

Література

1. Перспективы развития лесного и строительного комплексов, подготовки инженерных и научных кадров на пороге XXI века: Сборник информационных материалов международной научно-технической конференции. Часть I. – Брянск: БГИТА, 2000. – 108 с.

2. Самохоцкий А.И., Кунявский М.И. Лабораторные работы по металлоседелению. – М.: Машиностроение, 1971. – 184 с.

УДК 674.055:621.925

Аспір. С.Т. Зубик; доц. Е.М. Матвеев – УкрДЛТУ

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛАСТИЧНИХ АБРАЗИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Наведено методику визначення параметрів шліфування еластичними інструментами: довжини лінії взаємодії інструменту і деталі, потужності і роботи шліфування, сили різання, та ін.

S. Zubyk, E. Matviejev – USUFWT

The theoretical research of elastic abrasive tools

The methods determination a grinding parameters: tool interaction line lengths and detail, power and grinding works by elastic tools is offer.

Пошуки нових шляхів інтенсифікації процесу шліфування вимагають створення строгої, фізично обумовленої теорії шліфування. Практична спрямованість технології, під впливом якої формується теорія шліфування, дає можливість розкрити не суть явищ, а лише знаходити шляхи покращення здатності матеріалу шліфуватись. Це призвело до виникнення деяких диспропорцій між практикою і теорією, не на користь останньої, тому розвиток теоретичних основ абразивної обробки є актуальною задачею і вимагає подальшої систематизації, поглиблення та узагальнення. Процес шліфування є складним, багатограничним. Його слід досліджувати, застосовуючи системний підхід, суть якого полягає у структурному розбиванні процесу на складові, їх моделюванні та встановленні між ними функціональних зв'язків.

Розглянемо деякі залежності, що описують важливу компоненту процесу абразивної обробки – інструмент. А саме, визначимо параметри обробки еластичними шліфувальними інструментами. Для розрахунку сил, моментів, потужності різання В.А. Щеголев [3, ст. 43] пропонує залежності, до складу яких входить величина опорного кута φ_0 . Її значення важко визначити експериментально, але можна знайти аналітичним способом. Для цього пропонуються динамічна та статична моделі.

Динамічна модель задачі. Величина опорного кута φ_0 (рис. 1) пов'язана з величиною деформації u залежністю:

$$\varphi_0 = \arccos \left(1 - \frac{u}{R_0} \right) \quad (1)$$

де R_0 – радіус обертового диска.

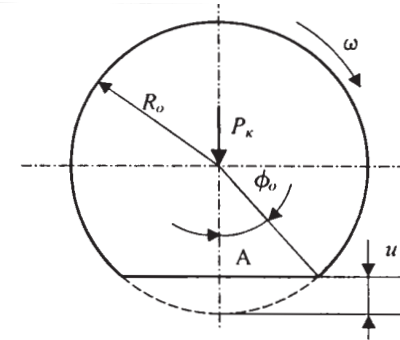


Рис. 1. Модель абразивного інструмента

Задача полягає у визначенні деформації, враховуючи дію стискаючого зусилля P_k та дію відцентрових сил. Подана теоретична модель ґрунтується на припущеннях:

- частота обертання диска ω – величина постійна;
- основа диска деформується в радіальному і тангенціальному напрямках;
- еластичний абразивний інструмент здійснює відносно нерухомої системи координат складний рух: відносний (зумовлений еластичністю диска) і переносний (зумовлений обертанням диска).

Величину радіальної деформації диска [1, ст. 454-456] розрахуємо, користуючись залежністю:

$$u = \frac{R_0}{E} (\sigma_r - \mu \sigma_\theta) \quad (2)$$

де: E – модуль пружності матеріалу інструмента; σ_r та σ_θ – відповідно, радіальне та колове напруження.

Формули для визначення радіального та колового напружень [1, С.454] мають вигляд:

$$\sigma_r = A + \frac{B}{R_0} - \frac{3 + \mu}{8} \frac{\gamma}{g} \omega^2 R_0^2 \quad (3)$$

$$\sigma_\theta = A - \frac{B}{R_0} - \frac{1 + 3\mu}{8} \frac{\gamma}{g} \omega^2 R_0^2 \quad (4)$$

де A і B – сталі, які можна визначити з граничних умов: при $R = R_1$; $\sigma_r = \sigma_{r1}$; при $R = R_0$; $\sigma_r = \sigma_{r2}$ [1, ст. 454], за виразами:

$$A = \frac{R_0^2}{R_0^2 - R_1^2} \sigma_{r2} - \frac{R_1^2}{R_0^2 - R_1^2} \sigma_{r1} + \frac{3 + \mu}{8} \frac{\gamma}{g} \omega^2 (R_0^2 + R_1^2) \quad (5)$$

$$B = \frac{R_0^2 R_1^2}{R_0^2 - R_1^2} \sigma_{r2} - \frac{R_0^2 R_1^2}{R_0^2 - R_1^2} \sigma_{r1} - \frac{3 + \mu}{8} \frac{\gamma}{g} \omega^2 R_0^2 R_1^2 \quad (6)$$

де: σ_{r1} , σ_{r2} – напруження, відповідно, на внутрішньому та зовнішньому контурах диска; μ – коефіцієнт Пуассона; $\frac{\gamma}{g}$ – питома маса матеріалу; R_1 – радіус отвору диска.

Згідно схеми (рис. 1) в т.А, при $\omega = 0$, стискаюче радіальне напруження:

$$\sigma_{r2} = -\frac{2P_z}{\pi R_o} \quad (7)$$

де P_z – розподілене стискаюче зусилля.

Розрахунок обертових дисків виконується для двох випадків:

Випадок 1 – диск суцільний ($R_i = 0$; $\sigma_{r1} = 0$)

Вирази для знаходження констант A і B запишемо в такому вигляді:

$$A = \sigma_{r2} + \frac{3+\mu}{8} \frac{\gamma}{g} \omega^2 R_o^2 \quad (8)$$

$$B = 0 \quad (9)$$

Знайдемо радіальне та колове напруження:

$$\sigma_r = -\frac{2P_z}{\pi R_o} \quad (10)$$

$$\sigma_\theta = -\frac{2P_z}{\pi R_o} + \frac{1-\mu}{4} \frac{\gamma}{g} \omega^2 R_o^2 \quad (11)$$

Враховуючи (10, 11) та (2), одержимо:

$$u = \frac{\mu-1}{E} \left[\frac{2P_z}{\pi R_o} - \frac{\gamma}{4g} \omega^2 R_o^3 \right] \quad (12)$$

Випадок 2 – диск з отвором

Деформація матеріалу внутрішнього контуру диска (металева основа) є значно більшою ніж зовнішнього (еластичний абразивний матеріал), тобто $\sigma_{r1} \ll \sigma_{r2}$, тому $\sigma_{r1} \approx 0$.

Позначимо $\frac{R_i}{R_o} = \phi$ і запишемо формули (5) і (6) таким чином:

$$A = -\frac{2P_z}{\pi R_o (1-\phi^2)} + \frac{3+\mu}{8} \frac{\gamma}{g} \omega^2 R_o^2 (1+\phi^2) \quad (13)$$

$$B = -\frac{2P_z R_o \phi^2}{\pi (1-\phi^2)} - \frac{3+\mu}{8} \frac{\gamma}{g} \omega^2 R_o^4 \phi^2 \quad (14)$$

Залежності для визначення напружень мають вигляд:

$$\sigma_r = -\frac{2P_z}{\pi R_o} \frac{1+\phi^2}{1-\phi^2} \quad (15)$$

$$\sigma_\theta = -\frac{2P_z}{\pi R_o} + \frac{\gamma}{g} \omega^2 R_o^2 \frac{(3+\mu)(1+2\phi^2) - (1+3\mu)}{8} \quad (16)$$

Величина деформації диска:

$$u = -\frac{2P_z}{\pi R_o} + \frac{\gamma}{g} \omega^2 R_o^2 \frac{(3+\mu)(1+2\phi^2) - (1+3\mu)}{8} - \frac{2P_z}{\pi R_o} \frac{1+\phi^2}{1-\phi^2} \mu \quad (17)$$

Визначимо довжину зони контакту абразивного інструмента з деталлю:

$$l_* = 2 \left[1 \pm \frac{v_s}{\omega R_o} \right] \sqrt{2u R_o - u^2} \quad (18)$$

де: v_s – швидкість подачі.

Статична модель задачі. Модель є значно простіша і базується на таких положеннях:

- основа диска деформується тільки в радіальному напрямі;
- відцентрові сили відсутні, деформація залежить лише від жорсткості інструмента.

Вираз для знаходження радіальної жорсткості інструмента [3, ст. 8]:

$$C_r = \frac{P_z}{2R_o \left[\varphi_o - \cos \varphi_o \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi + \varphi_o}{4} \right) \right]} \quad (19)$$

Для визначення кута φ_o виділимо з формули (19) величину $\Psi = f(\varphi_o)$ і побудуємо відповідний графік:

$$\Psi = \varphi_o - \cos \varphi_o \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi + \varphi_o}{4} \right) \quad (20)$$

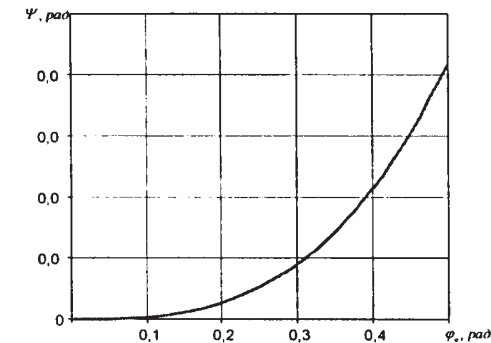


Рис. 2. Графік залежності: $\Psi = f(\varphi_o)$

В межах $0 \leq \varphi_o \leq 0,5$ отримаємо криву (рис. 2), яка має вигляд параболи. Інтерполяція ТЗФ многочленом Тейлора дає можливість одержати функцію:

$$\Psi_1 = 0,33337 \varphi_o^3 \quad (21)$$

Враховуючи (19), запишемо:

$$\varphi_o = \sqrt[3]{\frac{P_z}{0,66674 R_o C_r}} \quad (22)$$

Довжина лінії контакту інструмента з оброблюваною деталлю:

$$l_* = 2R_o \sin \sqrt[3]{\frac{P_z}{0,66674 R_o C_r}} \quad (23)$$

Отримавши залежності для визначення довжини лінії контакту інструмента з деталлю, та, враховуючи швидкість різання – v ; товщину шару, що знімається – h ; ширину оброблюваної деталі – b та питому тангенціальну складову сили різання – $P_{\text{танг}}$ можемо знайти такі характеристики (табл. 1).

Подані залежності можна використовувати для розрахунку параметрів процесу шліфування такими еластичними інструментами, які мають форму диска (циліндра): пелюсткові круги, жорстко-пружні інструменти, круги на пружній основі тощо.

Табл. Параметри процесу шліфування

Характеристика	Стан	
	статичний	динамічний
Робота шліфування	$K = \frac{2P_{\text{шліф}} v R_o \sin \sqrt{\frac{P_z}{0,66674 R_o C_r}}}{h v_z}$	$K = \frac{2P_{\text{шліф}} v \left[1 \pm \frac{v_z}{\omega R_o} \right] \sqrt{2u R_o - u^2}}{h v_z}$
Потужність шліфування	$N = 2P_{\text{шліф}} b v R_o \sin \sqrt{\frac{P_z}{0,66674 R_o C_r}}$	$N = 2P_{\text{шліф}} b v \left[1 \pm \frac{v_z}{\omega R_o} \right] \sqrt{2u R_o - u^2}$
Сила різання	$P_z = 2P_{\text{шліф}} b R_o \sin \sqrt{\frac{P_z}{0,66674 R_o C_r}}$	$P_z = 2P_{\text{шліф}} b \left[1 \pm \frac{v_z}{\omega R_o} \right] \sqrt{2u R_o - u^2}$

Література

1. Опір матеріалів: Підручник/ Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський. За ред. Г.С. Писаренка. – К.: Вища школа, 1993. – 655 с.
2. Опір матеріалів з основами теорії пружності і пластичності: У 2ч., 5кн. – Ч.1, кн.3. Опір дво- і тривимірних тіл: Підручник/ В.Г. Піскунов, В.С. Сіпестов, В.Д.Шевченко; За ред. В.Г.Піскунова. – К.: Вища школа, 1995. – 271 с.
3. Щеголев В.А., Уланова М.Е. Эластичные абразивные и алмазные инструменты. – Л.: Машиностроение, 1977. – 184 с.

УДК 674.02. Ст. викл. О.М. Кондратюк; асист. І.Г. Радонь – Рівненський ДТУ ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ОБРОБКИ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗМІНИ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ, ЯКА ОБРОБЛЯЄТЬСЯ

Розглядається закономірність зміни шорсткості поверхні і пропонується блок – схема управління процесом вібраційної обробки.

Аналіз зміни шорсткості поверхні деталей при вібраційній обробці показує на певну її закономірність. При загальній тенденції зниження шорсткості поверхні деталі, яка обробляється, в певний період обробки спостерігається дискретне її збільшення. Наявність такого фактора обумовлює збільшення часу обробки для досягнення потрібної шорсткості. Вважаємо, що закономірність зміни шорсткості поверхні може бути використана для управління процесом вібраційної обробки з метою усунення дискретного збільшення шорсткості поверхні та зменшення часу обробки.

Використовуємо визначення середньоарифметичного відхилення шорсткості поверхні R_a , за ГОСТом 2789-73, де базовою лінією служить середня лінія профілю, тобто:

$$\sum_{i=1}^n F_{i\text{вп}} = \sum_{i=1}^n F_{i\text{вс}},$$

де $F_{i\text{вп}}$ і $F_{i\text{вс}}$ – відповідно площа i -тої впадини і виступу відносно базової лінії.

Виходячи із цього, визначаємо величину середнього значення виступу:

$$F_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{i\text{вс}}}{n_{\text{вс}}},$$

де: $\sum_{i=1}^n F_{i\text{вс}} = \frac{R_a \cdot \ell}{2}$; $n_{\text{вс}} = \frac{\ell}{SK}$, R_a – середньоарифметичне значення шорсткості поверхні; ℓ – базова довжина; S_k – середній крок нерівності.

Тоді

$$F_{\text{ср}} = \frac{R_a \cdot S_k}{2}.$$

Знаючи параметри виступів і фізико-механічні властивості матеріалу, можна визначити середнє значення зусилля динамічного удару для зруйнування нерівностей:

$$P_{\text{уд.ср}} = f(F_{\text{ср}}) = K_{\text{обр}} \cdot \frac{R_a \cdot S_k}{2} \cdot G_{\text{міц}};$$

де: $G_{\text{міц}}$ – границя міцності матеріалу деталі; $K_{\text{обр}}$ – коефіцієнт, який залежить від умов обробки.

Величина значення динамічного удару визначається величиною енергії, розсіяної в середовищі, яка припадає на одну гранулу і передається поверхнею камери, що коливається:

$$\Delta E_{\text{ср}} = \frac{c \cdot P_{\text{уд.ср}} \cdot K_a \cdot S_k}{d_{\text{гр}}^2} = \frac{K_{\text{обр}} \cdot R_a \cdot S_k}{d_{\text{гр}}^2} \cdot G_{\text{міц}},$$

де: $K_a = (1/2 \dots 2/3)$ – коефіцієнт активної площі камери; S_k – площа камери;

$$C = \frac{\sin \gamma + \mu \cos \gamma}{\cos \gamma - \mu \sin \gamma} = (2 \dots 10),$$

де: γ – передній кут дії гранули; μ – коефіцієнт тертя; $d_{\text{гр}}$ – грануляція робочого середовища. Ця енергія визначається кінематичними і конструктивними параметрами вібропристроїв. Основними кінематичними параметрами є амплітуда A і частота ω коливань.

Виходячи із умов забезпечення потрібних характеристик поверхневого шару і експлуатаційних властивостей деталей, можна вибрати різні варіанти режимів обробки протягом всього технологічного процесу. Виникає потреба використання програми розрахунку технологічного процесу.

На рис. 1 представлена блок-схема програми. До програми включають такі параметри: R_a – середньоарифметичне відхилення шорсткості поверхні; $G_{\text{міц}}$ – границя міцності матеріалу деталі; $G_{\text{зм}}$ – границя зменшення матеріалу деталі; $G_{\text{зр}}$ – вихідна границя зрізу матеріалу деталі; $G_{\text{м}}$ – границя плинності матеріалу деталі; S_k – середній крок нерівності; A – амплітуда; ω – частота; $P_{\text{уд}} = P_{\text{н}}$ – сила, яка притискує гранулу до поверхні деталі; P_z – тангенціальна складова сили різання; ΔE – питома енергія сили різання і зняття металу за один удар частинки; T – час обробки; $K_{\text{обр}}$ – коефіцієнт обробки, який залежить від грануляції $d_{\text{гр}}$, зернистості, співвідношення корисної і повної площі камери K_a , S_k , та інших параметрів.

Програма працює таким чином. Вводяться вихідні параметри шорсткості R_a , границі міцності $G_{\text{міц}}$, амплітуди A , частоти ω , характерні параметри робочого середовища, грануляції $d_{\text{гр}}$, коефіцієнта корисного використання поверхні робочої камери K_a , поверхні камери S_k .