

УДК 621.922

В.Б.Наддачин¹, В.І.Марчук², С.М.Нечитайло¹¹ Одеський національний політехнічний університет² Луцький національний технічний університет

ВПЛИВ ВІБРАЦІЙ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПРИ ПЕРЕРИВЧАСТОМУ ШЛІФУВАННІ

При взаємодії шліфувального круга з оброблюваною деталлю, в зоні контакту можуть виникати миттєві контактні температури, що перевищують критичні точки перетворень для відповідних матеріалів, і що спричиняють за собою структурні і фазові зміни. При цьому стверджується, що якщо на деякий період часу переривати тривалість контакту круга з оброблюваною поверхнею, то миттєва контактна температура не встигне піднятися до своїх максимальних значень, а, отже, не виникне теплове насичення поверхні. Це рішення втілюється у використанні абразивного шліфувального інструменту з різальними виступами та западинами, які періодично чергуються.

Використання на операціях шліфування абразивного інструменту з переривчастою робочою поверхнею має дві характерні особливості:

- 1 - зниження температури процесу шліфування;
- 2 - наявність додаткових вимушених коливань інструменту певної частоти.

Розглянемо дію цих особливостей, в комплексі, на процес шліфування та їх вплив (дія) один на одного.

Відоме [1], що основним призначенням використання переривчастого шліфування було зниження температури процесу. Особливо при обробці відповідальних деталей машин з високолегованих загартованих і важкооброблюваних матеріалів. При взаємодії шліфувального круга з оброблюваною деталлю, в зоні контакту можуть виникати миттєві контактні температури, що перевищують критичні точки перетворень для відповідних матеріалів, і що спричиняють за собою структурні і фазові зміни. У області контакту інструменту з деталлю розрізняють три характерні зони: 1) зона перед тепловим джерелом, що наближається, з усередненою температурою процесу; 2) інтенсивні виділення тепла під джерелом, через різке зростання миттєвої контактної температури; 3) інтенсивні охолодження після проходження теплового джерела. У першій зоні температура поверхневого шару може досягати до 200...500 °С. В другій - до 800...1100 °С [2]. При цьому стверджується, що якщо на деякий період часу переривати тривалість контакту круга з оброблюваною поверхнею, то миттєва контактна температура не встигне піднятися до своїх максимальних значень, а, отже, не виникне теплове насичення поверхні. Це рішення втілюється у використанні абразивного шліфувального інструменту з різальними виступами та западинами, які періодично чергуються. Робиться висновок про те, що за рахунок переривчастого процесу різання можна значно зменшити температуру в зоні різання і уникнути появи дефектів шліфування. У роботах проф. Якімова А.В. [1,2,3], приведена можливість розрахунку "безрозмірної" температури θ , а потім, множенням на додатковий

множник визначена розмірна температура $T = \frac{2qa}{\pi\lambda V_d} \theta$. Далі задаючись відповідним відсотком

зниження температури (наприклад: 20...30%) і експериментально певними показниками (коефіцієнтами) α , A , B , v_0 , знаходиться величина розриву (протяжність паза l_2). На підставі цього робиться висновок про те, що саме варіювання протяжністю виступу і западини на різальній кромці круга здійснює вплив на коливання температури в зоні різання.

Ряд досліджень [1...3,4] надалі, був присвячений питанням фізики процесу переривчастого різання, зокрема наявності додаткових вимушених коливань інструменту певної частоти.

Було виявлено, що наявність переривчастості на різальній кромці шліфувального круга викликає додаткові коливання високої частоти. Наприклад: при обертанні шпинделя із швидкістю $n=2700$ об/хв, частота цих коливань складе $f=182$ Гц (при кількості пазів 4 шт), і $f=546$ Гц (при кількості пазів 12 шт). Тобто із збільшенням кількості виступів, частота коливань збільшуватиметься. Це підтверджується і безпосереднім записом траєкторії переміщення осі інструменту [4] (рис. 1).

В результаті коливального процесу, контакт різальної кромки, а отже і видалення припуску в кожну поточну мить часу змінюватиметься від максимального значення набраного по лімбу до мінімального (до нуля), включаючи і відрив від поверхні.

З урахуванням ударного процесу роботи передньої кромки виступу [4], і формуванні на ній "бар'єрного майданчика" (рис. 2) [1], знімання припуску здійснюється пошарово, тобто значно менше, ніж набраного за лімбом [3].

Вище сказане дозволяє зробити висновок про те, що саме коливальний процес безпосередньо впливатиме на зниження температури, а не величина переривчастості різальної кромки.



Рис. 1. Фрагмент запису траєкторії переміщення осі шпинделя

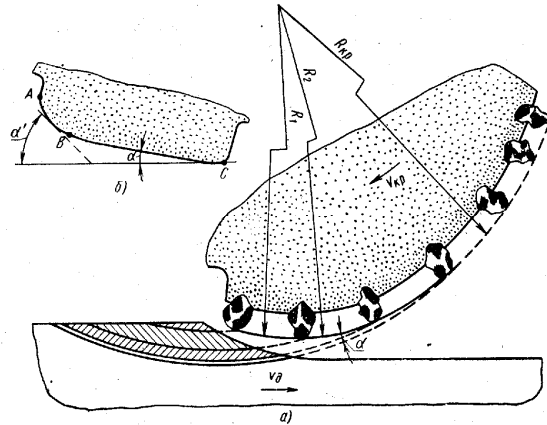


Рис. 2. Схема переривчастого шліфування з урахуванням ударного процесу роботи передньої кромки виступу та формування на ній "бар'єрного майданчика"

Проведені розрахунки показали, що при довжині паза $l_2 = 22$ мм (діаметр круга 250 мм), час проходження паза над поверхнею складає $\tau \approx 6,3 \cdot 10^{-4}$ с, а температура тіла за цей період знизиться усього на $T = 1,5 \cdot 10^{-3}$ °С (навіть при інтенсивному охолодженні).

Дані, наведені в роботі [5] підтверджують, що переривання процесу шліфування може понизити миттєву контактну температуру (локальну) і середню по поверхні контакту. Проте розриви робочої поверхні круга сильніше впливають на середню, чим на локальну температуру.

У зв'язку з наявністю височастотних коливань і пошаровим видаленням припуску знижуватиметься середня інтенсивність теплоутворення на поверхні деталі, і мало залежить безпосередньо від протяжності паза на різальній поверхні круга.

Як показали випробування, наприклад, при глибині шліфування суцільним кругом на режимах $t = 0,01$ мм і $t = 0,05$ мм температура різання складала $T = 700$ °С і 1100 °С (відповідно).

Якщо взяти до уваги і розрахунки, наведені автором [5] про те, що швидкість охолодження поверхні може скласти $\approx -5,4 \cdot 10^4$ °С/с, то навіть в цьому випадку, за час проходження паза $\tau \approx 6,3 \cdot 10^{-4}$ с (для наведеного прикладу), можливе пониження температури складе всього 34 °С. Що ні як не відіб'ється на стані поверхні.

Наведені вище розрахунки представлені для обробки при плоскому шліфуванні.

При використанні переривчастого процесу на операціях круглого зовнішнього або внутрішнього шліфування, з урахуванням наступної геометрії [6] і теплової напруженості на оброблюваній поверхні, вібрації спричинятимуть ще більшу роль.

Розглянемо деякі особливості взаємодії одиничного зерна абразиву з оброблювальним матеріалом (рис. 3).

Деформація основи зерна залежить від статичної сили різання (проекції сили різання на радіус), що діє на зерно:

$$\delta h = h_{\phi} - h_d = P_{nc} / c_z, \quad (1)$$

де P_{nc} - статична сила різання, діюча на зерно у напрямку сили різання; c_z - жорсткість основи зерна.

У першому наближенні припустимо, що сила різання лінійно залежить від фактичної глибини врізування зерна абразиву в деталь.

Тобто $P_{nc} = \chi_1 h_d$. Тоді

$$\delta h = \chi_1 h_d / c_z. \quad (2)$$

Звідси визначимо фактичну величину врізування зерна в поверхню деталі з урахуванням деформації зв'язки:

$$h_d = h_\phi / \left(1 + \frac{\chi_1}{c_z}\right) = \beta h_\phi, \quad (3)$$

де $\beta = (1 + \chi_1 / c_z)^{-1}$, причому $\beta < 1,0$.

Підставляючи у формулу (3) значення фактичного врізування зерна з формули

$h_\phi = A \left(1 - \frac{r \omega_\phi}{R \omega}\right) t - B \left(1 - 2 \frac{r \omega_\phi}{R \omega}\right) t^2 + C \left(1 - 3 \frac{r \omega_\phi}{R \omega}\right) t^3$ визначимо:

$$h_d(t) = A_2 t - B_2 t^2 + C_2 t^3, \quad (4)$$

де

$$A_2 = \beta \left(1 - \frac{r \omega_\phi}{R \omega}\right) A, \quad B_2 = \beta \left(1 - 2 \frac{r \omega_\phi}{R \omega}\right) B, \quad C_2 = \beta \left(1 - 3 \frac{r \omega_\phi}{R \omega}\right) C \quad (5)$$

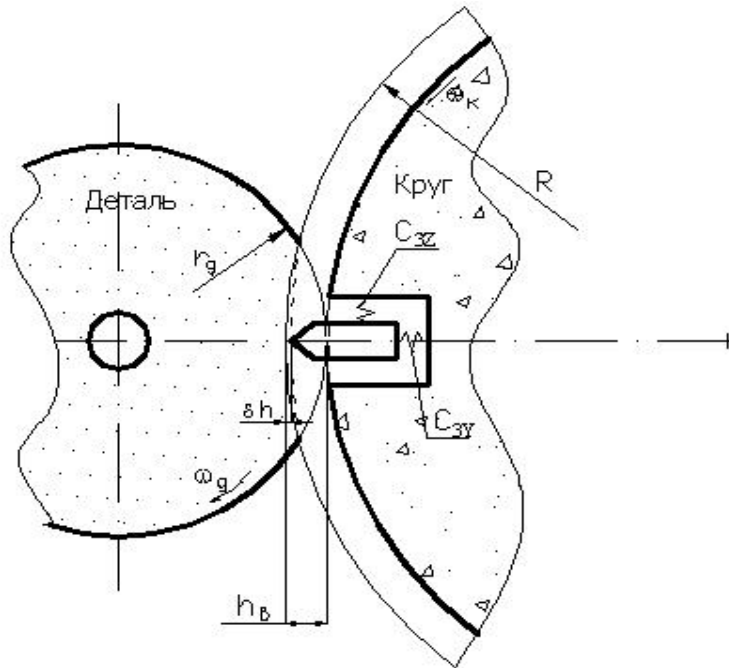


Рис. 3. Схема мікрорізання одиничним зерном для визначення впливу жорсткості зв'язки на глибину риски

Залежність (5) в цілому аналогічна раніше одержаним формулам $h_1 = A_1 t - B_1 t^2 + C_1 t^3$, $h = A t - B t^2 + C t^3$, $h_\phi = A \left(1 - \frac{r \omega_\phi}{R \omega}\right) t - B \left(1 - 2 \frac{r \omega_\phi}{R \omega}\right) t^2 + C \left(1 - 3 \frac{r \omega_\phi}{R \omega}\right) t^3$. Звідси слідує висновок, що деформованість основи зерна спричиняє на глибину канавки такий же вплив, як і зміна розміру деталі по довжині риски або обертання деталі.

Визначимо статичну силу різання діючу на окреме зерно абразиву в проекції на радіус круга. Підставляючи значення глибини риски з (4) у формулу (2), одержимо:

$$P_{nc}(t) = \chi_1 (A_2 t - B_2 t^2 + C_2 t^3). \quad (6)$$

Визначимо середнє значення статичної складової сили різання за час взаємодії зерна з поверхнею деталі. Середнє значення визначимо інтегралом:

$$P'_{nc} = \frac{1}{t_v} \int_{t_{v,0}}^{t_v} P_{nc}(t) dt, \quad (7)$$

де t_v - як і раніше, час взаємодії зерна з деталлю.

Підставляючи статичну силу різання з (6) в підінтегральний вираз (7), виконавши інтегрування, підстановку меж і перетворення, знайдемо:

$$P'_{nc} = \left(\frac{A_2 t_v}{2} - \frac{B_2 t_v^2}{3} + \frac{C_2 t_v^3}{4} \right) \quad (8)$$

Визначимо нестационарну силу різання P_{fi} , що діє на окреме зерно абразиву. Ця сила враховує інерційність процесу різання і описується диференціальним рівнянням:

$$T_p \frac{dP_{fi}}{dt} + P_{fi} = K_p S_a(t) \quad (9)$$

де T_p - постійна часу процесу різання; $S_a(t)$ - зміна в часі площі шару металу, який зрізається.

Для визначення площі прийемо, що елементарний перетин зерна абразиву може бути представлений у вигляді трапеції (рис. 4).

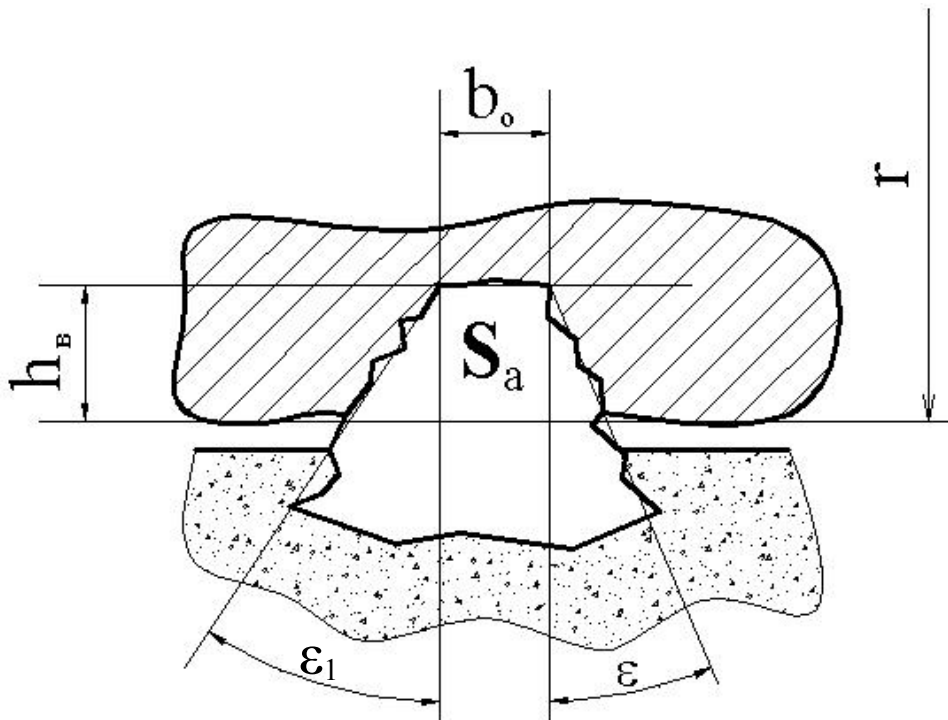


Рис. 4. Апроксимація елементарного перетину зерна абразиву трапецієподібним контуром:
 h_v - біжуча фактична глибина риски, що залишається зерном на поверхні деталі

Тоді площа перетину риски з поперечним перетином у вигляді трапеції:

$$S_a(t) = h_v (b_o + h_v \operatorname{tg} \epsilon), \quad (10)$$

де b_o - ширина верхньої частини зерна, h - глибина впровадження зерна в поверхню деталі, ϵ - кут нахилу бічної твірної зерна.

Підставимо значення глибини врізування зерна з (4) в (10) і визначимо після перетворень площу поперечного перетину риски у вигляді поліноміальної залежності:

$$S_a(t) = \sum_{n=1}^6 a_n t^n, \quad (11)$$

де коефіцієнти

$$a_1 = A_2 b_o; \quad a_2 = A_2^2 \operatorname{tg} \epsilon - B_2 b_o; \quad a_3 = c_2 b_o - 2 A_2 B_2 \operatorname{tg} \epsilon$$

$$a_4 = (2A_2C_2 + B_2^2)tg\varepsilon; \quad a_5 = -2B_2C_2tg\varepsilon; \quad a_6 = C_2^2tg\varepsilon \quad (12)$$

Визначимо об'єм стружки, що утворюється від різання одним зерном, прийемо його рівним об'єму металу, що видаляється з канавки. Вважаючи, що метал видаляється весь, одержимо об'єм металу у функції часу у вигляді залежності:

$$V_{ai} = \int_0^{t_v} S_a(t) dl, \quad (13)$$

де $l = l(t)$ - довжина дуги, що відповідає біжучій довжині риски.

Підставляючи значення $l(t) = R\omega dt$ і значення площі з (11) в підінтегральний вираз одержимо:

$$V_{ai} = \int_0^{t_v} R\omega \sum_{n=1}^6 a_n t^n dt. \quad (14)$$

Виконавши інтегрування і підстановку меж, одержимо об'єм металу, що видаляється за весь час взаємодії зерна і деталі, тобто об'єм заглиблення

$$V_{ami} = R\omega \sum_{n=1}^6 \frac{a_n}{(n+1)} t_v^{n+1}. \quad (15)$$

Враховуючи, що довжина риски, яка залишається зерном абразиву на поверхні деталі, дорівнює

$$l_{pmi} = R\omega t_v, \quad (16)$$

знайдемо середню площу перетину риски

$$S_{aic} = \frac{V_{ami}}{l_{pmi}} \sum_{n=1}^6 \frac{a_n}{(n+1)} t_v^n. \quad (17)$$

Середній об'єм риски служить кількісною мірою процесу знімання металу одним зерном абразиву.

Висновки: 1. Виходячи з вище наведеного, можна зробити висновок про те, що величина зниження температури за період проходження паза незначна. Отже, протяжність паза (його довжина) не чинить істотного впливу на зниження інтенсивності теплового потоку безпосередньо.

2. У теж час, чим менша протяжність виступу і паза, тим більшу кількість цих елементів (їх поєднання) можна розмістити на периферії круга, а значить і збільшиться частота коливань інструменту. В цьому випадку оптимальне співвідношення довжини паза і виступу повинне виходити з міцнісних характеристик інструменту. Як показали випробування це співвідношення повинне складати приблизно $\frac{1}{2}$.

3. Наявність переривчастості на робочій поверхні інструменту викликатиме його додаткові високочастотні коливання, які змінюють фізику процесу різання.

4. Таким чином, наявність пазів і їх протяжність чинять вплив на знімання припуску, його зменшення, і опосередковано на інтенсивність теплового потоку.

1. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования. М.: Машиностроение, 1975.- 176 с.
2. Якимов А. В. и др. Теплофизика механической обработки: Уч. пособие /А. В. Якимов, П. Т. Слободяник, А. В. Усов.- К.; Одесса: Лыбидь, 1991.- 240 с.
3. Якимов А. В. и др. Технология машиностроения: Учебник / А. В. Якимов, В. Н. Царюк, А. А. Якимов, Г. А. Оборский, В. П. Ларшин, А. В. Самойленко. – Одесса: Астропринт, 2001.- 608 с.
4. Наддачин В. Б. Причины вибрации шпиндельной системы станка и их влияние на процесс шлифования /Труды 6-й МНТК „Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве”/ Харьков,2002.- С. 140- 143.
5. Резников А. Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981.- 279 с.
6. Марчук В.І., Лінчевський П.А., Наддачин В.Б., Лапченко Ю.С. Моделювання формування хвилястості поверхонь обертання на операціях безцентрового шліфування кілець роликотідшипників. Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямком „Інженерна механіка”) Вип..15, Луцьк, 2004.- С.204-215.