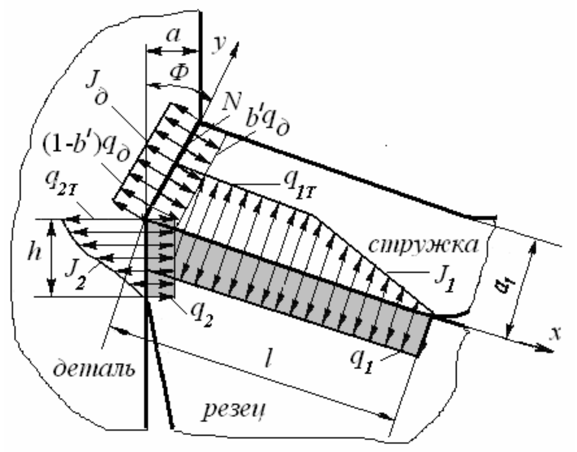

Рисунок 1.1 - Схема розташування джерел теплоти в зоні різання

Загальна кількість теплоти, що виділяється під час різання в одиницю часу, визначається силою P_z та швидкістю V різання: $W=P_zV$ (Вт).

Схема розташування джерел теплоти в зоні різання представлена на рис. 1.1. У зоні різання виникають три основні джерела теплоти: теплота деформації J_∂ на площині зсуву N з інтенсивністю q_∂, теплота тертя між стружкою і передньою поверхнею інструменту J_1 з інтенсивністю q_{1T} і теплота тертя між задньою поверхнею інструменту і деталлю J_2 з інтенсивністю q_{2T}.

Температура в ріжучому лезі інструменту формується під впливом джерел на передній q_1 і задній q_2 поверхнях, щільність яких для приймається рівномірно розподіленою. Розрахунок щільності теплових джерел q_1 і q_2 з достатньою точністю може бути здійснений на підставі системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{q_1 l}{\lambda_u} M_1 + \frac{q_2 h}{\lambda_u} N_2 = I_1 q_\partial + 0.75 K_{c1} I_2 \sqrt{kl/h}\left(q_{1T} - 1{,}3 q_1\right); \\ \frac{q_2 h}{\lambda_u} M_2 + \frac{q_1 l}{\lambda_u} N_1 = I_1 q_\partial T_\partial + I_2\left(q_{2T} - 1{,}82 q_2\right) \end{cases}, \qquad (1.1)$$

де $I_1 = (1+c)\omega_\partial k b' / \lambda_\partial V$; $I_2 = 0.75 K_{c2} \sqrt{\omega_\partial h} / \lambda_\partial \sqrt{V}$; λ_∂, λ_u, ω_∂, ω_u – коефіцієнти теплопровідності (Вт/м·°С) і температуропровідності (м^2/с) матеріалів деталі й інструменту; l - довжина контактної площадки на передній поверхні леза; h - знос по задній поверхні леза; M_1, M_2, N_1, N_2 - безрозмірні функції, що визначають нагрів площадок на передній і задній поверхнях леза інструменту; c - коефіцієнт, що враховує підігрів шарів стружки за один оберт деталі; k - коефіцієнт усадки стружки; V – швидкість різання; T_∂ – безрозмірна функція розподілу температур деформації в деталі; b' - коефіцієнт відносної кількості теплоти, що йде в стружку.K_{c1}, K_{c2} – коефіцієнти, що враховує закон розподілу щільності теплових потоків на передній і задній поверхнях (для комбінованого закону K_{c1} = 0,77; для несиметричного нормального K_{c2} = 0,55).

Довжина контактної площі на передній поверхні леза:

$$l = 2a[k(1 - tg\gamma) + \sec\gamma],$$

де a - товщина зрізу: $a = s \cdot sin\varphi$; s - подача; φ - головний кут в плані; k - коефіцієнт усадки стружки; γ - передній кут.

Коефіцієнт, що враховує підігрів шарів стружки за один оберт деталі:

$$c = 0{,}23exp[-40(0{,}15 - \varphi_0)^2, \quad \text{при } 0{,}001 < \varphi_0 < 0{,}15,$$

де φ_0 - безрозмірний критерій: $\varphi_0 = 4{,}17 \cdot 10^{-9} na^2/\omega_\partial$; n – частота обертання.

Коефіцієнт відносної кількості теплоти, що йде в стружку:

$$b' = 1\Big/\left(1 + 1{,}5k\Big/\sqrt{Pe}\right);$$

Pe - безрозмірний критерій Пеклє: $Pe = 10^{-3} Va/60\omega_\partial \, sin\Phi$; Φ - кут зсуву:

$$\Phi = arcsin\left(cos\gamma \Big/ \sqrt{k^2 - 2k\,sin\gamma + 1}\right).$$

Безрозмірна функція розподілу температур деформації в деталі:

$$T_\partial = \sqrt{1 + l_2 tg\Phi/2a} - \sqrt{l_2 tg\Phi/2a}\,.$$

Щільність теплових потоків q_{1T}, q_{2T}, q_∂:

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

$$q_\partial = 10^6 Vsin\,\Psi\left[P_{Z0}\left(k - sin\,\gamma\right) - P_{N0}cos\,\gamma\right]\Big/60\,abk\,;$$

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

Безрозмірні функції, що визначають нагрів площадок на передній і задній поверхнях леза інструменту:

$$M_{1,2} = (4{,}88 + 2{,}64\eta_{1,2}^{0,5} \lg\eta_{1,2})\beta^{-0,85} \text{ при } \eta_{1,2} > 1,$$

$$N_{1,2} = (0{,}04 + 0{,}02\,\eta_{1,2}^{0,6} \lg\eta_{1,2})B(l_2/l_1) \text{ при } \eta_{1,2} > 1,$$

де $\eta_1 = b/l$, $\eta_2 = b/h$ - безрозмірна ширина зрізу; $\beta = 90° - \gamma - \alpha$ – кут загострення: α - задній кут леза; b – ширина зрізу: $b = t/sin\varphi$; $B(h/l)$, $B(l/h)$ – спеціальні функції.

Щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза:

$$q_1 = \frac{K_1K_3\lambda_u - K_2N_2h + K_1M_2h}{K_3K_4\lambda_u + M_2K_4h - N_1N_2lh/\lambda_u}; \; q_2 = \frac{\left(K_1 - K_4q_1\right)\lambda_u}{N_2h}, \qquad (1.2)$$

де $K_1 = \dfrac{(1+c)\omega_\partial kb'q_\partial}{\lambda_\partial V} + \dfrac{K_{c1}q_{1T}}{\lambda_\partial}\sqrt{\dfrac{\omega_\partial kl}{V}}$; $K_2 = \dfrac{(1+c)\omega_\partial kb'q_\partial T_u}{\lambda_\partial V} + \dfrac{K_{c2}q_{2T}}{\lambda_\partial}\sqrt{\dfrac{\omega_\partial h}{V}}$;

$K_3 = 1{,}82K_{c2}\sqrt{\omega_\partial h/V}\Big/\lambda_\partial$; $K_4 = 1{,}3K_{c1}\sqrt{\omega_\partial kl/V}\Big/\lambda_\partial + M_1 l/\lambda_u$.

Зміст та порядок виконання роботи

1. Вивчити закономірності формування теплових потоків в зоні різання під час точіння.

Визначити щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту для заданих умов обробки.

Таблиця 1.1 - Щільності теплових потоків в зоні різання

№ п/п	Режими різання				Щільності теплових потоків в зоні різання, вт/м^2				
	глибина t, мм	подача s, мм/об	швидкість v, м/с	знос по задній поверхні h, мм	в зоні тертя на передній поверхні q_{1T}	в зоні тертя на задній поверхні q_{2T}	в зоні деформації $q_д$	на передній поверхні леза q_1	на задній поверхні леза q_2

2. Визначити вплив зносу по задній поверхні h на щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту.

Побудувати графіки залежностей щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту від зносу по задній поверхні h для заданих умов чорнової та чистової токарної обробки.

3. Визначити вплив режимів різання на щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту.

Побудувати графіки залежностей щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту від режимів різання для заданих умов чорнової та чистової токарної обробки.

4. Виконати регресійний аналіз залежностей щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту від подачі та швидкості різання. Встановити характер та ступінь впливу подачі та швидкості різання на щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту.

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Мета роботи.
3. Результати комп’ютерного розрахунку щільності теплових потоків в зоні різання (табл. 1.1).
4. Графіки залежностей щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту від зносу по задній поверхні h.
5. Графіки залежностей щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту від режимів різання.
6. Встановлені регресійні залежності щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту від подачі та швидкості різання
7. Висновки

Лабораторна робота № 2

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ В ЛЕЗІ ІНСТРУМЕНТУ ПІД ЧАС ТОЧІННЯ

Мета роботи: встановити розподіл температур на передній і задній поверхнях леза інструменту для різних умов обробки

Основні теоретичні відомості

Тривимірні температурні поля, що виникають в лезі ріжучого інструменту під дією джерел, що діють на його передній і задній поверхнях, описуються таким чином:

$$\Theta_1(x,y,z)=\frac{K_\beta q_1}{4\pi\lambda_u}\int_0^l dx_u \int_{-0,5b}^{0,5b}\frac{dz_u}{\sqrt{(x-x_u)^2+y^2+(z-z_u)^2}}; \quad (2.1)$$

$$\Theta_2(x,y,z)=\frac{K_\beta q_2}{4\pi\lambda_u}\int_0^h dy_u \int_{-0,5b}^{0,5b}\frac{dz_u}{\sqrt{(z-z_u)^2+z^2+(y-y_u)^2}}, \quad (2.2)$$

де x, y, z – координати будь - якої точки тіла $M(x, y, z)$; x_u, y_u, z_u - координати місця спалаху джерела $J(x_u, y_u, z_u)$; λ_u - коефіцієнт теплопровідності інструментального матеріалу; K_β - коефіцієнт переходу від необмеженого простору до необмеженого клину: K_β = 4 для $\beta = 90°$; q_1 і q_2 - щільності теплових потоків на передній і задній поверхнях леза інструменту.

З використанням переходу до безрозмірних координат температурне поле в лезі інструменту може бути представлено в наступному вигляді:

$$\Theta(x,y,z)=P_1T_1(\psi,\eta,\zeta)+P_2T_2(\psi,\eta,\zeta), \quad (2.3)$$

де $P_1 = K_\beta\, q_1 l/4\pi\lambda_u$, $P_2 = K_\beta\, q_2 l/4\pi\lambda_u$ - розмірні коефіцієнти; $T_1(\psi,\eta,\zeta)$, $T_2(\psi,\eta,\zeta)$ - закони розподілу температур в безрозмірному вигляді:

$$T_1(\psi,\eta,\zeta)=\int_0^1 d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha}\frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\psi-\psi_u)^2+\eta^2+(\zeta-\zeta_u)^2}}; \quad (2.4)$$

$$T_2(\psi,\eta,\zeta)=\int_0^\chi d\eta_u \int_{-\alpha}^{\alpha}\frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\zeta-\zeta_u)^2+\psi^2+(\eta-\eta_u)^2}}, \quad (2.5)$$

де $\psi = x/l$, $\psi_u = x_u/l$, $\zeta = z/l$, $\zeta_u = z_u/l$, $\eta = y/l$ - безрозмірні координати; $\alpha = 0{,}5b/l$ – безрозмірна ширина зрізу; $\chi = h/l$ - безрозмірний знос по задній поверхні.

Розподіл безрозмірних температур на передній $T_1(\psi,\eta)$, $T_1(\eta,\zeta)$ і задній $T_2(\psi,\eta)$, $T_2(,\eta,\zeta)$ поверхнях леза (координата $\zeta = 0$), а також розподіл безрозмірних температур на передній $T_1(\psi)$, $T_1(\eta)$ і задній $T_2(\psi)$, $T_2(,\eta)$ поверхнях леза в напрямі, перпендикулярному до головної ріжучої кромки для кожного з двох даних джерел описуються наступним чином:

$$T_1(\psi,\zeta)=\int\limits_0^1 d\psi_u \int\limits_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\psi-\psi_u)^2+(\zeta-\zeta_u)^2}};\; T_1(\psi)=\int\limits_0^1 d\psi_u \int\limits_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\psi-\psi_u)^2+\zeta_u^2}};$$

$$T_1(\eta,\zeta)=\int\limits_0^1 d\psi_u \int\limits_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\zeta-\zeta_u)^2+\eta^2+\psi_u^2}};\; T_1(\eta)=\int\limits_0^1 d\psi_u \int\limits_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{\psi_u^2+\eta^2+\zeta_u^2}};$$

$$T_2(\psi,\zeta)=\int\limits_0^{\chi} d\eta_u \int\limits_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\zeta-\zeta_u)^2+\psi^2+\eta_u^2}};\; T_2(\psi)=\int\limits_0^{\chi} d\eta_u \int\limits_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{\zeta_u^2+\psi^2+\eta_u^2}};$$

$$T_2(\eta,\zeta)=\int\limits_0^{\chi} d\eta_u \int\limits_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\zeta-\zeta_u)^2+(\eta-\eta_u)^2}};\; T_2(\eta)=\int\limits_0^{\chi} d\eta_u \int\limits_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{\zeta_u^2+(\eta-\eta_u)^2}}.$$

На рис. 2.1 представлені розподіли безрозмірних температур на передній і задній поверхнях леза інструменту, що виникають під впливом двох різних джерел теплоти (передбачається, що $\chi = 1$, $\alpha = 1$).

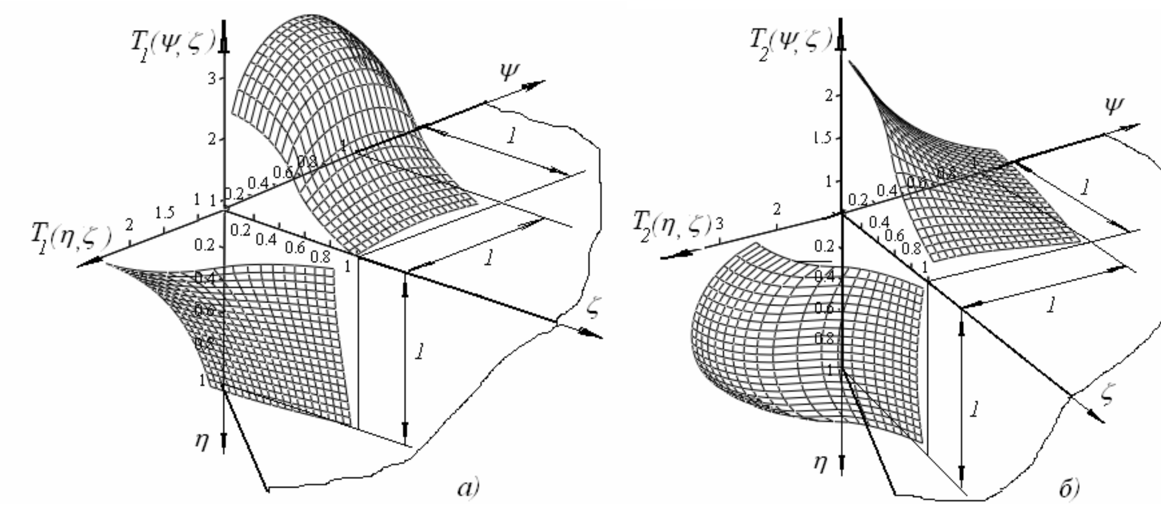

Рисунок 2.1 - Розподіли безрозмірних температур на передній і задній поверхнях леза інструменту, що виникають під впливом джерел теплоти, що діють на його передній - *а*) і задній - *б)* поверхнях

Безрозмірна температура на вершині леза під час обробки гостро заточеним інструментом, коли тепловий потік на задній поверхні відсутній $q_2 = 0$, температура на вершині $T(0,0)$, може бути визначена наступним чином:

$$T_{вер}(0,0)=\ln\left|(\sqrt{1+\eta^2}+\eta)\big/(\sqrt{1+\eta^2}-\eta)\right|+2\eta\ln\left|\eta\big/(\sqrt{1+\eta^2}-1)\right|. \qquad (2.6)$$

Максимальна безрозмірна температура на передній поверхні $T(0.5,0)$ має місце в точці з координатами $\psi = 0{,}5$; $\zeta = 0$ і може бути визначена

$$T_{\max}=\ln\left|\eta+\sqrt{0{,}25+\eta^2}\big/\sqrt{0{,}25+\eta^2}-\eta\right|+2\eta\ln\left|\sqrt{0.25+\eta^2}+0.5\big/\sqrt{0.25+\eta^2}-0.5\right|. \qquad (2.7)$$

Фактичні температури: $\Theta_{вер}=P_1T_{вер}$; $\Theta_{\max}=P_1T_{\max}$.

Зміст та порядок виконання роботи

1. Вивчити закономірності формування температурних полів в лезі інструменту під час точіння. Визначити безрозмірні температурні поля на його передній і задній поверхнях, а також в перетині леза, перпендикулярному до головної ріжучої кромки.

2. Визначити розподіл безрозмірних температур на передній поверхні леза інструменту для заданих параметрів обробки.

Побудувати графіки розподілу безрозмірних температур на передній поверхні леза.

3. Визначити вплив властивостей інструментальних матеріалів на розподіл температур на передній поверхні леза інструменту.

Побудувати графіки розподілу температур на передній поверхні леза інструмента під час точіння для різних інструментальних матеріалів з урахуванням коефіцієнта теплопровідності.

4. Визначити максимальну температуру на передній поверхні леза та температуру на його вершині для різних інструментальних матеріалів і заданих умов обробки.

Таблиця 2.1 - Максимальна температура на передній поверхні леза та температура на його вершині для різних інструментальних матеріалів

№ п/п	Інструмент		Режими різання			Щільність теплового потоку q_1, вт/м^2	Розмірний коефіцієнт P_1	Температури леза, ^oC	
	марка матеріалу	коефіцієнт λ_u, вт/м^{o}С	глибина t, мм	подача s, мм/об	швидкість v, м/с			максимальна Θ_{max}	на вершині леза $\Theta_{вер}$

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Мета роботи.
3. Графіки безрозмірних температурних полів на передній і задній поверхнях леза інструменту, а також в перетині леза, перпендикулярному до головної ріжучої кромки.
4. Графіки розподілу безрозмірних температур на передній поверхні леза інструменту.
5. Графіки розподілу температур на передній поверхні леза інструмента для різних інструментальних матеріалів.
6. Результати комп’ютерного розрахунку максимальної температури леза та температури на його вершині (табл. 2.1).
7. Висновки.

Лабораторна робота № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ РІЗАННЯ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПАРАМЕТРІВ ОБРОБКИ ПІД ЧАС ТОЧІННЯ

Мета роботи: встановити характер та ступінь впливу режимів різання та зносу по задній поверхні леза на температуру різання для різних умов обробки

Основні теоретичні відомості

Температура різання - середня температура леза інструменту при відомих середніх температурах на передній $\Theta_{ср\ пер}$ і задній $\Theta_{ср\ зад}$ поверхнях дорівнює:

$$\Theta_P = \left(\Theta_{ср\ \ пер} l + \Theta_{ср\ \ зад} h\right) \Big/ (l + h). \tag{3.1}$$

Середні температури леза, що виникають під впливом кожного з двох джерел, що діють по передній і задній поверхнях:

$$\Theta_{1ср} = P_1 \left(\int_0^1 T_1(\psi) d\psi + \int_0^\chi T_1(\eta) d\eta \right) \Big/ (1+\chi) = P_1 T_{1ср}; \tag{3.2}$$

$$\Theta_{2ср} = P_2 \left(\int_0^1 T_2(\psi) d\psi + \int_0^\chi T_2(\eta) d\eta \right) \Big/ (1+\chi) = P_2 T_{2ср}, \tag{3.3}$$

де $\psi = x/l$, $\psi_u = x_u/l$, $\zeta = z/l$, $\zeta_u = z_u/l$, $\eta = y/l$ - безрозмірні координати; $\alpha = 0{,}5b/l$ – безрозмірна ширина зрізу; $\chi = h/l$ - безрозмірний знос по задній поверхні; $T_{1ср}$ и $T_{2ср}$ - середні безрозмірні температури, на передній і задній поверхнях леза:

$$T_{1ср} = \frac{1}{(1+\chi)} \left[\int_0^1 d\psi \int_0^1 d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\psi - \psi_u)^2 + \zeta_u^2}} + \int_0^\chi d\eta \int_0^1 d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{\psi_u^2 + \eta^2 + \zeta_u^2}} \right];$$

$$T_{2ср} = \frac{1}{(1+\chi)} \left[\int_0^1 d\psi \int_0^\chi d\eta_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{\zeta_u^2 + \psi^2 + \eta_u^2}} + \int_0^\chi d\eta \int_0^\chi d\eta_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{\zeta_u^2 + (\eta - \eta_u)^2}} \right].$$

Температура різання залежно від режимів обробки розраховується як сумарна середня на передній і задній поверхнях леза інструменту з урахуванням одночасної дії двох джерел:

$$\Theta_P(V,S) = \frac{K_\beta l(V,S)}{4\pi\lambda_u} \left[q_1(V,S) T_{1ср}(V,S) + q_2(V,S) T_{2ср}(V,S) \right]. \tag{3.4}$$

Для спрощення розрахунків температури різання можливо використання наступної залежності:

$$\Theta_P = \left[(q_1 l M_1 + q_2 h N_2) l_1 + (q_2 h M_2 + q_1 l N_1) l_1 \right] / \lambda_u (l + h). \tag{3.5}$$

Зміст та порядок виконання роботи

1. Визначити вплив зносу по задній поверхні *h* на середню температуру передньої $\Theta_{ср\ пер}$ і задньої $\Theta_{ср\ зад}$ поверхонь леза інструменту, а також на температуру різання Θ_P для заданих умов токарної обробки.

Побудувати графіки залежностей температури від зносу по задній поверхні *h* для заданих умов токарної обробки.

2. З використанням множинного регресійного аналізу встановити характер та ступінь впливу подачі та швидкості на температуру різання $\Theta(V,S)$ під час токарної обробки конструкційної сталі твердосплавними різцями.

3. З використанням множинного регресійного аналізу встановити характер та ступінь впливу подачі та швидкості на температуру різання $\Theta(V,S)$ під час тонкої токарної обробки чавуну різцями з кібориту.

4. Виконати порівняння встановлених регресійних залежностей $\Theta(V,S)$ з відомими емпіричними формулами для розрахунку температур різання , а також з результатами відомих експериментальних досліджень. Визначити максимальну помилку розрахунків.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку температури різання для різних умов обробки

№ п/п	Оброблюваний матеріал		Режими різання			Щільності теплового потоку, вт/м^2		Розмірний коефіцієнт P_1	Регресійна залежність температури різання від режимів $\Theta_P(v,s)$, ^oC
	марка матеріалу	міцність σ, Мпа (твердість)	глибина *t*, мм	подача *s*, мм/об	швидкість *v*, м/с	на передній поверхні леза q_1	на задній поверхні леза q_2		

Зміст звіту

1. Найменування роботи.

2. Мета роботи.

2. Графіки залежностей температури від зносу по задній поверхні *h* для заданих умов обробки.

3. Результати комп’ютерного розрахунку та встановлені регресійні залежності температури різання від режимів різання для різних умов обробки: різних оброблюваних та інструментальних матеріалів (табл. 3.1).

4. Графіки експериментальних залежностей температури від подачі та швидкості різання та результати порівняння встановлених регресійних залежностей $\Theta(V,S)$ з результатами відомих експериментальних досліджень.

5. Висновки.

Лабораторна робота № 4

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ ТА ТЕМПЕРАТУР В ЗОНІ ОБРОБКИ ПІД ЧАС НЕСТАЦІОНАРНОГО ТА УРИВЧАСТОГО РІЗАННЯ

Мета роботи: встановити вплив часу роботи інструмента на теплові потоки та температури в зоні обробки під час нестаціонарного та уривчастого різання

Основні теоретичні відомості

Щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту за умов нестаціонарного різання визначаються аналогічно з умовами стаціонарного:

$$q_1 = \frac{K_1 K_3 \lambda_u - K_2 N_2 h + K_1 M_2 h}{K_3 K_4 \lambda_u + M_2 K_4 h - N_1 N_2 lh/\lambda_u};\ q_2 = \frac{(K_1 - K_4 q_1)\lambda_u}{N_2 h}, \qquad (4.1)$$

де $K_1 = \frac{(1+c)\omega_\partial kb' q_\partial}{\lambda_\partial V} + \frac{K_{c1} q_{1T}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial kl}{V}}$; $K_2 = \frac{(1+c)\omega_\partial kb' q_\partial T_u}{\lambda_\partial V} + \frac{K_{c2} q_{2T}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial h}{V}}$;

$K_3 = 1{,}82 K_{c2}\sqrt{\omega_\partial h/V}\big/\lambda_\partial$; $K_4 = 1{,}3 K_{c1}\sqrt{\omega_\partial kl/V}\big/\lambda_\partial + M_1 l/\lambda_u$.

Виняток складає розрахунок безрозмірних функцій M_1, M_2, N_1, N_2, в які вводиться спеціальна безрозмірна функція $m(F_o)$, що враховує зміни температур за умов нестаціонарного різання ($F_o = \omega_u \tau / l^2$ - безрозмірний критерій часу):

$$M_{1,2} = (4{,}88 + 2{,}64\eta_{1,2}^{0,5}\lg\eta_{1,2})\beta^{-0,85} m(Fo);\ N_{1,2} = (0{,}04 + 0{,}02\,\eta_{1,2}^{0,6}\lg\eta_{1,2}) B_{1,2}(h/l)\, m(Fo),$$

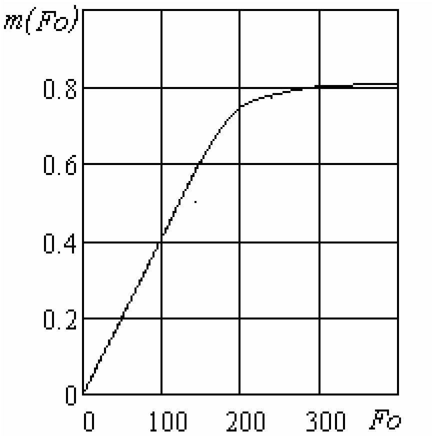

Рисунок 4.1 - Графік функції зміни температур за умов нестаціонарного різання

Графік функції зміни температур за умов нестаціонарного різання $m(F_o)$ в залежності від безрозмірного часу F_o представлений на рис. 4.1.

Для практичного використання доцільно використовувати аналітичний опис цієї функції:

$$m(F_o) = \begin{cases} 4\cdot 10^{-3} F_o, & \text{якщо } F_o \le 150; \\ 0{,}12 F_o^{0,33}, & \text{якщо } 150 \le F_o \le 300; \\ 4{,}3\cdot 10^{-5} F_o + 0{,}8, & \text{якщо } F_o \ge 300. \end{cases}$$

Температурне поле, що виникає в лезі ріжучого інструменту за умов нестаціонарного різання під час несталого теплообміну, описується наступним чином:

$$\Theta(x, y, z, \tau) = P_o T(\psi, \eta, \zeta, F_o), \qquad (5.1)$$

де $P_o = K_\beta\, ql/4\pi\lambda$ - розмірний коефіцієнт; $T(\psi, \eta, \zeta, F_o)$ - закон розподілу температур у безрозмірному вигляді:

$$T(\psi,\eta,\zeta,F_o)=\int_0^1 d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{\left(1-erf\left[\sqrt{(\psi-\psi_u)^2+\eta^2+(\zeta-\zeta_u)^2} \Big/ 2\sqrt{F_o}\right]\right)}{\sqrt{(\psi-\psi_u)^2+\eta^2+(\zeta-\zeta_u)^2}} d\zeta_u ,$$

де $erf[u]=\left(2/\sqrt{\pi}\right)\int_0^u e^{-u^2}du$ – модифікована функція інтегралу вірогідності.

Безрозмірна температура вершини леза (при $\psi = 0$, $\zeta = 0$, $\eta = 0$):

$$T(F_o)=\int_0^1 d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha}\left[\left(1-erf\left[\sqrt{\psi_u^2+\zeta_u^u} \Big/ 2\sqrt{F_o}\right]\right)\Big/\sqrt{\psi_u^2+\zeta_u^2}\right] d\zeta_u . \qquad (5.2)$$

Уривчасте різання характеризується наявністю робочих ходів тривалістю t_p, коли відбувається нагрів інструменту, який описується наведеними аналітичними залежностями, та холостих ходів тривалістю t_p, коли у відсутності нагріву відбувається охолодження ріжучих кромок за рахунок відведення тепла із зони різання у глиб леза. Процес охолодження описується наступним чином:

$$\Theta_o(x,y,z,\tau)=P_o T_o(\psi,\eta,\zeta,\infty)exp[-0.04F_o], \qquad (5.3)$$

де $T_o(\psi,\zeta,\eta,\infty)$ - безрозмірна температура під час сталого теплообміну.

Під час уривчастого різання, циклічний процес зміни безрозмірної температури вершини леза інструменту має наступний аналітичний опис:

$$T_ц(\tau)=\begin{cases} T_{нi}(\tau), якщо \quad t_ц(i-1)\le\tau\le\left(t_p+t_ц i\right), \quad i=1{,}2.....n; \\ T_{oi}(\tau), якщо \quad \left(t_p+t_ц(i-1)\right)\le\tau\le t_ц i. \end{cases}$$

$$T_{нi}(\tau)=\int_0^1 d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{\left(1-erf\left[\sqrt{\psi_u^2+\zeta_u^u} \Big/ 2\sqrt{\omega_o\left(\tau-\left(t_p+\Delta t_{i-1}\right)\right)}\right]\right)}{\sqrt{\psi_u^2+\zeta_u^2}} d\zeta_u ;$$

$$T_{oi}(\tau)=T_{нi}(t_p+\Delta t_{i-1})exp\left[-0.04\omega_o\left(\tau-t_p\right)\right] \ ; \ \Delta t_{i-1}=0 ,$$

де $\omega_o = \omega/l^2$; $t_ц$ - тривалість циклу: $t_ц = t_p + t_x$; $\Delta\tau_i$ - період часу, що коректує початок відліку температури нагріву $T_{н(i+1)}(t_p+t_ц i+\Delta\tau_i)$ в кожному наступному циклі з обліком охолодження в попередньому $T_{oi}\,(t_ц i)$.

Для кожного циклу $\Delta\tau_i = x_i$ розраховується чисельно як корінь рівняння:

$$\int_0^1 d\psi_u \int_{-\alpha}^{\alpha}\left[\left(1-erf\left[\sqrt{\psi_u^2+\zeta_u^u} \Big/ 2\sqrt{\omega_o\left(t_p+x_i\right)}\right]\right)\Big/\sqrt{\psi_u^2+\zeta_u^2}\right] d\zeta_u .$$
$$=T_{нi}(t_p+\Delta t_{i-1})exp\left[-0.04\omega_o\left(\tau_h\right)\right]$$

Зміст та порядок виконання роботи

1. Вивчити закономірності формування температурних полів в лезі інструменту за умов нестаціонарного різання під час несталого теплообміну.

Побудувати графіки залежностей щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту від безрозмірного часу F_o для різних значень зносу по задній поверхні *h*.

2. Визначити розподіл безрозмірних температур в залежності від часу на вершині леза інструменту для заданих параметрів обробки.

Побудувати графіки залежності безрозмірних температур $T(F_o)$ на вершині леза інструменту від безрозмірного часу F_o.

3. Вивчити циклічний процес зміни безрозмірної температури $T_ц(\tau)$ вершини леза інструменту в часі τ $T_ц(\tau)$ під час уривчастого різання.

Побудувати графіки залежності циклічних безрозмірних температур $T_ц(\tau)$ від часу τ для заданих умов уривчастого різання – стругання.

4. Визначити коефіцієнти зниження рівня температур при уривчастому різанні в порівнянні з безперервним K_T для різних співвідношень робочих і холостих ходів:

$$K_T = T_{Цср} / T(\infty),$$

де $T_{Цср}$ - середній рівень температури, досягнутої при сталому уривчастому різанні; $T(\infty)$ - середній рівень температури при безперервному різанні (враховуючи, що при $F_o \geq 100$ процес різання вважається сталим, вважаємо $T_o(\infty) \cong T(100) \cong 3{,}5$).

Побудувати графіки коефіцієнтів зниження рівня температур K_T для різних співвідношень робочих і холостих ходів.

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Мета роботи.
3. Графіки залежностей щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту від безрозмірного часу F_o для різних значень зносу по задній поверхні *h*.
4. Графіки залежності безрозмірних температур $T(F_o)$ на вершині леза інструменту від безрозмірного часу F_o.
5. Графіки залежності циклічних безрозмірних температур $T_ц(\tau)$ від часу τ для заданих умов уривчастого різання – стругання.
6. Результати комп’ютерного розрахунку коефіцієнтів зниження рівня температур при уривчастому різанні в порівнянні з безперервним K_T та графіки залежності коефіцієнтів зниження рівня температур K_T від співвідношень робочих і холостих ходів.
7. Висновки.

Лабораторна робота № 5

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТЕПЛОВІДДАЧІ ДЛЯ РІЗНИХ СПОСОБІВ ПОДАЧІ ОХОЛОДЖУЮЧИХ СЕРЕДОВИЩ В ЗОНУ РІЗАННЯ

Мета роботи: встановити вплив способів подачі охолоджуючих середовищ в зону різання на коефіцієнти тепловіддачі при конвективному теплообміні

Основні теоретичні відомості

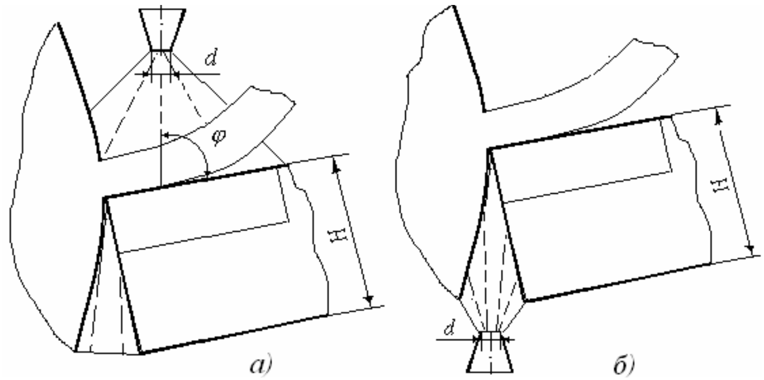

Рисунок 5.1 - Схеми подачі МОР в зону різання вільно падаючим струменем рідини –*а*) та напірним струменем – *б*)

Для охолодження інструмента переважно використовуються мастильні охолоджуючі технологічні середовища на основі водяних розчинів (3% - 5% емульсол) (МОТС), які мають теплофізичні властивості, близькі до властивостей води.

Основні способи подачі МОТС у зону різання:

- вільно падаючим струменем рідини, при якому струмінь направляється як на стружку, так і на інструмент з боку передньої поверхні (рис.5.1*а*);

- напірним струменем, при якому рідина тонким струменем з тиском до 2МПа подається в зону контакту інструмента з оброблюваною деталлю з боку задньої поверхні (рис. 5.1*б*)

Під час подачі МОТС вільним поливом, критеріальне рівняння Nu_o й визначений на його підставі коефіцієнт тепловіддачі α наступні:

$$Nu_o = 0{,}28 Re_o^{0,6}\, Pr_o^{0,36} (Pr_o/Pr_S)^{0,25};\ \alpha_{полив} = 1{,}9 \cdot 10^3 w^{0.6} \big/ l^{0.4}, \qquad (5.1)$$

де $Nu_o = \alpha l/\lambda$ - критерій Нуссельта; $Re_o = wl/\nu$ - критерій Рейнольдса; $Pr = \nu/\omega$ – критерій Прандтля; α - коефіцієнт тепловіддачі; w - швидкість потоку; ν- кінематичний коефіцієнт в’язкості середовища; ω - коефіцієнт температуропровідності; λ - коефіцієнт теплопровідності; $l = BH/2(B+H)$ - характерний розмір, що при умовах поперечного обтікання тіла рідиною визначається як еквівалентний діаметр із урахуванням розмірів державки інструмента *B* и *H*.

Під час подачі МОР напірним струменем критеріальне рівняння та визначений на його підставі коефіцієнт тепловіддачі наступні:

$$Nu_o = 0{,}021 Re_o^{0,8}\, Pr_o^{0,43} (Pr_o/Pr_S)^{0,25};\ \alpha_{напір} = 2{,}6 \cdot 10^3 w^{0.8} \big/ l^{0.2}, \qquad (5.2)$$

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

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

$$\alpha_{полив} = 1{,}2\cdot 10^4 R^{0.6} \big/ l^{0.4} d^{1.2};\ \alpha_{напір} = 3\cdot 10^4 R^{0.8} \big/ l^{0.2} d^{1.6}. \qquad (5.3)$$

У зв'язку з тим, що при різанні на поверхнях леза інструмента в процесі обробки виникають значно вищі температури, ніж 100°С, необхідно враховувати особливості теплообміну при зміні агрегатного стану рідини - кипінні:

$$\alpha_к \approx 170(\Theta_S - 100)^{1,86} \text{ при } \Theta_S < 120°С;$$
$$\alpha_к = 3{,}33\cdot 10^6 (\Theta_S - 100)^{-1,43} \text{ при } \Theta_S \geq 120°С. \qquad (5.4)$$

Наведений коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{пр}$, що враховує загальний вплив кипіння й конвективного теплообміну при подачі охолоджуючого середовища вільно падаючим струменем, визначається в такий спосіб:

$$\alpha_{прI} \approx \alpha_к \text{ при } \alpha_к/\alpha_{полив} \geq 2;$$
$$\alpha_{прII} = \alpha_{полив}\left[(4\alpha_{полив} + \alpha_к)/(5\alpha_{полив} - \alpha_к)\right] \text{ при } 0{,}5 \leq \alpha_к/\alpha_{полив} \leq 2; \qquad (5.5)$$
$$\alpha_{прIII} \approx \alpha_{політ.} \text{ при } \alpha_к/\alpha_{полив} \leq 0{,}5.$$

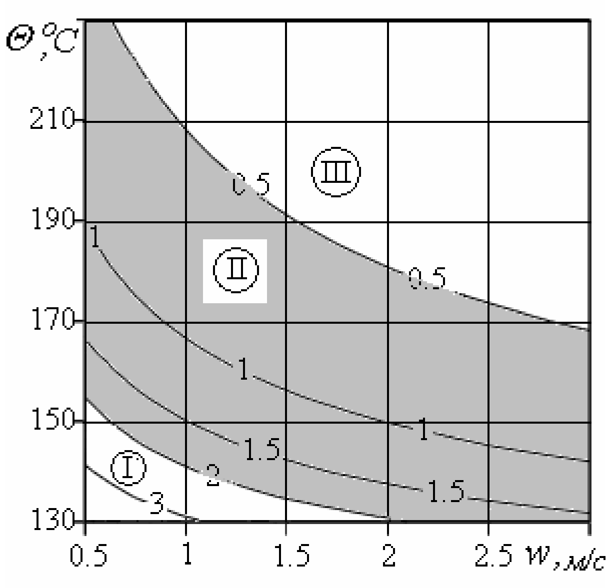

Рисунок 5.2 - Графіки залежності відношення $\alpha_к/\alpha_{полив}$ від швидкості потоку рідини w та температури поверхні Θ

Графіки залежностей відношення $\alpha_к/\alpha_{полив}$ від швидкості потоку рідини w и температури поверхні Θ у вигляді ліній рівня, на яких вказані чисельні значення цього відношення, представлені на рис. 5.2. Аналіз цих залежностей дозволяє встановити області швидкості потоку рідини w і температури поверхні Θ, для яких розраховується наведений коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{пр}$.

У зоні I низьких швидкостей і температур (нижче лінії $\alpha_к/\alpha_{полив} = 2$) наведений коефіцієнт $\alpha_{прI}$ визначається лише умовами кипіння. У зоні II має місце сумісний вплив умов кипіння й конвективного теплообміну на коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{прII}$.

У зоні III високих швидкостей і температур (вище лінії $\alpha_к/\alpha_{полив} = 0{,}5$) приведений коефіцієнт $\alpha_{прIII}$ не залежить від умов кипіння, а визначається лише умовами конвективного теплообміну. Тому при подачі МОР напірним струменем коефіцієнт тепловіддачі практично не залежить від температури й на нього не впливає зміна агрегатного стану охолоджувальної рідини - кипіння.

Зміст та порядок виконання роботи

1. Вивчити закономірності охолодження зони різання для різних способів подачи МОР у зону різання - вільним поливом та напірним струменем.

2. Визначити коефіцієнти тепловіддачі $\alpha_{полив}$ під час подачі МОР вільним поливом.

Побудувати графіки залежності приведеного коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_{пр}$ з урахуванням зміні агрегатного стану рідини (кипіння) від температури поверхні Θ та швидкості потоку рідини w.

3. Визначити коефіцієнти тепловіддачі $\alpha_{напір}$ під час подачі МОР напірним струменем.

Побудувати графіки залежності коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_{напір}$ від швидкості потоку рідини w.

4. Визначити коефіцієнти тепловіддачі $\alpha_{полив}$ та $\alpha_{напір}$ під час подачі МОР вільним поливом та напірним струменем в залежності від умов подачі охолоджуючої рідини.

Побудувати графіки залежності коефіцієнтів тепловіддачі $\alpha_{полив}$ та $\alpha_{напір}$ від витрат рідини R та діаметра насадка d, з якого вона витікає.

5. Виконати порівняння коефіцієнтів тепловіддачі $\alpha_{полив}$ та $\alpha_{напір}$ для різних способів подачи МОР у зону різання - вільним поливом та напірним струменем та визначити раціональні умови використання кожного з них.

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Мета роботи.
3. Графіки залежності приведеного коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_{пр}$ від температури поверхні Θ та швидкості потоку рідини w під час подачі МОР вільним поливом з урахуванням зміні агрегатного стану рідини.
4. Графіки залежності коефіцієнта тепловіддачі $\alpha_{напір}$ від швидкості потоку рідини w під час подачі МОР напірним струменем.
5. Графіки залежності коефіцієнтів тепловіддачі $\alpha_{полив}$ та $\alpha_{напір}$ від витрат рідини R та діаметра насадка d, з якого вона витікає, під час подачі МОР вільним поливом та напірним струменем
6. Висновки.

Лабораторна робота № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ ТА ТЕМПЕРАТУР РІЗАННЯ ПІД ЧАС ОБРОБКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ОХОЛОДЖУЮЧИХ СЕРЕДОВИЩ

Мета роботи: встановити вплив коефіцієнтів тепловіддачі на теплові потоки та температури різання під час обробки з використанням МОТС

Основні теоретичні відомості

Для обліку дії МОТС з вільним поливом в зону різання лезовим інструментом використовується вже розглянута раніше схема розташування джерел теплоти (рис.1.1), в яку додатково введені потоки МОТС, що подаються в зону обробки з боку передньої поверхні.

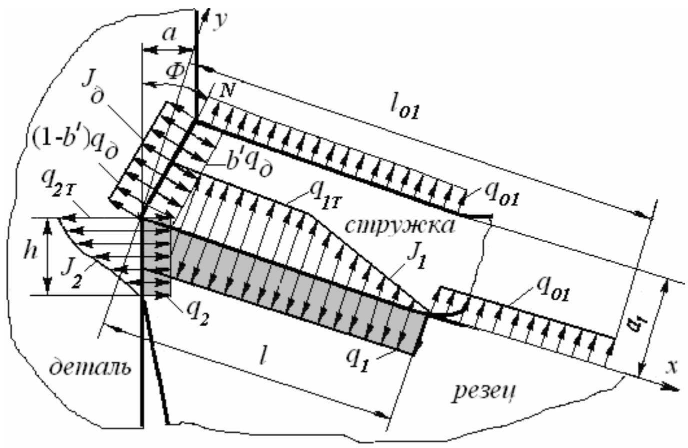

Рисунок 6.1 - Схема розташування джерел теплоти в зоні різання з подачею МОТС вільним поливом з боку передньої поверхні

Під час подачі МОТС вільним поливом (рис.6.1) утворюється стік теплоти з рівномірним в зоні $l_{o1}xl_{o1}$ розподілом щільності тепловиділення q_{o1}:

$$q_{o1} = \alpha_{o1}\Theta_{cp1} = \alpha_{o1} m_{o1}\Theta_1, \quad (6.1)$$

де $\alpha_{o1} = \alpha_{полив}$ - коефіцієнт тепловіддачі на передній поверхні; Θ_{cp1} – середня температура на контактній поверхні інструменту з обліком МОТС; Θ_1 - середня температура на передній поверхні леза; $m_{o1} = c_1^{-0,86}$, $c_1 = 2l_{o1}/(b+l)$ – безрозмірні параметри, що співставляють розміри зон з розмірами контактних зон на передній поверхні.

Щільність теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту, визначаються з системи рівнянь:

$$\begin{cases} p_1\left(\dfrac{M_1 l}{\lambda_u}q_1 + \dfrac{N_2 h}{\lambda_u}q_2\right) = I_1 q_\partial + 0.75K_{c1}I_2\sqrt{kl/h}\left(q_{1T} - 1{,}3q_1\right); \\ \dfrac{(M_2 - p_2N_2)h}{\lambda_u}q_2 + \dfrac{(N_1 - p_2M_1)l}{\lambda_u}q_1 = I_1 q_\partial T_\partial + I_2\left(q_{2T} - 1{,}82q_2\right), \end{cases} \quad (6.2)$$

де $p_1 = \dfrac{\lambda_u}{\lambda_u + \alpha_{o1}m_{o1}(l_{o1}M_o - lM_1)}$; $p_2 = \dfrac{\alpha_{o1}m_{o1}(l_{o1}N_o - lN_1)}{\lambda_u + \alpha_{o1}m_{o1}(l_{o1}M_o - lM_1)}$;

$I_1 = (1+c)\omega_\partial kb'/\lambda_\partial V$; $I_2 = 0.75K_{c2}\sqrt{\omega_\partial h}/\lambda_\partial\sqrt{V}$, $M_o = 4{,}88\beta^{-0,85}$, $N_o = 0{,}04B(l_2/l_1)$ - безрозмірні функції, що визначають зони на передній поверхні під дією МОСТ.

Щільність рівномірно розподілених теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту під час подачі МОТС вільним поливом:

$$q_{1полив}=\frac{K_1K_3\lambda_u-K_2N_2hp_1+K_1(M_2-p_2N_2)h}{K_3K_5\lambda_u+(M_2-p_2N_2)K_5h-N_1N_2lh/\lambda_u};\ q_{2полив}=\frac{(K_1-K_5q_{11})\lambda_u}{N_2hp_1},\quad(6.3)$$

де $K_1=\frac{(1+c)\omega_\partial kb'q_\partial}{\lambda_\partial V}+\frac{K_{c1}q_{1T}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial kl}{V}}$; $\qquad K_2=\frac{(1+c)\omega_\partial kb'q_\partial T_u}{\lambda_\partial V}+\frac{K_{c2}q_{2T}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial h}{V}}$:

$K_3=\frac{1{,}82K_{c2}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial h}{V}}$; $K_5=\frac{1{,}3K_{c1}}{\lambda_\partial}\sqrt{\frac{\omega_\partial kl}{V}}+\frac{M_1lp_1}{\lambda_u}$.

Середні температури на передній Θ_{11} и задній Θ_{12} поверхнях леза під час подачі МОТС вільним поливом можуть бути визначені наступним чином:

$$\Theta_{11}=p_1\left(\frac{M_1l}{\lambda_u}q_1+\frac{N_2h}{\lambda_u}q_2\right);\ \Theta_{21}=\frac{(M_2-p_2N_2)h}{\lambda_u}q_2+\frac{(N_1-p_2M_1)l}{\lambda_u}q_1.\quad(6.4)$$

Температура різання з обліком подачі МОТС вільним поливом:

$$\Theta_{Рполив}=(\Theta_{11}l+\Theta_{21}h)/(l+h).\quad(6.5)$$

Для обліку дії МОТС з напірним струменем в зону різання лезовим інструментом використовується вже розглянута раніше схема розташування джерел теплоти (рис.1.1), в яку додатково введені потоки МОТС, що подаються в зону обробки з боку задньої поверхні.

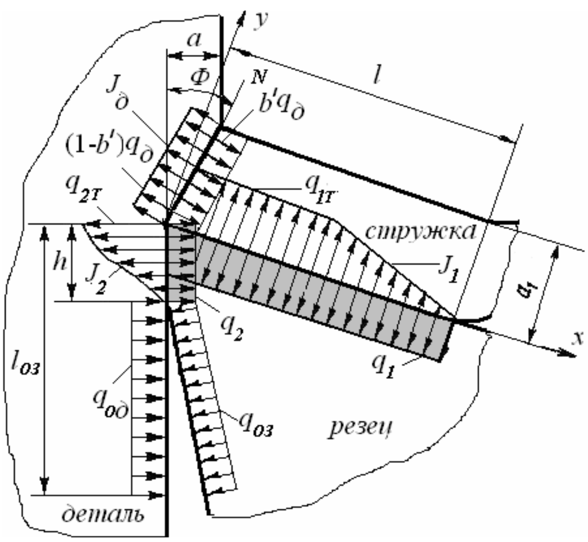

Рисунок 6.2 - Схема розташування джерел теплоти в зоні різання з подачею МОТС напірним струменем з боку задньої поверхні

Під час подачі МОТС напірним струменем (рис.6.2) утворюється стік теплоти з рівномірним в зоні $l_{оз}xl_{оз}$ розподілом щільності тепловиділення $q_{о2}$:

$$q_{o2}=\alpha_{o2}\Theta_{ср2}=\alpha_{o2}m_{o2}\Theta_2,\quad(6.5)$$

де $\alpha_{о1}=\alpha_{полив}$ - коефіцієнт тепловіддачі на передній поверхні; $\Theta_{ср2}$ – середня температура на поверхні контакту інструменту з обліком МОТС; Θ_2 - середня температура на передній поверхні леза; ; $m_{o2}=\rho_2^{-0{,}86}$, $\rho_2=2l_{o2}/(b+l)$ - безрозмірні параметри, що співставляють розміри зон охолодження з розмірами контактних зон на задній поверхні.

Щільність теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту, визначаються з системи рівнянь:

$$\begin{cases} \dfrac{(M_1 - p_4 N_1) l}{\lambda_u} q_1 + \dfrac{(N_2 - p_4 M_2) h}{\lambda_u} = I_1 q_\partial + 0.75 K_{c1} I_2 \sqrt{kl/h} (q_{TП} - 1{,}3 q_1); \\ p_3 \left(\dfrac{M_2 h}{\lambda_u} q_2 + \dfrac{N_2 l}{\lambda_u} q_1 \right) = I_1 q_\partial T_\partial + I_2 (q_{T3} - 1{,}82 q_2), \end{cases} \quad (6.6)$$

де $p_3 = \dfrac{\lambda_u}{\lambda_u + \alpha_{o2} m_{o2} (l_{o2} M_o - h M_1)}$; $p_4 = \dfrac{\alpha_{o2} m_{o2} (l_{o2} N_o - h N_1)}{\lambda_u + \alpha_{o2} m_{o2} (l_{o2} M_o - h M_1)}$.

Щільність рівномірно розподілених теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту під час подачі МОТС напірним струменем:

$$q_{1напір} = \frac{K_1 K_3 \lambda_u - K_2 (N_2 - p_4 M_2) h + K_1 M_2 h p_3}{K_3 K_6 \lambda_u + M_2 K_6 h p_3 - N_1 (N_2 - p_4 M_2) lh/\lambda_u}; \; q_{2напір} = \frac{(K_1 - K_6 q_{12}) \lambda_u}{(N_2 - p_4 M_2) h}, \quad (6.7)$$

де $K_6 = \dfrac{1{,}3 K_{c1}}{\lambda_\partial} \sqrt{\dfrac{\omega_\partial kl}{V}} + \dfrac{(M_1 - p_4 N_1)\ l}{\lambda_u}$

Середні температури на передній Θ_{12} и задній Θ_{22} поверхнях леза під час подачі МОТС напірним струменем можуть бути визначені наступним чином:

$$\Theta_{12} = \frac{(M_1 - p_4 N_1) l}{\lambda_u} q_1 + \frac{(N_2 - p_4 M_2) h}{\lambda_u} q_2; \; \Theta_{22} = p_3 \left(\frac{M_2 h}{\lambda_u} q_2 + \frac{N_2 l}{\lambda_u} q_1 \right), \quad (6.8)$$

Температура різання з обліком подачі МОТС напірним струменем:

$$\Theta_{Pнапір} = (\Theta_{12} l + \Theta_{22} h)/(l + h). \quad (6.9)$$

Щільність рівномірно розподілених теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту під час обробки без використання МОТС (1.2) є окремим випадком здобутих рішень (6.3) та (6.7) при $\alpha_{o1} = 0$ і $\alpha_{o2} = 0$:

$$q_1 = \frac{K_1 K_3 \lambda_u - K_2 N_2 h + K_1 M_2 h}{K_3 K_4 \lambda_u + M_2 K_4 h - N_1 N_2 lh/\lambda_u}; \; q_2 = \frac{(K_1 - K_4 q_1) \lambda_u}{N_2 h}, \quad (6.9)$$

де. $K_4 = 1{,}3 K_{c1} \sqrt{\omega_\partial kl/V} \Big/ \lambda_\partial + M_1 l/\lambda_u$

Температура різання без використання МОТС:

$$\Theta = [(q_1 l M_1 + q_2 h N_2) l_1 + (q_2 h M_2 + q_1 l N_1) l_1] / \lambda_u (l + h). \quad (6.10)$$

Для кількісної оцінки міри можливого зменшення температури пропонуються коефіцієнти зниження температури різання під час подачі МОТС вільним поливом - $K_{\Theta полив}$ та під час подачі МОТС напірним струменем - $K_{\Theta напір}$ в порівнянні з температурою різання Θ, яка має місце під час обробки без МОТС.

$$K_{\Theta полив} = \Theta_{полив}/\Theta; \; K_{\Theta напір} = \Theta_{напір}/\Theta. \quad (6.10)$$

Зміст та порядок виконання роботи

1. Вивчити закономірності формування теплових потоків в зоні різання під час точіння з використанням МОТС.

Визначити щільності теплових потоків на передній q_1 і задній q_2 поверхнях леза інструменту для заданих умов обробки і різних способів подачі МОТС в зону різання.

2. Вивчити особливості розрахунку температур різання під час обробки з використанням МОТС.

Визначити температуру різання для заданих умов обробки і різних способів подачі МОТС в зону різання, в тому складі з використанням різних марок МОТС.

Таблиця 6.1 - Щільності теплових потоків в зоні різання

№ п/п	Марка і спосіб подачі МОСТ в зону різання	Режими різання			Щільності теплових потоків, вт/м^2		Температура різання Θ, °C
		глибина t, мм	подача s, мм/об	швидкість v, м/с	на передній поверхні леза q_1	на задній поверхні леза q_2	

4. Визначити вплив коефіцієнта тепловіддачі на коефіцієнти зниження температури різання для різних способів подачі МОТС в зону різання.

Побудувати графіки залежності коефіцієнта зниження температури різання від коефіцієнта тепловіддачі для обробки з використанням МОТС в порівнянні з обробкою без МОТС.

Встановити характер та ступінь впливу коефіцієнта тепловіддачі на коефіцієнти зниження температури різання, виконати порівняльний аналіз різних методів подачі МОТС в зону різання.

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Мета роботи.
3. Результати комп'ютерного розрахунку щільностей теплових потоків та температур різання для заданих умов обробки і різних способів подачі МОТС в зону різання (табл. 6.1).
5. Графіки залежності коефіцієнта зниження температури різання від коефіцієнта тепловіддачі для обробки з використанням МОТС в порівнянні з обробкою без МОТС.
6. Висновки.

Лабораторна робота № 7

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУР В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ДЕТАЛІ ПІД ЧАС МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

Мета роботи: встановити вплив параметрів обробки на максимальні температур в поверхневому шарі деталі та розподіл температур по її глибині

Основні теоретичні відомості

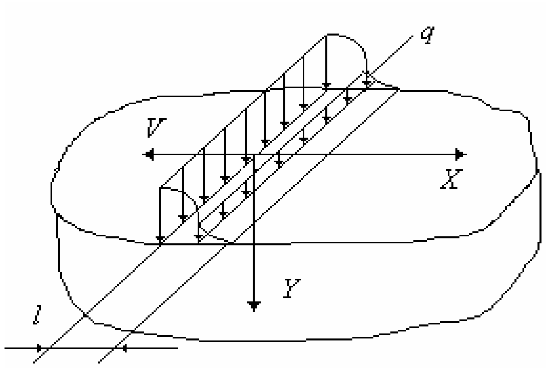

Рисунок 7.1 - Схематизація теплових процесів в деталі

Основним джерелом теплоти для деталей при різних видах обробки є зона обробки, розміри якої істотно менше розмірів оброблюваної деталі. У зв'язку із цим, незалежно від виду обробки, при схематизації компонентів технологічної системи деталь розглядається як напівнескінченне тіло. Джерело теплоти, що виникає на поверхні заготівки в результаті взаємодії з інструментом, розглядається як швидкорухоме смугове (рис.7.1).

Потужність джерела теплоти визначається швидкістю його переміщення V і силою P у зоні обробки, що діє в напрямку переміщення джерела: $W=PV$.

Частка теплоти в тілі, по якому переміщається джерело, тобто частка теплоти, що надходить у деталь, визначається наступною залежністю:

$$b^* = 1 \Big/ \left[1 + 1{,}18 (\lambda_u / \lambda_\partial) \sqrt{\omega_\partial / Vl} \Big/ \left(2{,}34 + \ln\left(\omega_u \tau / l^2 \right) \right) \right], \qquad (7.1)$$

де λ_i , λ_∂ , ω_i , ω_∂ – коефіцієнти теплопровідності й температуропровідності інструмента й деталі відповідно, τ - час дії джерела, l – розмір смугового джерела.

Щільність теплового потоку, рівномірно розподіленого по площадці F контакту інструмента з деталлю: $q = b^* PV / F$.

Температурне поле в деталі для швидкорухомого смугового джерела описується аналітичним виразом:

$$\Theta(x, y) = \frac{q \sqrt{\omega_\partial}}{2\lambda_\partial \sqrt{\pi V}} \int_0^p \frac{f(x_u) dx_u}{\sqrt{x - x_u}} \exp\left(- \frac{V y^2}{4\omega_\partial (x - x_u)} \right) = P_o T(\psi, \nu), \qquad (7.2)$$

де $P_o = ql \big/ \lambda_\partial \sqrt{\pi Pe}$ - розмірний коефіцієнт; $Pe = Vl/\omega_\partial$ - критерій Пеклє; $T(\psi, \nu)$ – розподіл безрозмірних температур у поверхневому шарі деталі:

$$T(\psi, \nu) = \frac{1}{2} \int_0^\Delta \frac{f(\psi_u) d\psi_u}{\sqrt{\psi - \psi_u}} \exp\left(- \frac{Pe}{4} \cdot \frac{\nu^2}{\psi - \psi_u} \right),$$

де $f(\psi_u)$ - функція розподілу щільності теплових потоків.

Схеми джерел теплоти та графіків функцій розподілу щільності теплових потоків для різних методів обробки: лезової, абразивної, пластично деформуючої представлені на рис 7.2.

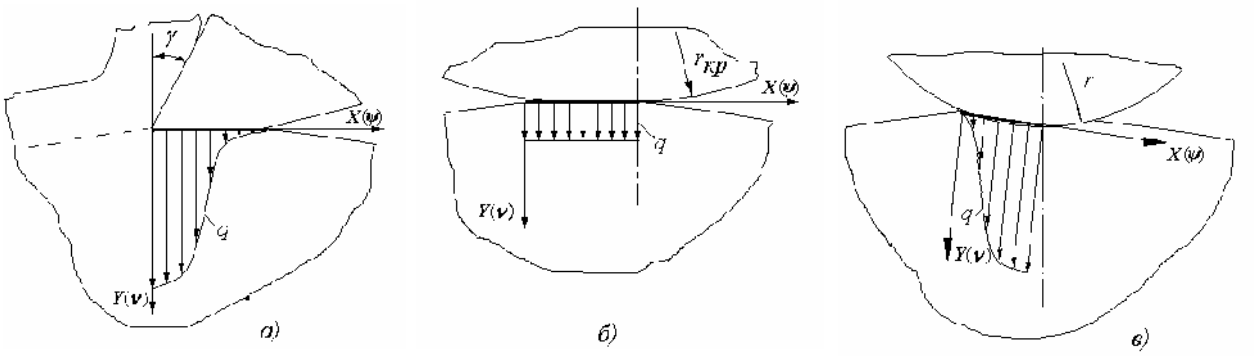

Рисунок 7.2 - Схеми джерел теплоти для різних методів обробки: лезової - *а*), абразивної - *б*), пластично деформуючої – *в*)

Графіки двох параметричного розподілу безрозмірних температур по поверхні – координата *(ψ)* та глибині - координата *(ν)* деталі наведені на рис.7.3

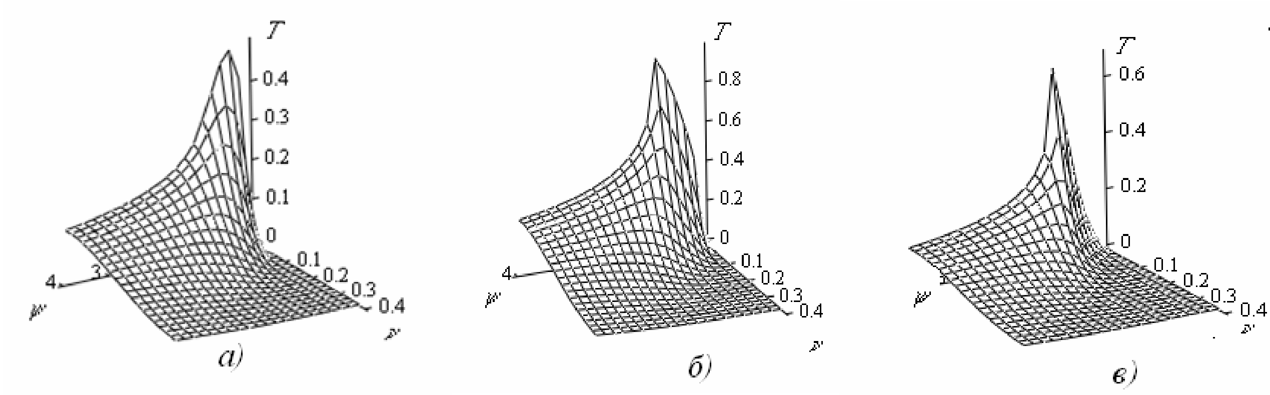

Рисунок 7.3 –Розподіл безрозмірних температур для різних методів обробки: лезової - *а*), абразивної - *б*), пластично деформуючої – *в*) і відповідних законів розподілу щільності теплових потоків з функціями розподілу нормальний несиметричний, рівномірний, нормальний несиметричний:

$$f(\psi_u) = \exp\left[-k_0(\psi_u)^2\right]; \qquad f(\psi_u) = 1; \qquad f(\psi_u) = \exp\left[-k_0(1-\psi_u)^2\right]$$

Розподіл безрозмірних температур на поверхні деталі *T(ψ)* (координата ν = 0) та по її глибині *T(ν)* для точок з максимальною температурою на поверхні (координата ψ = 1) має вигляд:

$$T(\psi) = \frac{1}{2}\int_0^{\Delta}\frac{f(\psi_u)d\psi_u}{\sqrt{\psi-\psi_u}}; \; T(\nu) = \frac{1}{2}\int_0^{\Delta}\frac{f(\psi_u)d\psi_u}{\sqrt{1-\psi_u}}\exp\left(-\frac{Pe}{4}\cdot\frac{\nu^2}{1-\psi_u}\right)$$

Максимальні значення безрозмірної $T_{\max}$ та розмірної температур $\Theta_{\max}$:

$$T_{\max} = \frac{1}{2}\int_0^{\Delta}\frac{f(\psi_u)d\psi_u}{\sqrt{1-\psi_u}}; \; \Theta_{\max} = P_o T_{\max}.$$

Зміст та порядок виконання роботи

1. Вивчити закономірності формування теплових потоків в деталі під час механічної обробки.

Визначити щільності теплових потоків q та закони їх розподілу на поверхні деталі для різних методів обробки: лезової, абразивної; поверхнево – пластичним деформуванням.

2. Вивчити закономірності формування безрозмірних температурних полів в деталі $T(\psi, \nu)$ для різних методів обробки.

Визначити координати точок на поверхні деталі з максимальною безрозмірною температурою для різних методів обробки і відповідних законів розподілу щільності теплових потоків.

3. Визначити максимальні температури на поверхні деталі під час точіння, шліфування, обкатування для заданих умов обробки.

Таблиця 7.1 – Результати розрахунку максимальних температур деталі для різних умов обробки

№ п/п	Вид обробки	Режими різання			Щільність теплового потоку на поверхні деталі q, вт/м^2	Розмірний коефіцієнт P_o	Максимальна безрозмірна температура $T_{\max}$	Максимальна температура $\Theta_{\max}, ^oC$
		глибина t, мм	подача s, мм/об	швидкість v, м/с				

4. Визначити розподіл безрозмірних температур на поверхні деталі для заданих параметрів обробки.

Побудувати графіки розподілу безрозмірних температур на поверхні деталі $T(\psi)$ для різних законів розподілу щільності теплових потоків.

5. Визначити розподіл безрозмірних максимальних температур по глибині деталі $T(\nu)$ для різних методів обробки.

Побудувати графіки розподілу максимальних безрозмірних температур по глибині деталі $T(\nu)$ для різних законів розподілу щільності теплових потоків.

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Мета роботи.
3. Результати комп’ютерного розрахунку температур леза (табл. 7.1).
4. Графіки розподілу безрозмірних температур на поверхні деталі для різних законів розподілу щільності теплових потоків
5. Графіки розподілу безрозмірних максимальних температур по глибині деталі для різних законів розподілу щільності теплових потоків.
6. Висновки.

Лабораторна робота № 8

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ ТА ТЕМПЕРАТУР ПІД ЧАС АЛМАЗНО- АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ

Мета роботи: встановити вплив параметрів обробки на теплові потоки та температури в поверхневому шарі деталі під час шліфування

Основні теоретичні відомості

Існує два підходи до аналізу теплових процесів при шліфуванні. По першому взаємодія між поверхнями оброблюваної деталі і шліфувального круга є дискретною, відповідною контакту з окремими зернами. Такий підхід відображає реальні умови процесу різання і доцільний, якщо розглядаються питання про теплові процеси, пов’язані з інструментом: робота зерен, локальні температури на зерні, облік впливу зернистості і концентрації зерен.

В більшості випадків розрахунок температурних полів пов’язаний з оброблюваною деталлю. В цьому випадку виправданий підхід, по якому контакт інструменту з деталлю представляється суцільним. Такий підхід обгрунтовується тим, що в процесі тепловиділення беруть участь не лише ріжучі зерна, що виконують мікрорізання, але і ковзаючі зерна, що труться по поверхні деталі, а також зв’язка і стружка, розташована в межзеренном просторі. Порушення суцільності контакту по відношенню до деталі настільки несуттєво, що ними можна нехтувати. Надалі розглядатимемо температурне поле в поверхневому шарі деталі і грунтуватимемося на уявленні про суцільний контакт деталі і інструменту.

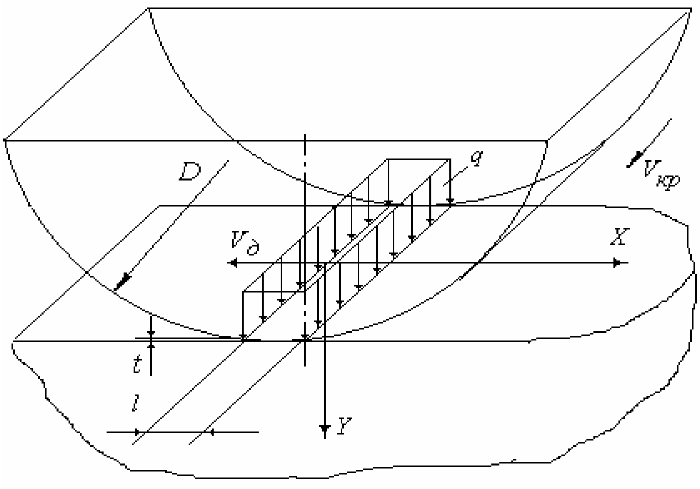

Рисунок 8.1 – Схематизація теплових процесів під час шліфування

При схематизації компонентів технологічної системи під час шліфування деталь розглядається як напівнескінченне тіло. Джерело теплоти, що виникає на поверхні контакту шліфувального круга з деталлю в результаті взаємодії з інструментом, розглядається як рухоме смугове з рівномірним розподілом щільності теплового потоку (рис.8.1).

Джерело теплоти, що знаходиться в зоні контакту круга з деталлю, можна вважати плоским, оскільки із-за великого діаметру шліфувального круга кривинаповерхні різання мала. Розмір смугового джерела l визначається довжиною дуги контакта круга с деталлю L: для плоского шліфування $L=\sqrt{tD}$, (t – глибина шліфування, D – диаметр круга).

Потужність джерела теплоти визначається швидкістю шліфувального круга $V_{кр}$ і силою P_z у зоні обробки: $W= P_z V_{кр}$.

Частка теплоти, що надходить у деталь - α, та в стружку – β визначається наступними залежностями:

$$\alpha = 1 \Big/ 1{,}25 \lambda_к \Big/ \lambda_\partial \sqrt{\omega_\partial / BV_\partial + 1}; \ \beta = 1 \Big/ 1 + \tau \sqrt{4V_\partial / \pi l \omega_\partial}\,, \qquad (8.1)$$

де $\lambda_к$, λ_∂ , $\omega_к$, ω_∂ – коефіцієнти теплопровідності й температуропровідності шліфувального круга й деталі відповідно, τ - час дії джерела, l – розмір смугового джерела: $l = L$.

Згідно цим формулам, частка теплоти, що надходитьв деталь, може бути прийнята 80-90%. Щільність рівномірно розподіленого теплового потоку під час шліфування:

$$q = (0{,}8 - 0{,}9) P_z V_к / BL\,.$$

Температурне поле в деталі для смугового рухомого джерела описується аналітичним виразом:

$$\Theta(x,y) = \frac{q}{2\pi\lambda_\partial} \int_0^l \exp\left(- \frac{V_S (x - x_u)}{2\omega_\partial} \right) K_0 \left[\frac{V_S \sqrt{(x - x_u)^2 + y^2}}{2\omega_\partial} \right] dx_u = P_o T(\psi, \nu), \qquad (8.2)$$

де x, y – абсциса і ордината точки, для якої розраховується температура; x_u – абсциса імпульсу теплоти; V_S – швидкість переміщення джерела; $K_0(u)$ - модифікована функція Бесселя, яка може бути визначена: $K_0(u) \approx (\pi/2u)^{0.5} \exp[-u]$;.
$P_o = ql/2\pi\lambda_\partial$ - розмірний коефіцієнт; $T(\psi, \nu)$ – безрозмірне температурне поле:
($\psi = x/l$; $\psi_u = x_u/l$; $\nu = y/l$ – безрозмірні координати; $Pe = Vl/\omega_\partial$ - критерій Пеклє)

$$T\ (\psi, \nu) = \int_0^1 \exp[0{,}5Pe(\psi - \psi_u)] K_0 \left[0{,}5Pe \sqrt{(\psi - \psi_u)^2 + \nu^2} \right] d\psi_u\,.$$

Максимальне значення температури на поверхні деталі $T_{max}(\psi, \nu) = T_{max}(1,0)$:

$$T_{max} = \left(\pi^m \Big/ 1 - m \right) Pe^m\,.\, \Theta_{max} = P_o T_{max}$$

В тому випадку, коли швидкість джерела теплоти (швидкість подачі стола для плоского шліфування) $V_\partial > 10\omega_\partial / L$, що відповідає значенням критерія Пеклє $Pe > 10$, рухоме смугове джерело на поверхні деталі перетворюється на швидкорухоме. Для опису температурного поля необхідно використовувати вираз (7.2), а максимальна безрозмірна температура для рівномірного закону розподілу щільності теплового потоку $T_{max}(\psi, \nu) = T_{max}(1,0) = 1$. В такому разі фактична максимальна температура:

$$\Theta_{max} = ql \Big/ \lambda_\partial \sqrt{\pi Pe}\,.$$

Зміст та порядок виконання роботи

1. Вивчити закономірності формування теплових потоків в зоні обробки під час шліфування.

2. Визначити безрозмірний розподіл температур по поверхні деталі $T(\psi,v)$ та розподіл по глибині деталі максимальних температур $T_{max}(1,v)$.

Побудувати графіки безрозмірного розподілу температур по поверхні деталі $T(\psi,v)$ та по її глибині $T_{max}(1,v)$.

3. Визначити максимальні на поверхні деталі температури під час шліфування для заданих умов обробки.

Таблиця 8.1 – Результати розрахунку температури різання для різних умов обробки

№ п/п	Діаметр круга D, мм	Режими різання			Щільність теплового потоку на поверхні деталі q, вт/м^2	Розмірний коефіцієнт P_o	Максимальна безрозмірна температура T_{max}	Максимальна температура Θ_{max}, ^oC
		глибина t, мм	подача s, мм/об	швидкість V_∂, м/с				

3. Визначити вплив параметрів шліфування – діаметра круга D, глибини t та швидкості V_∂ на максимальну на поверхні деталі температуру Θ_{max}.

Побудувати графіки залежності максимальної температури від умов шліфування $\Theta_{max}(D)$, $\Theta_{max}(t)$, $\Theta_{max}(V_\partial)$.

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Мета роботи.
3. Графіки безрозмірного розподілу температур по поверхні деталі $T(\psi,v)$ та по її глибині $T_{max}(1,v)$.
4. Графіки залежності максимальної температури від умов шліфування - діаметра круга D, глибини t та швидкості V_∂: $\Theta_{max}(D)$, $\Theta_{max}(t)$, $\Theta_{max}(V_\partial)$.
5. Висновки.

Лабораторна робота № 9

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ ТА ТЕМПЕРАТУР ПІД ЧАС ОБРОБКИ ПОВЕРХНЕВО – ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Мета роботи: встановити вплив параметрів обробки на теплові потоки та температури в поверхневому шарі деталі під час вигладжування та обкатування

Основні теоретичні відомості

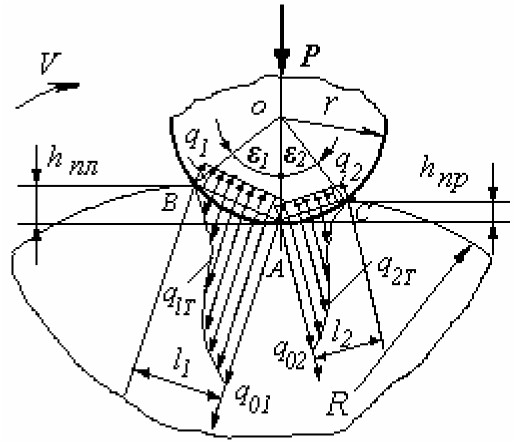

Рисунок 9.1 - Схематизація процесу вигладжування

Основним джерелом теплоти під час алмазного вигладжування є робота сил пружно-пластичного деформування матеріалу оброблюваної деталі. Довжина контакту зони пластичного деформування - l_1 та довжина контакту зони пружнього відновлення - l_2 розраховуються з урахуванням кутів контакту пластичної ε_1 та пружньої ε_2 зон. Кут контакту ε_1 визначається умовами пружно-пластичного деформування і для загартованих сталей ε_1 = 6 - 7°; для м'яких матеріалів - ε_1 = 2 - 3°. Приймаючі $\varepsilon_1 = 0{,}5\varepsilon_2$, розміри площадок контакту можна визначити наступним чином: $l_1 = 0{,}017\varepsilon_1$; $l_2 = 0{,}009\varepsilon_1$.

В зоні обробки виникають два джерела теплоти з ніссиметрично нормальними законами розподілу інтенсивностей: q_{1T} - у зоні пластичної деформації і q_{2T} - у зоні пружного відновлення (максимальні інтенсивності q_{01} і q_{02}).

Щільності теплових потоків, спрямованих з деталі в інструмент, у зоні пластичної деформації q_1 і у зоні пружного відновлення q_2 приймаються рівномірно розподіленими і визначаються з системи рівнянь:

$$\begin{cases} \dfrac{q_1 l_1}{\lambda_u} M_1 + \dfrac{q_2 l_2}{\lambda_u} N_2 = K_1 (K_c q_{01} - q_1) \; ; \\ \dfrac{q_2 l_2}{\lambda_u} M_2 + \dfrac{q_1 l}{\lambda_u} N_1 = \left[K_2 - K_1 \left(q_2 \sqrt{\beta} + \chi_2 q_1 \right) \right] \; , \end{cases} \qquad (9.1)$$

де $K_1 = 4K_o \sqrt{\omega_\partial l_1} / 3\lambda_\partial \sqrt{V}$, $K_2 = K_c K_1 \left(q_{02}\sqrt{\beta} + \chi_1 q_{01} \right)$, λ_∂, λ_u, ω_∂, ω_u - коефіцієнти теплопровідності і температуропровідності матеріалів деталі й інструмента; M_1, M_2, N_1, N_2 - безрозмірні функції, що визначають нагрів майданчиків на поверхнях інструменту; K_o = 0,87- коефіцієнт, що враховує обмеженість джерела по ширині b; K_c = 0,55- коефіцієнт форми для двохвимірного швидкорухомого джерела; коефіцієнт $\beta = l_2/l_1$; коефіцієнти $\chi_1 = 0{,}6$, $\chi_2 = 0{,}75$.

Безрозмірні функції, що визначають нагрів контактних зон:

$$M_{1,2} = 0{,}061 + 0{,}033\eta_{1,2}^{0,5} \lg \eta_{1,2}; \quad N_{1,2} = 0{,}0573\eta_{1,2}\rho_{1,2}^{-1/\eta_{1,2}^{0,66}} \; ,$$

де η - безрозмірна ширина $\eta_1 = b/l_1$, $\eta_2 = b/l_2$ $(\eta_{1,2} > 1)$; $\rho_1 = 1 + l_2/l_1$; $\rho_2 = 1 + l_1/l_2$.

Максимальні інтенсивності джерел q_{01} і q_{02}:

$$q_{01} = F_1 V/bl_1 = V(P_T - 0{,}25bl_2\mu\sigma_в)/bl_1; \quad q_{02} = \sqrt{3}bl_2\mu\sigma_в V/8\sqrt{\pi}bl_2,$$

де P_T - тангенціальна сила, що діє в напрямку швидкості і визначається залежно від сили вигладжування P; μ - коефіцієнт тертя; $\sigma_в$ - межа міцності матеріалу деталі; $b = (l_1 + l_2)((R+r)R)^{0,5}$ - ширина контакту індентора і деталі.

Щільності теплових потоків q_1 і q_2:

$$q_1 = \frac{[K_2N_2 - K_cK_1q_{01}(N_2I - M_2)]\lambda_u}{l_1(N_1N_2 - M_1M_2 - M_1N_2I) - K_1\lambda_u(M_2 + N_2I - N_2\chi_2)}; \qquad (9.2)$$

$$q_2 = I[(K_cq_{01} - q_1) - M_1q_1l_1]/\sqrt{\beta}, \; I = K_1\lambda_u\sqrt{\beta}/N_2l_2 \qquad (9.3)$$

Розподіл температур на поверхні деталі та по її глибіні може бути описаний наступним чином:

$$\Theta(x,y) = P_oT(\psi,\nu) = \frac{K_ol_1q_{01}}{2\lambda_\partial\sqrt{\pi Pe}}\sum_{i=1}^{4} n_i\int_0^{\Delta}\frac{f_i(\psi_u)d\psi_u}{\sqrt{\psi - \psi_u}}\exp\left(-\frac{Pe}{4}\frac{\nu^2}{\psi - \psi_u}\right). \qquad (9.4)$$

де $T(\psi, \nu)$ – безрозмірна температура; $\psi = x/l_1$, $\psi_u = x_u/l_1$, $\nu = y/1_l$ - безрозмірні координати; l_1 - довжина контакту зони пластичного деформування; $P_o = K_ol_1q_{01}/2\lambda_\partial(\pi Pe)^{05}$ - розмірний коефіцієнт; $Pe = Vl_1/\omega_\partial$ - критерій Пекле; V- швидкість деталі; λ_∂, ω_∂ - коефіцієнти теплопровідності і температуропровідності матеріалу деталі; Δ - верхня межа інтеграла: $\Delta = \psi$ при $0 \leq \psi \leq 1$ и $\Delta = 1$ при $\psi > 1$; $n_i = q_i/q_{01}$- безрозмірні величини, що враховують відмінність теплових потоків: $n_1 = 1$, $n_2 = q_{02}/q_{01}$, $n_3 = q_1/q_{01}$, $n_4 = q_2/q_{01}$; $f_i(\psi_u)$ - закони розподілу щільності теплових потоків.

Розподіл максимальної температури на поверхні деталі по її глибіні визначається для координат $\Theta_{max}(l_1, y)$, безрозмірної температури – для $T_{max}(1, \nu)$:

$$\Theta_{\max}(l,y) = P_o\left[\int_0^{\Delta}\frac{e^{\left[-3(1-\psi_u)^2\right]}d\psi_u}{\sqrt{1-\psi_u}}e^{\left(-\frac{Pe}{4}\frac{\nu^2}{1-\psi_u}\right)} + \int_0^{\Delta}\frac{n_3d\psi_u}{\sqrt{1-\psi_u}}e^{\left(-\frac{Pe}{4}\frac{\nu^2}{1-\psi_u}\right)}\right]. \qquad (9.5)$$

Максимальна на поверхні деталі фактична температура визначається для координат $\Theta_{max}(l_1, 0)$, безрозмірної температури – для $T_{max}(1, 0)$:

$$\Theta_{\max} = P_o\left[\int_0^{\Delta}\frac{e^{\left[-3(1-\psi_u)^2\right]}d\psi_u}{\sqrt{1-\psi_u}} + n_3\int_0^{\Delta}\frac{d\psi_u}{\sqrt{1-\psi_u}}\right]. \qquad (9.5)$$

Зміст та порядок виконання роботи

1. Вивчити закономірності формування теплових потоків в зоні обробки під час алмазного вигладжування.

Визначити максимальні інтенсивності джерел q_{01} і q_{02} та щільності теплових потоків, спрямованих з деталі в інструмент, у зоні пластичної деформації q_1 і у зоні пружного відновлення q_2 для заданих умов обробки.

Таблиця 9.1 - Щільності теплових потоків в зоні алмазного вигладжування

№ п/п	Режими обробки			Щільності теплових потоків, вт/м^2			
	радіус індентора r,мм	зусилля вигладжування P,Н	швидкість v, м/с	максимальні інтенсивності джерел		у зоні пластичної деформації q_1	у зоні пружного відновлення q_2
				q_{01}	q_{02}		

2. Визначити безрозмірний розподіл температур по поверхні деталі $T(\psi,v)$ та розподіл по глибині деталі максимальних температур $T_{max}(1,v)$. Побудувати графіки безрозмірного розподілу температур по поверхні деталі $T(\psi,v)$ та по її глибині $T_{max}(1,v)$.

3. Визначити вплив параметрів алмазного вигладжування - радіуса індентора r, зусилля вигладжування P та швидкості V на максимальну на поверхні деталі температуру Θ_{max}. Побудувати графіки залежності максимальної температури від умов вигладжування $\Theta_{max}(r)$, $\Theta_{max}(P)$, $\Theta_{max}(V)$.

4. З використанням регресійного аналізу встановити характер та ступінь впливу радіуса індентора r, зусилля вигладжування P та швидкості V на максимальну на поверхні деталі температуру Θ_{max} у вигляді степеневої залежності

$$\Theta_{регр}(r,P,V) = C_{\Theta} r^m P^n V^p,$$

де C_{Θ} коефіцієнти, m, n, p - параметри регресії.

Зміст звіту

1. Найменування роботи.
2. Мета роботи.
3. Графіки безрозмірного розподілу температур по поверхні деталі $T(\psi,v)$ та по її глибині $T_{max}(1,v)$.
4. Графіки залежності максимальної температури від умов вигладжування - радіуса індентора r, зусилля вигладжування P та швидкості V: $\Theta_{max}(r)$, $\Theta_{max}(P)$, $\Theta_{max}(V)$.
5. Встановлені регресійні залежності максимальної на поверхні деталі температуру радіуса індентора r, зусилля вигладжування P та швидкості V: $\Theta_{регр}(r,P,V)$.
6. Висновки.

Список літератури

1. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах: Учебник для вузов по специальностям “Технология машиностроения” и “Металлорежущие станки и инструменты”. - М.: Машиностроение, 1990. - 288с.

2. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. - М.: Машиностроение, 1981. – 279с.

3. Резников А.Н., Резников Л.А. Основы расчета тепловых процессов в технологических системах: Учеб. пособие. - Куйбышев: КуАИ, 1986. -153с.

4. Тихонцов А.М., Чухно С.И., Коробочка А.Н. Тепловые процессы при механической обработке материалов резанием: Учебник: - К.:УМК ВО,1992. - 288с.

5. Якимов А.В., Слободяник П.Т., Усов А.В. Теплофизика механической обработки: Учеб. пособие. - К.; Одесса: Лыбидь, 1991. - 240 с.

6. Ящерицын П.И.. Еременко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. для вузов. - Мн.: Выш. шк., 1990. - 512 с.

7. Обработка металлов резанием с плазменным нагревом. / А.Н. Резников, М.А. Шатерин, В.С. Кунин, Л.А. Резников. - М.: Машиностроение, 1986. – 232с.

8. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Панова. - М.: Машиностроение,1988. - 736с.

9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. - М.: Машиностроение . 1985. - 496с.

10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. - М.: Машиностроение . 1985. - 496с.

11. Справочник по обработке металлов резанием / Ф.Н. Абрамов, В.В. Коваленко, В.Е. Любимов и др. - К.: Техніка, 1983. - 239с.

ЗМІСТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт
з курсу «Моделювання теплових процесів в технологічних системах»
(для студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування»
спеціалізації «Технологія машинобудування»
всіх форм навчання)

Укладачі Тетяна Георгіївна Івченко, доц.
Ірина Олексіївна Петряєва, асс.