

Ф.В. НОВИКОВ, д-р техн. наук, проф., ХНЕУ, Харків;
І.Є. ІВАНОВ, канд. техн. наук, ДВНЗ “ПДТУ”, Маріуполь.

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ЗНОШУВАННЯ КРУГА ПРИ ШЛІФУВАННІ

Вступ. Як встановлено практикою, при шліфуванні важкооброблюваних матеріалів однією з основних умов підвищення продуктивності обробки є реалізація режиму інтенсивного самозагострювання абразивного круга, що забезпечує його високу ріжучу здатність і високопродуктивне знімання припуску. Разом з тим, режим самозагострювання абразивного круга супроводжується його інтенсивним зношуванням, що не завжди економічно обґрунтовано. У зв'язку із цим важливо теоретично обґрунтувати закономірності зміни такого комплексного показника, як питома зношування круга, що визначає умови функціонування процесу шліфування. У науково-технічній літературі [1, 2, 3] наведені в основному результати експериментальних досліджень даного показника, теоретичні рішення відсутні, що не дозволяє повною мірою обґрунтувати можливості його регулювання. Необхідно відзначити, що питання математичного моделювання зношування абразивного круга при шліфуванні досить складні й мало вивчені. Тому аналітичний опис питомого зношування круга при шліфуванні є актуальним завданням, що має велике практичне значення.

Ціль роботи – провести теоретичне обґрунтування умов зменшення питомого зношування круга при шліфуванні.

Математична модель зношування круга при шліфуванні. У роботі [4] запропонований підхід до розрахунку питомого зношування круга при шліфуванні з урахуванням лінійного зношування максимально виступаючого зі зв'язки круга зерна до моменту його об'ємного руйнування або випадання зі зв'язки без руйнування. Для цього розглянута розрахункова схема, наведена на рис. 1. Прийнято, що величина лінійного зношування найбільш виступаючого зерна в момент його об'ємного руйнування дорівнює x_1 , а другого зерна – нижче розташованого, у той же момент – x_2 , де $x_2 < x_1$. Для того, щоб відбулося об'ємне руйнування другого зерна, воно повинне перетерпіти додаткове лінійне зношування на величину

$$\Delta_0 = x_1 - x_2. \quad (1)$$

Очевидно, чим більше Δ_0 , тим більше ресурс роботи зерна й менше

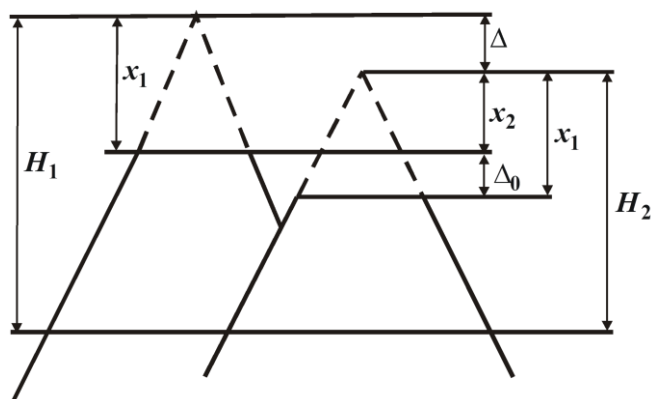


Рис. 1 – Розрахункова схема зношування зерен круга.

інтенсивність зношування круга. Параметри x_1 й x_2 виражаються залежностями

$$x_1 = \eta \cdot H_1, \quad x_2 = \eta \cdot H_2,$$

де η – безрозмірний параметр, що визначає ступінь лінійного зношування зерна до моменту його об'ємного руйнування або випадання зі зв'язки без руйнування (змінюється в межах $0 \dots 1$, для гострого зерна $\eta \rightarrow 0$, для

затупленого зерна $\eta \rightarrow 1$); H_1 – максимальна глибина впровадження оброблюваного матеріалу в робочу поверхню круга, відраховуючи її від вершини вихідного (незношеного) максимально виступаючого над рівнем зв'язки зерна; $H_2 = H_1 - \Delta$; Δ – відстань між вершинами двох найбільш виступаючих зі зв'язки зерен. З урахуванням співвідношень

$$\eta = \frac{x_1}{H_1} = \frac{x_2}{H_2} = \frac{x_1 - \Delta_0}{H_1 - \Delta}, \quad (2)$$

отримано

$$\Delta_0 = \eta \cdot \Delta. \quad (3)$$

Із залежності (3) випливає пропорційний зв'язок величини η й параметра Δ_0 , що визначає період часу між об'ємним руйнуванням двох найбільш виступаючих зерен. Дана залежність відповідає практиці шліфування. Так відомо, що процес шліфування кругом з гострим ріжучим рельєфом супроводжується підвищенням його зношуванням. Аналогічна закономірність впливає з залежності (3), тому що зі зменшенням величини η , що відповідає утворенню більш гострого рельєфу на крузі, параметр Δ_0 знижується й підвищує зношування круга. При $\eta = 0$ лінійне зношування зерна до моменту його об'ємного руйнування відсутнє, і круг працює в режимі катастрофічного зношування.

Використовуючи залежність (3), аналітично опишемо питоме зношування круга q . Для цього припустимо, що за час τ у процесі шліфування відбулося об'ємне руйнування двох найбільш виступаючих над зв'язкою зерен, що відповідає лінійному зношуванню круга на величину Δ . Обсяг зношеної частини абразивного круга складає

$$\mathcal{G}_a = 2\pi \cdot R_{кр} \cdot B \cdot \Delta, \quad (4)$$

де B , $R_{кр}$ – ширина й радіус круга, м.

За цей же час обсяг знятого матеріалу складає

$$\mathcal{G}_m = B \cdot V_{дет} \cdot t \cdot \tau, \quad (5)$$

де $V_{дет}$ – швидкість деталі, м/с; t – глибина шліфування, м; $\tau = \tau_0 \cdot i_0$; $\tau_0 = 2\pi \cdot R_{кр} / V_{кр}$ – час одного обертання круга, с; $V_{кр}$ – швидкість круга, м/с; $i_0 = \Delta_0 / \Delta_i$ – число обертань круга за час між об'ємним руйнуванням двох найбільш виступаючих зерен, що відповідає лінійному зношуванню зерен на величину Δ ; Δ_i – лінійне зношування зерна за один контакт з матеріалом.

Питоме зношування круга q одержимо зі співвідношення \mathcal{Q}_a й \mathcal{Q}_m :

$$q = \frac{\Delta_i \cdot V_{кр}}{V_{дет} \cdot t \cdot \eta} \quad (6)$$

По фізичній суті відношення $V_{дет} \cdot t / V_{кр}$ дорівнює товщині шару знятого матеріалу (у вигляді стружок) Δ_m , рівномірно розподіленого на робочій поверхні круга. Даний висновок впливає з відомої залежності для визначення миттєвої сумарної площі поперечного перерізу всіма одночасно працюючими зернами круга $S_{мит} = Q / V_{кр}$, де $Q = B \cdot V_{дет} \cdot t$ – продуктивність обробки, м³/с. Представляючи $S_{мит} = B \cdot \Delta_m$, маємо

$$\Delta_m = \frac{V_{дет} \cdot t}{V_{кр}} \quad (7)$$

З урахуванням співвідношень $\Delta_i = x_1 / n$, $H_1 = x_1 / \eta$ і рівності (7), залежність (6) прийме вигляд

$$q = \frac{H_1}{n \cdot \Delta_m} \quad (8)$$

де n – кількість контактів оброблюваного матеріалу з ріжучим зерном до моменту його об'ємного руйнування або випадання зі зв'язки без руйнування.

У роботі [4] показано, що величина H_1 мало змінюється (збільшується) по мірі зношування зерна (збільшення безрозмірного параметра η):

$$H_1 = \bar{X} \cdot \sqrt[3]{\frac{450\pi \cdot V_{дет} \cdot \sqrt{2 \cdot t \cdot \rho}}{\text{tg} \gamma \cdot m \cdot V_{кр} \cdot (1 - \eta^2)}}, \quad (9)$$

де \bar{X} – зернистість круга, м; m – об'ємна концентрація зерен у крузі; $\rho = 1/R_{кр} + 1/R_{дет}$; $R_{дет}$ – радіус деталі, м; γ – половина кута при вершині конусоподібного ріжучого зерна.

Отже, величину H_1 в першому наближенні можна розглядати постійною, також як і величину Δ_m . Виходячи із цього, змінною величиною в залежності (8) залишається лише n , зі збільшенням якої питоме зношування круга q зменшується. Тому зі збільшенням лінійного зношування зерна й утворенням на його вершині площадки, інтенсивність зношування зерна зменшується, що веде до зменшення q . Збільшення міцності й зносостійкості абразивного зерна також сприяє збільшенню n й зменшенню q .

Результати моделювання. Залежність (8) містить три невідомі величини:

q , H_1 , n . Очевидно, судити про характер зношування круга можна, знаючи значення питомого зношування круга q , тому що встановити кількісно значення величин H_1 і n значно складніше. У зв'язку із цим, проведемо кількісний аналіз відношення H_1/n , для чого представимо залежність (8) у вигляді

$$\frac{H_1}{n} = \Delta_m \cdot q. \quad (10)$$

Визначимо відношення H_1/n для умов круглого зовнішнього шліфування твердого сплаву. Вихідні розрахункові дані: $V_{det}=150$ м/хв.; $V_{kp}=50$ м/с; $t=0,02$ мм. Тоді, відповідно до залежності (7): $\Delta_m=1$ мкм. Як встановлено експериментально, для цих умов обробки $q=1$. Тоді, відповідно до залежності (10):

$$\frac{H_1}{n} = 1 \text{ мкм}. \quad (11)$$

Параметр H_1 по фізичній суті фактично дорівнює максимальній висоті мікронерівностей обробленої поверхні R_{max} . Експериментально встановлено, що для даних умов шліфування параметр шорсткості поверхні $R_a=0,8$ мкм. Зважаючи на те, що між параметрами шорсткості поверхні R_{max} й R_a існує зв'язок $R_{max}/R_a \approx 5$, маємо $R_{max} \approx 4$ мкм. Отже, $H_1 \approx R_{max} \approx 4$ мкм, тобто умова (9) виконується при значенні $n=4$. Із цього випливає, що при значенні $q=1$ ріжуче зерно випадає зі зв'язки круга всього за кілька контактів із оброблюваним матеріалом, фактично не перетерпівши при цьому лінійного зношування.

Зі зменшенням питомого зношування круга q , у зв'язку із застосуванням більш міцних і зносостійких абразивних зерен, очевидно, величина n буде збільшуватися. Наприклад, експериментально встановлено, що при шліфуванні алмазним кругом твердосплавних виробів питоме зношування круга менше одиниці й може приймати значення $q=0,001\dots 0,01$. У цьому випадку величина n може зменшитися в $100\dots 1000$ разів, тобто перш ніж алмазне зерно об'ємно зруйнується або випаде зі зв'язки круга без руйнування, воно перетерплює значне лінійне зношування x_1 . Безрозмірний параметр $\eta = x_1/H_1$ при цьому істотно збільшиться ($\eta \rightarrow 1$), а різниця параметрів $H_1 - x_1$, що визначає шорсткість поверхні R_{max} , – зменшиться, тому що величина H_1 залишається незмінною для заданого режиму шліфування. Таким чином, отримана аналітична залежність для визначення питомого зношування круга q дозволяє по-новому розкрити фізичну сутність процесу шліфування щодо кількості контактів зерна з оброблюваним матеріалом до моменту його об'ємного руйнування.

При алмазному шліфуванні використовують такий показник як питома витрата алмаза q . Методика його визначення відповідає методиці визначення

питомого зношування круга q . Припускаючи, що за час τ при шліфуванні відбувається об'ємне руйнування двох найбільш виступаючих зерен (а це відповідає лінійному зношуванню круга Δ), втрата алмазних зерен по вазі дорівнює:

$$P_a = \rho_a \cdot 2\pi \cdot R_{кр} \cdot B \cdot \Delta \cdot \alpha, \quad (12)$$

де ρ_a – щільність абразиву, кг/м³; α – коефіцієнт, що враховує щільність зв'язки залежно від концентрації абразивних зерен у крузі [5].

За цей же час вага знятого матеріалу дорівнює:

$$P_m = \rho_m \cdot B \cdot V_{дет} \cdot t \cdot \tau, \quad (13)$$

де ρ_m – щільність оброблюваного матеріалу, кг/м³.

Питома витрата алмаза q (мг/г) визначається зі співвідношення P_a й P_m :

$$q = \frac{10^{-3} \cdot \rho_a \cdot \alpha \cdot \Delta_i \cdot V_{кр}}{\rho_m \cdot V_{дет} \cdot t \cdot \eta}. \quad (14)$$

З урахуванням вище наведених співвідношень, аналогічно методиці визначення питомого зношування круга, залежність (14) остаточно прийме вид

$$q = \frac{\rho_a \cdot \alpha \cdot H_1}{\rho_m \cdot n \cdot \Delta_m}. \quad (15)$$

Залежність (15) відрізняється від аналогічної залежності (8) наявністю додаткових параметрів ρ_a , ρ_m і α .

Висновки. Розроблено математичну модель визначення найважливішого параметра процесу шліфування - питомого зношування круга, що дозволило провести теоретичний аналіз і встановити умови його зменшення з метою підвищення ефективності обробки. Доведено, що даний параметр визначається головним чином величиною лінійного зношування максимально виступаючого зі зв'язки круга зерна до моменту його об'ємного руйнування. Теоретично встановлено, що із часом обробки питома зношування круга зменшується внаслідок зниження інтенсивності зношування максимально виступаючого зі зв'язки круга зерна до моменту його об'ємного руйнування. Розроблено методику визначення кількості контактів зерна з оброблюваним матеріалом до моменту його об'ємного руйнування, що дозволило по-новому розкрити фізичну суть процесу шліфування й сформулювати умови його вдосконалювання.

Список літератури: 1. Филлимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование / Л.Н. Филлимонов. – Л.: Машиностроение, 1979. – 245 с. 2. Маслов Е.Н. Теория шлифования металлов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 319 с. 3. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С.Н. Корчак. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с. 4. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук: спец. 05.03.01 “Процессы механической обработки, станки и инструменты” / Ф.В. Новиков. – Одесса, 1995. – 36 с. 5. Кацук В.А. Справочник заточника / В.А. Кацук, А.Д. Мелехин, Б.П. Бармин. – М.: Машиностроение, 1982. – 232 с.

Надійшла до редколегії 25.09.2012р.