

УДК 621.914.1 DOI 10.36910/6775-2313-5352-2021-19-15

Марчук В.І., Гринюк С.В., Марчук І.В., Божко Т.Є.

Луцький національний технічний університет

**ПРО ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕРИВЧАСТОГО КРУГА НА
ТЕМПЕРАТУРУ В ЗОНІ БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ**

В роботі розглядається вплив конструктивних параметрів переривчастого круга на температуру в зоні безцентрового шліфування. На показник теплонапруженості процесу безцентрового шліфування поверхонь обертання підшипників впливає значна кількість технологічних чинників серед яких схема шліфування, спосіб охолодження та ряд фізико-хімічних чинників.

У роботі проведено експериментальні дослідження, які підтвердили результати моделювання температурних процесів у зоні безцентрового переривчастого шліфування заготовки. Площа контакту абразивного кола із заготовкою являє собою вузьку смужку прямокутної форми, яка рухається по поверхні заготовки. У цьому випадку температурне поле можна розрахувати за схемою рухомого нескінченно довгого джерела поверхневої смуги.

Ключові слова: *модель, шліфувальний круг, шліфування, температура, деталь.*

Вступ. Ідея створення переривчастого шліфування складається з періодичного переривання контакту круга з деталлю і виключення теплового насичення поверхневих шарів оброблюваного матеріалу для зменшення температури різання. Характерною особливістю переривчастого шліфування є самооформлення макро профіля робочих виступів круга. Процес знімання матеріалу в таких умовах відрізняється від звичайного шліфування.

Математична модель процесу шліфування як об'єкта управління повинна відображати взаємозв'язок сил різання і регулюючих впливів, враховуючи вплив на динаміку процесу шліфування зносу круга і характеристик пружної системи [1].

Огляд та аналіз попередніх досліджень. Теоретичне дослідження температур для різних схем шліфування дозволяє зробити висновок, що граничний стан температурного поля (теплового насичення) настає не відразу після початку процесу шліфування. Від початку процесу до встановлення граничного стану існує малий, але фізично відчутний проміжок часу, протягом якого шліфування протікає в нестационарному режимі. Наявність цього тимчасового проміжку можна підтвердити експериментально, шляхом визначення температури. Нестационарний режим роботи в процесі шліфування відкриває принципову можливість зниження контактних температур за рахунок періодичного переривання процесу [2].

Зона контакту абразивного круга з деталлю під час безцентрового шліфування поверхонь обертання представляє вузьку смужку прямокутної форми, що рухається вздовж поверхні деталі. Температурне поле в такому випадку можна розраховувати за схемою рухливого нескінченно довгого поверхнево-смугового джерела. Під час шліфування температурне поле в системі координат, зв'язаної з джерелом, починає прямувати до стану теплового насичення, процес встановлюється і поле стає квазістационарним. Інтервал до настання наступного циклу повинен бути таким, щоб поверхня встигла охолонути до вихідної температури. Такий процес можна реалізувати, якщо поверхню абразивного круга зробити не суцільною, а переривчастою, тобто розбити її на ряд виступів, які чергуються. Для визначення розмірів різального виступу та канавок необхідно знати час теплового насичення та час охолодження до вихідної температури [3].

Виклад основного матеріалу. Для розв'язання задачі, пов'язаної зі розрахунком температури в зоні різання у роботі було прийнято наступну розрахункову схему (рис.1).

$$\int_0^{2h} \exp\left(-\frac{X^2 + (Z - Z' + V_\delta \cdot \tau)^2}{4a \cdot \tau}\right) \cdot dZ' = \sqrt{\pi \cdot a \cdot \tau} \cdot (1 - \Phi(U_1)). \quad (3)$$

Тоді температурне поле в процесі теплового насичення визначається залежністю:

$$\theta = \frac{g}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \int_0^\tau \frac{1}{\tau} \sqrt{\pi \cdot a \cdot \tau} \cdot (1 - \Phi(U_1)) \cdot d\tau = \frac{g\sqrt{a}}{2\sqrt{\pi} \cdot \lambda} \cdot \int_0^\tau \frac{1 - \Phi(U_1)}{\sqrt{\tau}} \cdot d\tau. \quad (4)$$

Якщо $Z=2h$, то $U_1 = \frac{Z - 2h + V_\delta \cdot \tau}{2\sqrt{a \cdot \tau}} = \frac{V_\delta \cdot \tau}{2\sqrt{a \cdot \tau}} = \frac{V_\delta \cdot \sqrt{\tau}}{2\sqrt{a}}$.

$$dU_1 = \frac{V_\delta}{2\sqrt{a}} \cdot \frac{1}{2\sqrt{\tau}} \cdot d\tau \Rightarrow \frac{d\tau}{\tau} = \frac{4\sqrt{a}}{V_\delta} dU_1. \quad (5)$$

при $\tau = 0; U_1 = 0; U_1 = \frac{V_\delta \cdot \sqrt{\tau}}{2\sqrt{a}}$.

Після проведених перетворень отримали рівняння, що виражає залежність температури на шліфованій поверхні від часу:

$$\theta = \frac{2g \cdot a}{\lambda \cdot \sqrt{\pi} \cdot V_\delta} \cdot \left[\frac{V_\delta \sqrt{\tau}}{2\sqrt{a}} \left(1 - \Phi\left(\frac{V_\delta \sqrt{\tau}}{2\sqrt{a}}\right) \right) - \frac{\exp\left(-\frac{V_\delta^2 \cdot \tau}{4a}\right) - 1}{\sqrt{\pi}} \right]. \quad (5)$$

Виразом (5) зручно користуватися, якщо представити залежність між температурою та часом у критерійному вигляді.

Прийнявши $Q_n = \frac{\pi \cdot \lambda \cdot V_\delta \cdot \theta}{2g \cdot a}$ за відносну температуру, вираз (5) набуде вигляду:

$$(Q_n = \sqrt{P^2 \cdot F} \cdot (1 - \Phi(\sqrt{P^2 \cdot F})) - \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \exp[-(P^2 \cdot F) - 1]). \quad (6)$$

Залежність (6) дозволяє визначити час, протягом якого температура поверхні досягне якої-небудь заздалегідь заданої величини. На рис. 2 наведено графічну залежність виразу (6) від критеріїв $P^2 \cdot F$ [5].

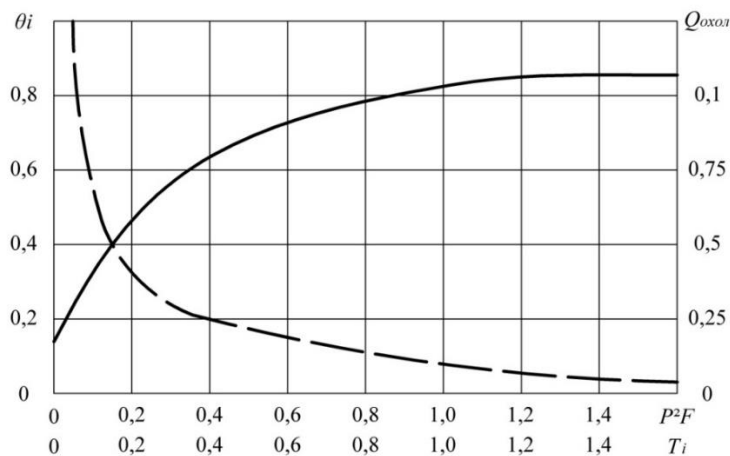


Рис. 2. Зміна температури за часом теплового насичення

Другим етапом теоретичних розрахунків температури в зоні різання під час оброблення абразивним переривчастим інструментом є визначення величини зниження температури залежно від часу припинення процесу шліфування.

Розглянемо задачу про зміну температури вільної поверхні шляхом теплообміну. Зміну середньої температури вважаємо постійною для фіксованого моменту часу. Для оцінки процесу охолодження вільної поверхні прийемо наступну теплову схему: оскільки швидкості охолодження поверхні за рахунок теплообміну з ЗОР після припинення дії джерела тепла великі, то можна знехтувати розсіюванням тепла по осі Z за рахунок теплопровідності. За рахунок введення цього припущення розрахунковий процес охолодження поверхні буде відбуватися дещо повільніше, ніж реальний.

Таким чином, задачу зміни середньої температури поверхні в процесі охолодження зведено до вирішення наступного рівняння:

Розв'язком такої задачі при $X=0$ буде наступна функція [124]:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau_{\text{охол}}} = a \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2}. \quad (7)$$

$$\frac{\theta - \theta_{\text{охол}}}{\theta_0 - \theta_{\text{охол}}} = \exp \left[\left(\frac{\alpha \cdot n}{\lambda} \right)^2 \cdot a \cdot \tau_{\text{охол}} \right] \cdot \left[1 - \Phi \left(\frac{\alpha}{\lambda} \cdot \sqrt{a \cdot \tau_{\text{охол}}} \right) \right]. \quad (8)$$

Записавши рівняння в вигляді критерію, отримаємо:

$$Q_{\text{охол}} = \exp \theta_i^2 \cdot [1 - \Phi(\theta_i)], \quad (9)$$

де $\theta_i = \frac{\alpha \cdot \sqrt{\tau_{\text{охол}}}}{\lambda \cdot c \cdot \gamma}$ – критерій Тихонова.

Розрахуємо геометричні параметри і час, після закінчення якого забезпечується зниження температури на 25-30% від максимального значення.

Вихідні дані: матеріал деталі сталь ШХ15; швидкість деталі $V_d=600$ мм/хв; швидкість круга $V_{\text{кр}}=30$ м/с; $v_{\text{випр ЗОР}}=7$ л/с; зовнішній радіус шліфувального круга $R=250$ мм; ширина зони контакту $h=12$ мм; коефіцієнт теплообміну

$v \approx 5,2 \cdot 10^4 v_{\text{випр}}^{0,8}$ Вт/м²·°C; коефіцієнт теплопровідності матеріалу $a = 0,08$ см²/с; коефіцієнт теплопровідності матеріалу $\lambda=39 \dots 40$ Вт/м·°C при температурі 400°C.

З графіку (рис. 2) видно, що $Q = 0,75$ та відповідає комплексу $P^2 \cdot F = 0,63$, отже:

$$\tau = \frac{0,63 \cdot 4 \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{(5/60)^2} = 0,0029 \text{ с}. \quad (10)$$

Час досягнення визначеної температури залежить від швидкості джерела, що дозволяє змінювати цей час у широких межах. Після того, як процес шліфування припинився, наступає невеликий часовий проміжок, протягом якого поверхня охолоджується потоком ЗОР. Проміжок часу між двома сусідніми робочими виступами повинен бути таким, щоб поверхня могла охолонути на визначену величину. Оскільки поверхня в перерві між робочими циклами вільна, теплообмін здатний істотно змінити її температуру.

Час, необхідний для охолодження поверхні знайдемо виходячи з умови $\frac{\alpha}{\lambda} \cdot \sqrt{a \cdot \tau_{\text{охол}}} = 0,24$ (рис.2). Підставивши дані, було отримано наступне:

$$\tau_{\text{охол}} = \frac{0,24^2 \cdot 40^2}{(5,2 \cdot 10^4 \cdot 7 \cdot 0,8)^2 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} = 0,0021 \text{ с}. \quad (11)$$

Знаючи час охолодження можна визначити ширину канавки на циліндричній поверхні шліфувального круга:

$$l_{\text{канавки}} = V_{\text{кр}} \cdot \tau_{\text{охол}} = 30 \cdot 10^3 \cdot 0,00021 = 6,3 \quad (12)$$

Ширину різального виступу знайдемо з умови:

$$l_{\text{виступу}} = V_{\text{кр}} \cdot \tau = 30 \cdot 10^3 \cdot 0,0029 = 87 \quad (13)$$

Однакового зниження температури можна досягнути при різних співвідношеннях різального виступу та впадини. Оскільки $l_{\text{кан}}/l_{\text{вист}} < 0,1$, то механічна стійкість переривчастого круга не поступається суцільному, тому є можливість зменшити число пазів шляхом збільшення ширини канавки та різального виступу [6].

Число різальних виступів можна визначити з умови:

$$\varepsilon_{\text{вис}} = \frac{2\pi \cdot R}{l_{\text{впад}} + l_{\text{вис}}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 250}{12 + 119} = 12 \quad (14)$$

Висновки. В результаті було отримано адекватне рівняння математичної моделі теплонапруженості безцентрового шліфування, на основі якого встановлено закономірність

зміни температури та проведено моделювання теплонапруженості процесу різання, шляхом вибору раціональних режимів.

Дослідження температури від $V_{кр}$, V_d , t для випадку шліфування сталі ШХ15 показало, що практично за будь-яких режимів різання температура контакту абразивного переривчастого інструменту з подачею ЗОР через канавки помітно нижча, ніж для суцільного круга з подачею ЗОР методом поливу. До того ж чим інтенсивніші режими шліфування, тим ця різниця більша.

Причини зниження температури під час переходу від суцільного шліфування до переривчастого наступні:

по-перше, це менша інтенсивність теплоутворення. Потужність тепловиділення пропорційна тангенціальній силі різання P_z , а вона під час переривчастого шліфування нижча на 20...30%, ніж при суцільному шліфуванні;

по-друге, канавки переривчастого інструменту розраховані так, щоб за час контакту різального виступу з оброблюваною поверхнею температура не встигала встановитися і, отже, не досягала свого максимального значення.

Регулюючи ширину виступів, можна керувати процесом теплоутворення в будь-який момент, від початку контакту, забезпечуючи регламентоване значення температури. За час переривання контакту, тривалість якого залежить від ширини канавки, відбувається охолодження контактної поверхні заготовки, потім знову нагрівання і тощо. Чим менше відношення ширини виступу до ширини канавки круга, тим нижча температура переривчастого шліфування за інших рівних умов. В процесі переривчастого шліфування ЗОР подається безпосередньо в зону різання, чого під час суцільного шліфування досягнути складно, тому тепловідведення в зовнішнє середовище під час переривчастого шліфування інтенсивніше, ніж під час звичайного.

Інформаційні джерела

1. Марчук В.І. Технологічні основи забезпечення якості робочих поверхонь кілець роликотідшипників [Текст]: дис. д-ра техн. наук: 05.02.08 / Марчук Віктор Іванович; Луцький держ. технічний ун-т. - Луцьк, 2004. - 458 арк.+ дод.: 150арк. - арк. 430-458
2. Марчук В.І., Равенець Л.М., Гринюк С.В. Технологічне керування теплонапруженістю процесу безцентрового шліфування кілець роликотідшипників// Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади» - Луцьк: Видавництво ЛНТУ. - Вил. 7. - 2015. - С. 87-90.
3. Marchuk V., Hrynjuk S., Hrysjuk I. An analysis of intercommunications of technological factors is with indexes of quality of polishing operations // Technological Complexes. - Lutsk, 2017 - №1(14) -Р. 36-43.
4. Марчук В.І., Марчук І.В., Гринюк С.В., Сачковська Л.О. Моделювання процесу безцентрового шліфування робочих поверхонь кілець роликотідшипників в умовах серійного виробництва // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки») - Луцьк: Луцький НТУ, 2019. Вип. 66. - С. 234-239.
5. Марчук В.І., Гринюк С.В., Марчук І.В., Сачковська Л.О. Динамічна модель процесу шліфування переривчастими кругами // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади». - Луцьк: Луцький НТУ, 2020. - №16. - С.33-37. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2020-16-5>
6. Marchuk V.I., Marchuk I.V., Dzhuguryan T.G., Grinyuk S.V., Karpjuk V.O. On the influence of operating characteristics of grinded wheels on the quality indicators of grinded parts // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади». - Луцьк: Луцький НТУ, 2020. - №17. - С.86-92. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2020-17-13>
7. Джугурян Т.Г. Марчук І.В. Технологічне забезпечення точності та якості поверхонь обертання в підшипниковому виробництві/ «Перспективні технології та прилади». Збірник наукових праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2017. – Випуск №12(1). - С. 111-119.
8. V. Marchuk, D.Sc., T. Dzhuguryan, D.Sc., I. Marchuk, Ph.D, L. Sachkovska. The effect of temperature on the grinding surface quality ring roller. Promising technologies and devices №15 2019, Lutsk NTU. Pp. 58-62 doi: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-8>
9. Dzhuguryan T.G., Marchuk V.I., Marchuk I.V. Calculation oscillations of various elements of the elastic system of the center-free grinding machine SASL 5AD. Promising technologies and

devices №16, 2020, Lutsk NTU - Articles 160-166 DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2020-16-23>

Marchuk V.I., Hryniuk S.V., Marchuk I.V., Bozhko T.
Lutsk National Technical University

ON THE INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF A BREAKING CIRCUIT ON TEMPERATURE IN THE ZONE OF CENTERLESS GRINDING

The paper considers the influence of the design parameters of the discontinuous circle on the temperature in the area of centerless grinding. The rate of thermal stress of the process of centerless grinding of bearing surfaces is influenced by a significant number of technological factors, including the grinding scheme, the method of cooling and a number of physico-chemical factors.

Experimental studies were carried out, which confirmed the results of modeling of temperature processes in the area of centerless intermittent grinding of the workpiece. The area of contact of the abrasive wheel with the workpiece is a narrow strip of rectangular shape, which moves on the surface of the workpiece. In this case, the temperature field can be calculated according to the scheme of a moving infinitely long source of the surface strip.

Key words: model, grinding wheel, grinding, temperature, detail.

Марчук В.И., Гринюк С.В., Марчук И.В., Божко Т.Е.
Луцкий национальный технический университет

О ВЛИЯНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕВЕРСТВЕННОГО КРУГА НА ТЕМПЕРАТУРУ В ЗОНЕ БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

В работе рассматривается влияние конструктивных параметров прерывистого круга на температуру в зоне бесцентровой шлифовки. На показатель теплонапряженности процесса бесцентрового шлифования поверхностей вращения подшипников влияет значительное количество технологических факторов, среди которых схема шлифования, способ охлаждения и ряд физико-химических факторов.

В работе проведены экспериментальные исследования, подтвердившие результаты моделирования температурных процессов в зоне бесцентрового прерывистого шлифования заготовки. Площадь контакта абразивной цепи с заготовкой представляет собой узкую полосу прямоугольной формы, которая движется по поверхности заготовки. В этом случае температурное поле можно рассчитать по схеме движущегося бесконечно длинного источника поверхностной полосы.

Ключевые слова: модель, шлифовальный круг, шлифовка, температура, деталь.