

В.І. Кальченко, д-р техн. наук
В.В. Кальченко, д-р техн. наук
А.В. Кологойда, аспірант

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТОРЦІВ ГОЛОК ПРИ ШЛІФУВАННІ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ КРУГА ТА РОБОЧОГО ВАЛИКА

Пропонується методика розрахунку, яка дозволяє визначити локальні, на конкретній ділянці поверхні, миттєві і середні температури на кінцях голок під час шліфування зі схрещеними осями інструмента і робочого валика.

Голчасту поверхню барабанів і робочих валків текстильних машин на відомих верстатах [1] шліфують периферією циліндричного круга при паралельних осях його і деталі в процесі багатопрохідної обробки з поздовжньою подачею. Знімання припуску здійснюється за пружною схемою, де в процесі створення натягу в системі круг-деталь голки оплаваються за рахунок високих температур в зоні шліфування, що знижує якість заточування.

Запропоновано новий спосіб шліфування голчастої поверхні зі схрещеними осями круга і деталі [2]. Чорнове шліфування голчастої поверхні робочих валиків 1 (рис. 1, А, А, М, К) здійснюється торцем круга 2, а чистове – периферією з поступовим зменшенням глибини різання в напрямку формоутворюючої ділянки, за рахунок повороту круга в вертикальній площині, що підвищує якість заточування.

Для аналізу температури θ в процесі шліфування голок у вигляді вигнутих циліндричних стержнів, у яких тепло розповсюджується вздовж їх осі у напрямку однієї координати, була використана формула [3]

$$\theta = \frac{2 \cdot q}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{\omega \cdot \tau}{\pi}} + \theta_0, \quad (1)$$

де q – густина теплового потоку; ω – коефіцієнт температуропровідності матеріалу, що обробляється; λ – коефіцієнт теплопровідності; θ_0 – температура оточуючого середовища; τ – час контакту круга і голки.

Густина теплового потоку

$$q = \frac{b \cdot N}{F}, \quad (2)$$

де b – коефіцієнт, який враховує розподіл теплового потоку між стружкою та голкою; N – ефективна потужність шліфування; F – площа поверхні контакту круга і голки.

У загальному вигляді ефективна потужність шліфування торця голки дорівнює [3]

$$N = \frac{a \cdot Q}{\tau}, \quad (3)$$

де Q – об'єм металу, зішліфованого кругом з торця голки; a – питома роботоспроможність круга, яка визначається потужністю, що витрачається на знімання одиниці об'єму металу.

При визначенні миттєвої потужності N_m у вираз (3) підставляють миттєву продуктивність Q_m шліфування торця голки, яка визначається об'ємом металу, що підводиться до поверхні контакту F і F_1 (рис. 1, М, К), і має вигляд поверхневого інтегралу

$$Q_m = \int_{i_1}^{i_2} \left(\int_{\theta_{2ki}}^{\theta_{1ki}} V_n \cdot R_i \cdot d\theta_k \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{dR_i}{di} \right)^2 + \left(\frac{dZ_i}{di} \right)^2} \cdot di, \quad (4)$$

де R_i – радіус перерізу круга в межах i -тої точки; Z_i – його осьова координата; θ_k – кутовий параметр круга; $R_i \cdot d\theta_k$ – довжина плями контакту, яка вимірюється вздовж

кола i -тої точки профілю круга (рис. 1, М); $\sqrt{\left(\frac{dR_i}{di}\right)^2 + \left(\frac{dZ_i}{di}\right)^2}$ – елементарна ширина

плями контакту.

Границі плями контакту визначаються з рішення векторних рівнянь поверхонь круга і деталі в системі координат круга. Загальна тривимірна модель робочих поверхонь круга при шліфуванні зі схрещеними осями інструмента і деталі, яка враховує умови правки круга, його знос, припуск, що знімається, і форму заготовки, наведена в роботі [5]. 3D моделювання поверхонь, що обробляються при шліфуванні зі схрещеними осями круга і деталі, викладена в роботі [6].

В рівнянні (4)

$$V_n = V_x \cdot n_{0x} + V_y \cdot n_{0y} + V_z \cdot n_{0z}, \quad (5)$$

де V_x, V_y, V_z – проекції вектора відносної швидкості (рис. 1) деталі і круга на його координатні осі; n_{0x}, n_{0y}, n_{0z} – проекції вектора одиничної нормалі n_0 .

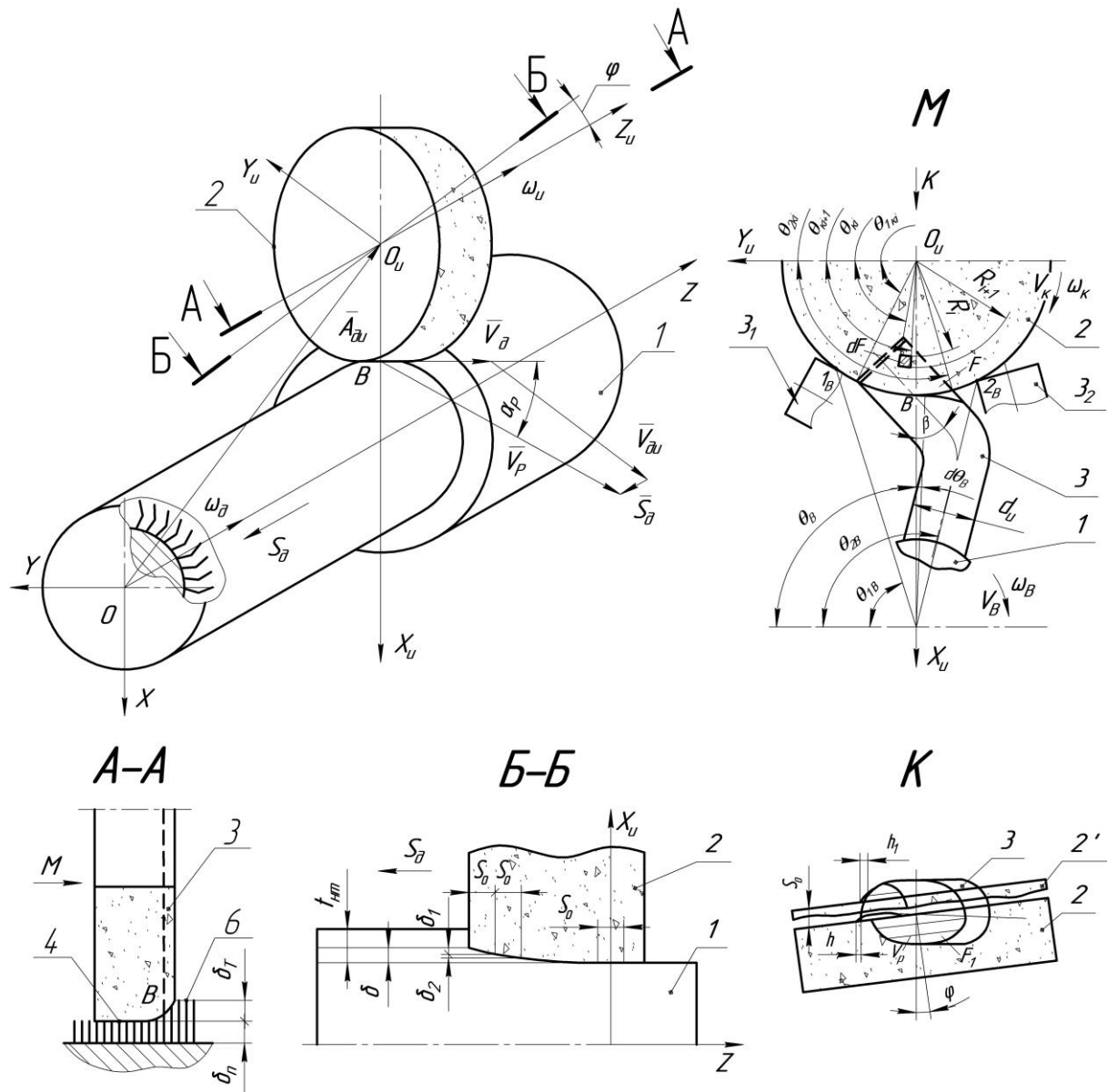


Рис. 1. Схема шліфування голчастої поверхні зі схрещеними осями круга і робочого валика

З рівняння (5) визначають V_n , а потім з (4) – миттєву Q_m продуктивність шліфування.

Для розрахунку потужності шліфування за формулою (3) необхідно знати значення a – питомої працездатності круга. У роботі [7] наведено методику та вираз для розрахунку a , яке отримано на базі експериментальних досліджень. При експериментальному визначенні значень a (3) активний контроль припуску, що знімається з торця голок здійснювали за методикою, наведеною у роботі [8].

Час контакту τ (1) (3) шліфувального круга і голки визначається за формулою

$$\tau = \int_{\theta_{1B}}^{\theta_{2B}} \frac{d\theta_B}{\omega_B}, \quad (6)$$

де θ_{1B}, θ_{2B} – граничні значення кута θ_B контакту голки 3, у положеннях 3₁ і 3₂, (рис. 1, М) і круга 2, в положеннях 1В і 2В, під час її шліфування; ω_B – кутова швидкість робочого валика 1, на якому закріплені голки 3.

Визначивши з рівняння (4) миттєву продуктивність шліфування Q_m і підставивши її в формулу (3), отримуємо миттєву потужність шліфування N_m . При визначенні питомої потужності шліфування N_y , що припадає на один мм висоти круга 2 або на величину S_o поздовжньої подачі круга на оберт деталі (рис. 1, К; при швидкісному шліфуванні голок), у формулу (3) підставляють значення питомої продуктивності шліфування Q_y , отриманої з рівняння

$$Q_y = \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} V_n \cdot R_i \cdot d\theta_k, \quad (7)$$

де $\theta_{1ki}, \theta_{2ki}$ і R_i (рис. 1, М) – аналогічні наведеним у рівнянні (4), визначаються рішенням векторних рівнянь круга r_i [5] і деталі r_o [6].

Для визначення локальної потужності шліфування N_l , яка, наприклад, необхідна при визначенні локальних максимальних температур на шліфуємій поверхні голки, у формулу (3) підставляють локальну продуктивність шліфування Q_l . Її знаходять з рівняння (4) для локальної елементарної площадки dF (рис. 1, М), яка визначається межами інтегрування i_1, i_2 і $\theta_{1ki}, \theta_{2ki}$. Середню потужність шліфування N_{cp} однієї голки визначають з формули (3), підставляючи в неї середню продуктивність шліфування Q_c , яку знаходять з рівняння

$$Q_c = \int_0^{\pi} Q_m \cdot d\tau, \quad (8)$$

де τ – час обробки однієї голки, переміщеної з положення 3₁ в 3₂ (рис. 1, М), знаходять за формулою (6).

При визначенні щільності q теплового потоку (2), площинки F і F_l поверхонь контакту круга 2 (рис. 1, М, К) та голки 3 знаходять з рівняння

$$F_m = \int_{i_1}^{i_2} \left(\int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} R_i \cdot d\theta_k \right) \sqrt{\left(\frac{dR_i}{di} \right)^2 + \left(\frac{dZ_i}{di} \right)^2} \cdot di, \quad (9)$$

де F_m – миттєва площа контакту круга і голки, при цьому параметри в рівнянні (9) аналогічні значенням в рівнянні (4).

Питому площу F_y , яка (9) представляє собою внутрішній інтеграл, знаходять з виразу

$$F_y = \int_{\theta_{1ki}}^{\theta_{2ki}} R_i \cdot d\theta_k. \quad (10)$$

Локальну площу F_l знаходять з рівняння (9) для локальної елементарної площадки dF (рис. 1, М). Середню площу контакту F_c однієї голки з колом за час τ її обробки, знаходять з рівняння

$$F_c = \int_0^{\tau} F_m \cdot d\tau. \quad (11)$$

Коефіцієнт температуропровідності ω оброблюваного матеріалу

$$\omega = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma}, \quad (12)$$

де c – питома теплоємність; γ – щільність речовини.

Робочий елемент голки 3 (рис. 1, М, К) має форму еліпса, розміри більшої осі якого залежать від кута β нахилу голки відносно прямої, що перпендикулярна осям обертання круга 2 і деталі 1.

Як показали розрахунки (1) і експериментальні дослідження [1] відомих методів шліфування голчастих поверхонь за пружною схемою, температури θ (1), які виникають в процесі шліфування, перевищують 750°C . Це призводить до оплавлення вершини голки, у результаті чого виникає задирка h , розміри якої залежать від режиму заточування, оброблюваного матеріалу, характеристики круга і знаходяться у межах $h = 0,03-0,15$ мм, при допустимих значеннях $h = 0,01-0,02$ мм.

При шліфуванні голчастої поверхні за новим способом [2] зі схрещеними осями круга 2 (рис. 1) і робочого валика 1 весь припуск знімається за один прохід.

При зніманні чорнового припуску торцем круга 2 (рис. 1, М, К) спочатку отримуємо максимальну задирку h на вертикальній поверхні F (рис. 1, М) голки, яка потім зрізується тим же торцем круга в процесі його осьової подачі S_o (рис. 1, К). Чистове шліфування торця голки 3 здійснюється периферією круга 2. При цьому орієнтація його на кут φ (рис. 1, К) здійснюється таким чином, щоб після знімання чорнового припуску $t_{\text{чт}}$ торцем круга (рис. 1, Б-Б), отримана величина дефектного шару на торці голки не перевищувала половини припуску δ для чистового шліфування периферією круга. Переріз орієнтованого круга 2 (рис. 1, Б-Б) площиною, що проходить через початок координат O_u і вісь OZ оброблюваної деталі 1, дає на периферії круга еліпс з величиною випуклості δ формоутворюючої ділянки, яка залежить від кута орієнтації φ круга, його діаметра і висоти [9].

Напрямок і розмір вектора V_p результуючої швидкості заточування голчастої поверхні барабана визначають її якість. V_p – знаходимо векторним засобом з рівняння

$$\bar{V}_p = (\bar{\omega}_\delta + \bar{\omega}_{ou}) \times \bar{r}_\delta + \bar{A}_{ou} \times \bar{\omega}_{ou} + \bar{S}_\delta \quad (13)$$

де ω_δ – вектор кутової швидкості деталі в її системі координат; ω_{ou} – вектор кутової швидкості круга в системі координат деталі; r_δ – радіус-вектор точок голчастої поверхні деталі в її системі координат; A_{ou} – радіус-вектор початку O_u координат інструмента в системі координат деталі; S_δ – вектор швидкості осьової подачі деталі в її системі координат.

Розв'язавши рівняння (13), отримуємо квадратну матрицю четвертого порядку, останній стовпець якої визначає проекції V_x , V_y , V_z вектора V_p у системі координат деталі. Модуль результуючої швидкості різання визначають з виразу

$$|\bar{V}_p| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad (14)$$

Кут α_p (рис. 1) між вектором V_p результуючої швидкості заточення і площиною нахилу голок гарнітури, яка перпендикулярна до осі деталі, знаходимо з співвідношення

$$\alpha_p = \arctg \frac{V_z}{V_y} \quad (15)$$

Зі збільшенням V_p і α_p зменшується величина задирки h на робочому кінці голки. В залежності від допустимої величини h задирки з рівняння (13) визначають конструктивні і налагоджувальні параметри верстата для заточування голок.

При заточуванні голчастої поверхні по новому способу за один прохід припуск δ_n , який залишається для чистового шліфування периферією круга, повинен бути більшим, ніж розмір задирки h , яка отримана після чорнового шліфування торцем круга. Наладка на розрахунковий припуск δ_n здійснюється поворотом на кут φ осі круга відносно осі O_uX_u , яка співпадає з нормаллю до утворюючої деталі. Кут φ повороту круга розраховують з виразу

$$\varphi = \arcsin \frac{2\sqrt{\delta_n \cdot D_{кр}}}{K}, \quad (16)$$

де δ_n – припуск, який знімається при чистовому шліфуванні периферією круга; $D_{кр}$ – діаметр круга; K – висота круга, яка виконує чистове шліфування периферією круга.

Відстань L між осями круга і деталі при шліфуванні розраховують з виразу

$$L = \frac{D_{кр}}{2} + \frac{D_d}{2} - \delta_T - \delta_n, \quad (17)$$

де D_d – діаметр деталі до обробки; δ_T – припуск, який зрізається торцем круга при чорновому шліфуванні.

Позначення $D_{кр}$ і δ_n аналогічні наведеним у формулі (16).

Експериментальні дослідження шліфування голок зі схрещеними осями круга і деталі здійснювались на верстаті з ЧПК моделі ВЗ 208-ФЗ. Було оброблено робочий валик з зовнішнім діаметром голчастої поверхні 145 мм і довжиною робочої частини 450 мм. Шліфування голок діаметром 0,3 мм проводилось одночасно периферією і торцем циліндричного круга I-200×25×32 25 А 25 СМ1 7К зі швидкістю шліфування 35 м/с. Чорновий припуск, який знімався торцем круга $t_{нт} = 0,5$ мм, чистовий – його периферією, $t = 0,05$ мм, який забезпечувався кутом орієнтації $\varphi = 6^\circ$ (рис. 1, К) круга 2. Кругова подача деталі (голок) $V_e = 15$ м/с, осьова подача $S_o = 0,051$ мм на оберт робочого валика.

Для розрахунку температури θ на торці голки за формулою (1), при визначенні густини теплового потоку q (2), підставляли експериментально визначену ефективну потужність шліфування.

Границі плями контакту F і F_1 (рис. 1, М, К) голчастої поверхні робочого валика 1 і циліндричного абразивного круга 2 визначали рішенням векторних рівнянь поверхонь інструменту r_i [5] і деталі r_d [6]. Знаючи площу контакту і число голок, розташованих на ній, знаходили ефективну потужність шліфування однієї голки і температуру θ (1) на її торці.

Для визначення локальних температур θ_i на різних ділянках профілю круга експериментально знаходили на них питому потужність N_y шліфування. При цьому визначали частини загального припуску δ (рис. 1, Б-Б) для чистового шліфування, кожна з яких знімається одним міліметром периферії круга 2, $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_i$ за один оберт деталі 1, при величині поздовжньої подачі $S_o = 1$ мм/об. Знаючи питомі потужності N_{yi} уздовж периферії круга, знаходили локальні температури θ_{i1} на торцях голок. Кількість їх визначали з питомої площі F_y контакту (10).

При визначенні температури θ_i на торцях голок, які шліфуються торцем круга, знаходимо загальну потужність шліфування N_o периферією N_{II} і торцем N_T круга, а потім, знаючи N_o та N_{II} , визначали N_T

$$N_T = N_o - N_{II}. \quad (18)$$

Після визначення площі контакту торця круга і голчастої поверхні знаходили потужність шліфування однієї голки і температуру θ (1) на її торці.

Запропонована методика визначення локальних температур уздовж профілю круга була використана не тільки при заточенні голок, але й при шліфуванні циліндричної поверхні валика (рис. 1, Б-Б), призначеної для монтажу голчастої гарнітури.

Локальну температуру θ_i уздовж профілю круга визначали, починаючи з калібруючої ділянки його периферії (рис. 1, точка В). Глибина різання для кожного наступного оберту валика 1 збільшувалася на величину δ_i (рис. 1, Б-Б), що забезпечує додатковий контакт профілю круга 2 уздовж осі деталі 1 на довжині, рівній подачі S_o . Для кожного оберту деталі записувалася потужність N_{Pi} . Питому потужність N_{Pi} для i -тої точки профілю круга визначали із співвідношення

$$N_{yi} = N_{ni+1} - N_{ni}. \quad (19)$$

У такий спосіб визначали питомі потужності уздовж усього профілю периферії круга й з (1) – локальні температури θ_i на поверхні контакту круга й циліндричної поверхні деталі.

Висновки

Запропонована методика розрахунку, яка дозволяє визначати локальні θ_n , питомі θ_y , миттєві θ_m і середні θ_c температури на торцях голок під час шліфування зі схрещеними осями круга і робочого валика. Це дає можливість оцінити теплонпруженість процесів шліфування голок різними методами і якість обробленої поверхні.

Розроблено новий спосіб глибинного шліфування торців голок периферією й торцем круга, що забезпечує підвищення продуктивності і якості заточення, при максимальній величині задирки на торці голки $h \leq 0,02$ мм.

Список літературних джерел

1. Кальченко В.В. Влияние кинематики заточки на качество обработанной поверхности барабанов текстильных машин // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Материалы межд. – научн. – техн. конф. – Харьков, 12–14 мая 1997. Часть 2, С. 278-281.
2. Декларацийний патент України на винахід (корисну модель) № 14240 В24В19/00 “Спосіб заточування голчастої поверхні периферією і торцем орієнтованого круга” /В.В. Кальченко, – Опубл. 15.05.2006р. Бюл. № 5.
3. Давыдов В.М. Исследование тепловых явлений при шлифовании твердого сплава алмазными кругами // Известия вузов. Машиностроение, 1967, № 11, С. 141-146.
4. Кальченко В.В. Визначення потужності шліфування орієнтованим інструментом // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 1999. - №9. С. 120-126.
5. Кальченко В.В. Общая трехмерная 3D модель поверхностей кругов при шлифовании со скрещивающимися осями инструмента и деталей // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Збірка наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2001. №6. – С. 114-118.
6. Кальченко В.В. 3D моделирование обрабатываемых поверхностей при шлифовании со скрещивающимися осями кругов и деталей // Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць НТУ “ХПІ”. – Харків, 2001 – Вип. 1 (4). – С. 149-153.
7. Шахновский С.С. Расчет мощности торцового шлифования. Станки и инструмент, №2, 1987, С. 23 – 24.
8. Кальченко В.В., Пасов Г.В., Лясота В.Ю. Активний контроль зняття припуску при шліфуванні торців циліндричних деталей // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Міжн. наук.-техн. журнал. – Хмельницький: Технол. ун-т Поділля, 1999. № 3, С. 165 – 167.
9. А.с. 1234163 СССР МКИ В24В 5 / 04. Способ круглого шлифования с продольной подачей // Кальченко В.И., опубл. 1986, бюл. 20.