

Олексій Володимирович Вовк

аспірант

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: aleksey1740vovk@gmail.com**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ
ШЛЯХОМ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ РІЗАННЯ**

Процес шліфування є одним з основних видів фінішної обробки металів на більшості виробництв не тільки України, а і світу. Однак під час шліфувальних операцій у зоні обробки значною мірою зростають температури, які викликають ряд дефектів готового виробу. Для покращення якості виробу температуру в зоні обробки потрібно знижувати. Для розуміння того які параметри впливають на зростання температури і яким чином можна знизити її розглядається математична модель побудована на основі рівняння теплопровідності. Представлена в статті інформація має оглядовий характер.

Ключові слова: шліфування; плоска поверхня; зниження температури різання; підвищення якості поверхні; рівняння теплопровідності.

Рис.: 2. Бібл.: 4.

Актуальність теми дослідження. Якість поверхонь готових виробів (деталей) безпосередньо впливає на якість деталі загалом та на її експлуатаційні характеристики. Доволі широко в ролі фінішних методів обробки використовується такий метод обробки, як шліфування. Під час шліфування будь-якої поверхні (циліндричної чи плоскої) відбувається знімання стружки великою кількістю ріжучих кромок, які вступають у контакт одночасно. Під час цього процесу відбувається виділення тепла. Однак при обробці плоских поверхонь складніше відбувається вивільнення такого тепла із зони обробки, і воно спричинює негативні наслідки на поверхневий шар оброблюваної поверхні, а саме, виникають припали, мікротріщини та інші дефекти як на поверхні обробленої деталі, так і в структурі поверхневого шару. Для усунення дефектів, тобто для підвищення ефективності обробки шліфуванням плоских поверхонь необхідно створити умови для зменшення температури в зоні обробки. Для розуміння того, що саме необхідно змінювати використовують математичні моделі.

Постановка проблеми. Регулювання температури в зоні обробки плоских поверхонь на сьогодні стоїть достатньо гостро і проводяться дослідження в цьому напрямку, оскільки в сучасних умовах висувуються достатньо жорсткі вимоги до деяких вузлів машин та агрегатів, у тому числі до шорсткості поверхонь цих з'єднань, що впливає на точність, довговічність тощо таких машин та агрегатів. І нині вплинути на температуру в зоні обробки можливо за рахунок використання мастильно-охолоджувального технологічного середовища, за рахунок конструкції абразивних кругів, зміни глибини шліфування, використання методів сухого охолодження стиснутим повітрям тощо. Однак щоб більш ефективно впливати на температуру процесу шліфування, необхідно зрозуміти шляхи її виникнення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням щодо підвищення якості деталей під час процесу шліфування достатньо давно займається велика кількість дослідників, зокрема в роботах А. В. Якімова та В. А. Новікова [1-4] представлені способи зниження температури, виявлені на основі рівняння теплопровідності. Тобто основними запропонованими методами зниження температури в зоні шліфування є переривчасте шліфування, використання високо пористих абразивних кругів. Також Ф. В. Новіков запропонував звернути увагу на глибину проникнення тепла в поверхневий шар матеріалу, що оброблюється. Тобто не вважати його, не як нескінченний елемент, а як значення, яке має свої якісь границі, оскільки дослідники попередніх років вважали, що глибина проникнення тепла під час шліфування нескінченна, що ускладнює процес визначення розподілу цього тепла в стружку та в саму деталь.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз показав, що математична модель процесу шліфування плоских поверхонь, яка побудована на основі рівняння теплопровідності, не враховує розподілення тепла між стружкою та поверхневою деталлю через те, що не враховується глибина проникнення тепла.

Мета дослідження. Провести теоретичний аналіз розподілу тепла між стружкою та плоскою поверхнею деталі, що шліфується, та на цій основі визначити способи зменшення температури в зоні обробки.

Виклад основного матеріалу. У реальному процесі шліфування відбувається контакт із заготовкою не тільки зерен, а і зв'язки та зерен, які ковзають по поверхні заготовки. І в цьому випадку вже розглядають ті зерна, які беруть участь в обробці, то тепло, як і при обробці різанням, йде в стружку і невелика частина тепла в заготовку. Інше тепло, яке нагріває заготовку, отримується в результаті поверхневого тертя ковзаючих зерен, зв'язки та стружки, яка не має можливості вільно вивільнитися. Проте при побудові математичної моделі вважаємо, що джерело тепла є суцільним.

Спрощена розрахункова схема (рис. 1), у якій нагрів при обробці представлений у вигляді елементарних адіабатичних стрижнів, по яких відводиться тепло із зони різання в глиб деталі. Такий підхід спрощує розрахунки та зводиться до визначення закону розподілу температури вздовж адіабатичного стержня, на торці якого (в зоні контакту шліфувального круга та деталі) діє теплове джерело протягом часу τ із щільністю q .

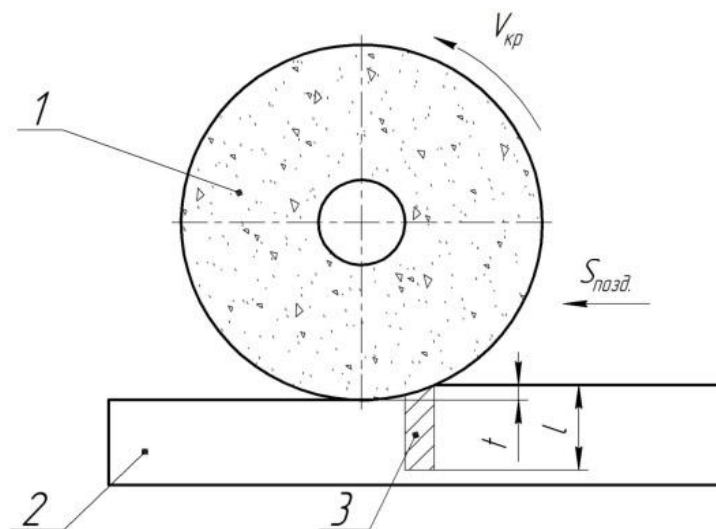


Рис. 1. Спрощена схема плоского шліфування [5]:
1 – абразивний круг, 2 – заготовка, 3 – адіабатичний стрижень,
 t – глибина різання (шліфування), l – глибина нагріву деталі

У цьому випадку максимальна температура θ в зоні обробки буде визначена за залежністю:

$$\theta = q \cdot \sqrt{\frac{\tau}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} \quad (1)$$

де q – щільність теплового потоку, Вт/м²;
 λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м·град);
 c – питома теплоємність матеріалу, Дж/(кг·град);
 ρ – щільність матеріалу, кг/м³.
 τ – час дії теплового джерела, с;

Однак така залежність не дає можливості визначити дійсну глибину z проникнення тепла в деталь. Вирішується ця проблема введенням початкового θ_n та кінцевого значення температури θ_k ($d\theta = \theta_n - \theta_k$), для спрощення розрахунків водяться такі значення $\theta_k=0$, $\theta_n = \theta$. Та водимо глибину проникнення тепла в поверхневий шар оброблюваної заготовки l_2 ($dx=l_2$). Тоді:

$$\theta = \frac{q \cdot l_2}{\lambda} = q \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \tau}{c \cdot \rho \cdot \lambda}} \quad (2)$$

З цього рівняння видно, що чим більше l_2 , тим більша температура θ . Відповідно зменшення температури можна за рахунок зменшення величини l_2 , фактично виключити проникнення тепла в деталь.

Для практичного використання в рівняння введемо час контакту інструменту (шліфувального круга) з деталлю $\tau=l/V_{\text{дет}}$ і після перетворень маємо:

$$\theta = \sigma \cdot t \cdot \sqrt{\frac{2}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \cdot \frac{V_{\text{дет}}}{\sqrt{2 \cdot t \cdot R_{\text{кр}}}}} = \sigma \cdot \sqrt{\frac{Q_{\text{уд}}}{c \cdot \rho \cdot \lambda} \sqrt{\frac{2 \cdot t}{R_{\text{кр}}}}} \quad (3)$$

де σ – умовне напруження різання, Н/м²

$Q_{\text{уд}}$ – питому продуктивність обробки, м²/с

$V_{\text{дет}}$ – швидкість деталі, м/с

t – глибина шліфування, м

$R_{\text{кр}}$ – радіус інструменту (шліфувального круга), м

Згідно з цією умовою вплинути на температуру θ в зоні обробки можна за рахунок зменшення параметрів σ , t , $V_{\text{дет}}$ або зменшення глибини шліфування t за умови $Q_{\text{уд}} = \text{const}$. Зменшення глибини шліфування та збільшення швидкості деталі $V_{\text{дет}}$ буде вимагати багато прохідну обробку.

Вищенаведена формула (3) з визначення максимальної температури справедлива лише при розподіленні тепла тільки в заготовку, а в реальному процесі шліфуванні нагрів відбувається і стружки, і інструменту, при цьому відбувається зменшення температури θ та величини l_2 . Отже, далі розглянемо розподілення тепла, що виділяється під час шліфування і в стружку.

Для врахування вищезазначених умов було запропоновано вести поправочний коефіцієнт, величина якого від 0 до 1. Цей коефіцієнт враховується залежно від умов обробки й визначається зазвичай від експериментальних даних, тобто на основі експериментів визначено, що в тих чи інших умовах кількість тепла більше уходить то в стружку, то в заготовку. Однак використання поправочного коефіцієнта не дозволяє його використовувати в узагальненому вигляді й використовувати при будь-яких умовах.

Було запропоновано аналітичне вирішення цієї задачі з урахуванням руху теплового джерела вздовж адіабатичного стержня в межах товщини шару, що знімається (рис. 2), тобто відбувається перерізання адіабатичного стержня. Швидкість такого пере різання стержня $V_{\text{різ}} = t/\tau$, де τ – час перерізання адіабатичного стержня.

Розрахунки в цьому випадку побудовані на теорії, що тепло, яке виділяється під час шліфування нагріває дві ділянки адіабатичного стержня, які поділені на $l_1 = t$ та l_2 , тобто на ділянку деталі, яка після обробки стає стружкою, та ділянкою, яка описує глибину проникнення тепла. Для подальших розрахунків необхідно визначити час τ_2 необхідний на нагрівання не видаленої частини адіабатичного стержня. Це дозволить визначити частини розподілення тепла в заготовку та стружку.

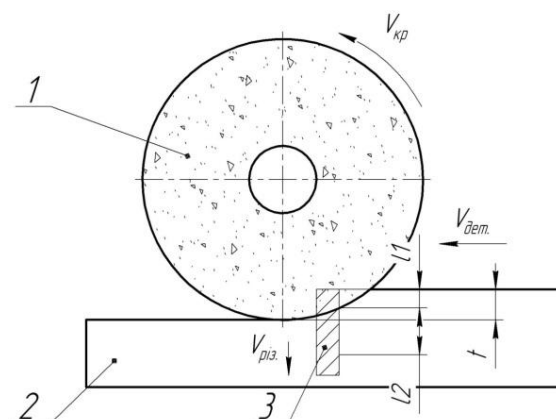


Рис. 2. Схема плоского шліфування при врахуванні розподілу тепла в стружку:
1 – абразивний круг; 2 – заготовка; 3 – адіабатичний стрижень; t – глибина різання (шліфування); l_1 – частина адіабатичного стержня, що видаляється;
 l_2 – частина адіабатичного стержня, що не видаляється

Баланс тепла, яке витрачається на нагрівання двох частин адіабатичного стержня:

$$c \cdot \rho \cdot S \cdot V_{\text{різ}} \cdot \theta + \frac{\lambda \cdot c \cdot \rho}{\sigma \cdot V_{\text{різ}}} \theta \cdot \frac{d\theta}{d\tau} = \sigma \cdot V_{\text{різ}} \quad (4)$$

$$\text{де } q = \sigma \cdot V_{\text{різ}} \quad (5)$$

Отже, температура в зоні обробки буде:

$$\theta = \frac{\sigma}{c \cdot \rho} \left(1 - e^{-\frac{c \cdot \rho \cdot V_{\text{різ}}^2}{\lambda} \tau} \cdot e^{\frac{c \cdot \rho}{\sigma} \theta} \right) \quad (6)$$

Визначено, що температура θ безперервно збільшується та асимптотична наближається до максимального значення $\theta_{\text{max}} = \sigma / (c \cdot \rho)$. Отже:

$$\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{\text{max}}} \right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{\text{max}}}} = e^{\frac{c \cdot \rho \cdot V_{\text{різ}}^2}{\lambda} \tau} \quad (7)$$

За умови $\tau=0$ вираз $\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{\text{max}}} \right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{\text{max}}}} = 1$, тоді $\frac{\theta}{\theta_{\text{max}}} = 0$;

За умови $\tau \rightarrow \infty$ вираз $\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{\text{max}}} \right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{\text{max}}}} = 0$, тоді $\frac{\theta}{\theta_{\text{max}}} = 1$.

Робимо висновок, що при зміні часу τ від 0 до ∞ , співвідношення $\theta / \theta_{\text{max}}$ змінюється в межах від 0 до 1.

Швидкість перерізання адіабатичного стержня інструментом (шліфувальним кругом) визначається:

$$V_{\text{різ}} = V_{\text{дет}} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{\text{кр}}}}, \quad (8)$$

де $R_{\text{кр}}$ – радіус шліфувального круга, м.

Підставляємо у формул (6) та (7) та маємо:

$$\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{\text{max}}} \right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{\text{max}}}} = e^{\frac{c \cdot \rho}{\lambda} V_{\text{дет}} \cdot t \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{\text{кр}}}}}, \quad (9)$$

або

$$\left(1 - \frac{\theta}{\theta_{\text{max}}} \right) \cdot e^{\frac{\theta}{\theta_{\text{max}}}} = e^{\frac{c \cdot \rho}{\lambda} Q_{\text{уд}} \cdot \sqrt{\frac{t}{2 \cdot R_{\text{кр}}}}}, \quad (10)$$

де $Q_{\text{уд}}$ – питома продуктивність обробки, $\text{м}^2/\text{с}$, $Q_{\text{уд}} = V_{\text{дет}} \cdot t$.

На основі визначених залежностей та на основі проведених розрахунків було визначено, що зі збільшенням глибини шліфування t співвідношення $\theta/\theta_{\max}$ збільшується, асимптотична наближаючись до 1. При цьому глибина шліфування t змінюється в широких межах.

Також зі збільшенням питомої продуктивності обробки $Q_{\text{уд}}$ відбувається збільшення $\theta/\theta_{\max}$ при цьому охоплюється менший діапазон можливої зміни глибини шліфування.

Швидкість деталі $V_{\text{дет}}$ зі збільшенням глибини шліфування значно зменшується, що передбачає використання схеми глибинного шліфування. Схема багатопрохідного шліфування (тоді забезпечується збільшення швидкості деталі $V_{\text{дет}}$) можлива при відносно невеликих значеннях $\theta/\theta_{\max} < 0,2 \dots 0,4$.

Основною умовою зменшення температури шліфування θ є зменшення умовного напруження різання σ за рахунок використання більш прогресивних методів механічної обробки включаючи обробку як абразивними, так і лезвийними ріжучими інструментами. Тому проблему зниження енергоємності механічної обробки слід розглядати основною з погляду зменшення температури різання і підвищення якості та продуктивності обробки.

Висновок. Отже, у роботі визначено, що вплинути на температуру в зоні обробки та продуктивність шліфування можна за допомогою:

- 1) зменшення умовного напруження різання σ ;
- 2) зменшення глибини шліфування t ;
- 3) зменшення швидкості деталі $V_{\text{дет}}$;
- 4) виконання багатопрохідної обробки при збільшених значеннях глибини шліфування t та швидкості деталі $V_{\text{дет}}$;
- 5) збільшення довжини контакту круга із заготовкою, що оброблюється (зниження температури). Наприклад, застосувати схеми плоского торцевого шліфування.

Список використаних джерел

1. Новіков, Ф. В. (2014). *Математичне моделювання та оптимізація процесів металообробки*. ХНЕУ ім. С. Кузнеця.
2. Новіков, Ф., Жовтобрюх, В., Анділахай, А., Новіков, Д., & Полянский, В. (2018). *Сучасні технології та технічні переоснащення підприємств*. ЛІРА.
3. Новіков, Ф. (2007). Підвищення ефективності технології фінішної обробки деталей пар тертя поршневих насосів. У *Фізичні та комп'ютерні технології* (с. 8–20). ХНПК «ФЕД».
4. Новіков, Ф., Жовтобрюх, В., & Шкурупий, В. (2018). *Оптимальні рішення в технології машинобудування*. ЛІРА.

References

1. Novikov, F. V. (2014). *Matematychnе modeliuvannia ta optymizatsiia protsesiv metaloobrobky*. [Mathematical modelling and optimisation of metalworking processes] *Kharkivskiyi Natsionalnyi Ekonomichnyi Universytet imeni S. Kuznetsia - Kharkiv National University of Economics named after S. Kuznets*.
2. Novikov, F., Zhovtobriukh, V., Andilakhai, A., Novikov, D., & Polianskyi, V. (2018). *Suchasni tekhnolohii ta tekhnichni pereosnashchennia pidpriemstv*. [Modern technologies and technical re-equipment of enterprises.] LIRA.
3. Novikov, F. (2007). *Pidvyshchennia efektyvnosti tekhnolohii finishnoi obrobky detalei par terttia porshnevykh nasosiv*. [Improving the efficiency of the technology for finishing parts of piston pump friction pairs.] У *Fizychni ta kompiuterni tekhnolohii* (pp. 8–20). KhNPK «FED»- Physical and computer technologies (pp. 8-20). KHNPК “FED”.
4. Novikov, F., Zhovtobriukh, V., & Shkurupy, V. (2018). *Optymalni rishennia v tekhnolohii mashynobuduvannia*. [Optimal solutions in mechanical engineering technology.] LIRA.

Отримано 07.01.2025

Oleksiy Vovk

postgraduate

Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: aleksey1740vovk@gmail.com**INCREASING THE EFFICIENCY OF GRINDING FLAT SURFACES
BY ADJUSTING THE CUTTING TEMPERATURE**

The grinding process is one of the main types of metal finishing in most factories not only in Ukraine, but also in the world. However, during grinding operations in the processing area, temperatures increase significantly, which cause a number of defects in the finished product. Such defects significantly affect the accuracy, durability of finished products, operational characteristics, etc. To improve the quality of the product, the temperature in the processing area should be reduced. In order to understand how to influence the temperature in the grinding zone and at the same time leave high-performance processing, it is necessary to identify the dependence that will help to identify those parameters that have an impact on the temperature.

The main method of this publication is to conduct the theoretical analysis of the distribution of heat between the chip and the surface of the part being ground (in case of flat grinding) and, on this basis, to determine methods of reducing the temperature in the processing zone. Such theoretical information should be able to be used in practice.

Most of the scientific works that today consider the grinding process, including the grinding of flat surfaces, are based on simplified relationships that do not take into account the depth of heat penetration into the surface layer of the workpiece and do not take into account the distribution of heat between the chip and the workpiece.

The paper presents dependencies based on the heat conduction equation, which do not take into account heat distribution and take it into account. With the help of dependencies without taking into account heat distribution, it is known that the temperature is affected by both the grinding depth and the speed of the part. Dependencies taking into account heat separation into chips and workpiece are closer to the real grinding process, and these dependencies made it possible to conclude that the main condition for reducing the grinding temperature is the reduction of conditional cutting stress due to the use of more advanced machining methods.

The information presented in the article is of an overview nature.

Keywords: grinding; flat surface; reduction of cutting temperature; improvement of surface quality; heat conduction equation.

Fig.: 2. References: 5.