

УДК 621.923

Новіков Ф. В.

д.т.н., професор
кафедра здорового способу життя, технологій і безпеки життєдіяльності
ХНЕУ імені С. Кузнеця

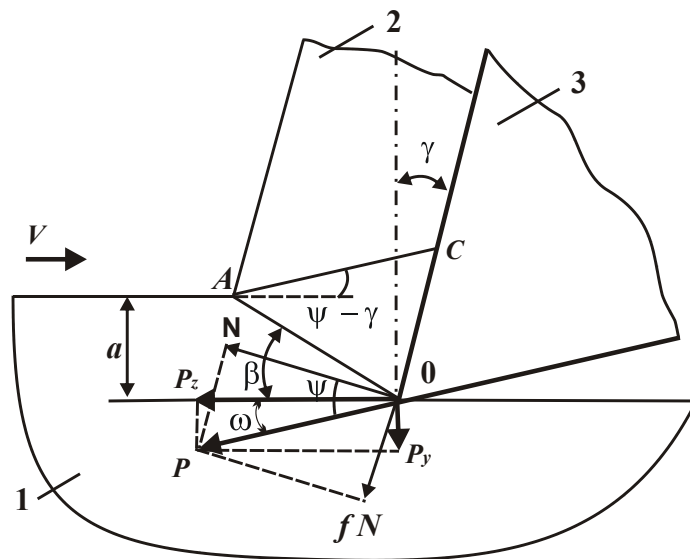
НОВІ ПІДХОДИ ДО РОЗРАХУНКУ СИЛ РІЗАННЯ ПІД ЧАС ЛЕЗОВОЇ ТА АБРАЗИВНОЇ ОБРОБОК

Процес різання – це механічний процес, який відбувається в результаті руйнування поверхневих шарів оброблюваного матеріалу від дії ріжучого інструменту. Він підкоряється законам механіки і тому силу різання можна описати з позиції опору матеріалів. Для її аналітичного визначення розглянемо розрахункову схему (рис. 1), в якій графічно показано зв'язок сили різання P із тангенціальною P_z і радіальною P_y складовими сили різання:

$$P_z = P \cdot \cos \omega; \quad (1)$$

$$P_y = P \cdot \sin \omega, \quad (2)$$

де P – сила різання, Н; ω – кут дії, градус.



**Рис. 1. Розрахункова схема параметрів процесу різання:
1 – оброблюваний матеріал; 2 – стружка; 3 – інструмент**

Руйнування оброблюваного матеріалу в процесі різання відбувається у площині ОА (рис. 1), у якій дотичне напруження τ приймає максимальне значення. Для його визначення спроектуємо силу різання P на площину, розташовану під кутом β до напрямку руху ріжучого інструменту:

$$\tau = \frac{P \cdot \cos(\omega + \beta) \cdot \sin \beta}{a \cdot B}, \quad (3)$$

де β – умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу, градус; a , B – товщина і ширина зрізу, м.

Як видно, дотичне напруження τ залежно від умовного кута зсуву оброблюваного матеріалу β змінюється за екстремальною залежністю. Для визначення екстремального значення кута β підпорядкуємо залежність (3) необхідній умові екстремуму $\tau'_{\beta} = 0$. У результаті отримано:

$$\beta = 45^{\circ} - \frac{\omega}{2}. \quad (4)$$

Виходячи із залежності (4), кут β тим більше, чим більше кут дії ω .

Відношення складових сили різання P_z і P_y , що визначаються залежностями (1) і (2), набуває вигляду:

$$\frac{P_z}{P_y} = \frac{1}{\operatorname{tg}\omega} = \frac{1}{\operatorname{tg}(90^{\circ} - 2\beta)} = \frac{1}{\operatorname{ctg}2\beta} = \operatorname{tg}2\beta. \quad (5)$$

Отже, чим більше кут β , тим більше відношення P_z / P_y . Це вказує на те, що в умовах лезової обробки, яка характеризується підвищеними значеннями кута β , відношення P_z / P_y більше, ніж в умовах абразивної обробки.

Після підстановки залежності (4) у залежність (3), маємо:

$$\tau = \frac{P \cdot \sin^2 \beta}{a \cdot B}. \quad (6)$$

Зсув оброблюваного матеріалу в умовній площині зсуву, розташованій під кутом β до напрямку руху ріжучого інструменту, можливий за умови $\tau = \tau_{зсув}$, де $\tau_{зсув}$ – межа міцності на зсув оброблюваного матеріалу, Н/м². В цьому випадку залежність (6) можна виразити щодо сили різання P :

$$P = \frac{a \cdot B \cdot \tau_{зсув}}{\sin^2 \beta}. \quad (7)$$

Як видно, сила різання P тим менша, чим більше умовний кут β зсуву оброблюваного матеріалу, що узгоджується з відомими експериментальними даними.

Тангенціальна P_z і радіальна P_y складові сили різання із урахуванням залежностей (5) і (7) приймають вигляд:

$$P_z = \frac{2 \cdot a \cdot B \cdot \tau_{зсув}}{\operatorname{tg}\beta}; \quad (8)$$

$$P_y = \frac{P_z}{\operatorname{tg}2\beta} = \frac{2 \cdot a \cdot B \cdot \tau_{зсув}}{\operatorname{tg}\beta \cdot \operatorname{tg}2\beta}. \quad (9)$$

Виходячи із залежностей (8) і (9), складові сили різання зі збільшенням кута β в межах $0 \dots 45^{\circ}$ невинно зменшуються: тангенціальна P_z складова – до значення $2 \cdot a \cdot B \cdot \tau_{зсув}$ (оскільки кут $\beta \rightarrow 1$), а радіальна P_y складова – до нульового значення. Отже, зі збільшенням кута β досягти найбільшого ефекту

обробки можна завдяки суттєвого зменшення радіальної складової сили різання P_y в умовах лезової обробки.

Кут ω може змінюватися в межах від 0 до 90° . Тому умовний кут зсуву оброблюваного матеріалу β змінюється в межах від 45° до 0 . З фізичної точки зору кут ω дорівнює (рис. 1): $\omega = \psi - \gamma$, де ψ – умовний кут тертя оброблюваного матеріалу з передньою поверхнею ріжучого інструменту, градус; $\operatorname{tg} \psi = f \cdot N / N = f$ – коефіцієнт тертя; $f \cdot N$, N – складові сили різання P , які виникають на передній поверхні ріжучого інструмента, Н; γ – передній (позитивний) кут ріжучого інструменту, градус. Тоді залежність (4) набуде вигляду:

$$\beta = 45^\circ + \frac{\gamma}{2} - \frac{\psi}{2}. \quad (10)$$

Виходячи із залежності (10), збільшити кут β можна збільшенням переднього кута ріжучого інструменту γ та зменшенням умовного кута тертя оброблюваного матеріалу з передньою поверхнею ріжучого інструменту ψ . Найбільш повно це реалізуються при обробці лезовими різальними інструментами. В умовах абразивної обробки, через наявність негативних передніх кутів у різальних абразивних зерен шліфувального круга, кут β набуває значно менших значень у порівнянні з лезовою обробкою. Отже, сили різання при абразивній обробці більше, ніж при лезовій обробці. А це знижує показники продуктивності, якості та точності обробки, що також узгоджується з відомими експериментальними даними.

Цей висновок впливає з перетвореної залежності (7) для визначення сили різання P з урахуванням залежності (10):

$$P = \frac{\tau_{сдв} \cdot a \cdot B}{\sin^2 \left(45^\circ + \frac{\gamma}{2} - \frac{\psi}{2} \right)}. \quad (11)$$

Виходячи із залежності (11), в умовах лезової обробки кут γ набуває позитивних значень, тому сила різання P менше у порівнянні з умовами абразивної обробки. Таким чином, у роботі наведено нові аналітичні підходи до визначення сил різання, виникаючих під час лезової та абразивної обробок. Вони дозволяють прогнозувати шляхи підвищення ефективності механічної обробки та оцінювати перспективність їх практичного застосування.

Список використаної літератури

1. Новіков Ф. В. Теплові та механічні процеси металообробних технологій [Електронний ресурс] : монографія / Ф. В. Новіков. – Дніпро : ЛІРА, 2022. – 412 с. <http://repository.hneu.edu.ua/handle/123456789/28244>.
2. Fedir Novikov. High-quality diamond grinding of products made of materials of increased hardness. VI International Conference «*Essays of Mining Science and Practice*» (RMGET 2024). IOP Publishing. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 1491 (2025) 012031. doi:10.1088/1755-1315/1491/1/012031.