

УДК 621.91.01

Є. Купчевич, магістрант

О. Скібінський, канд. техн. наук, доцент

А. Апаракін, канд. техн. наук, ст. викладач

О. Лисенко, канд. техн. наук, доцент

Центральноукраїнський національний технічний університет

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ РІЗАЛЬНОГО КЛИНУ РОЗТОЧУВАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ ОБРОБЦІ ПЕРЕРИВЧАСТИХ ОТВОРІВ

У статті розглянуто проблему викришування різального клину розточувального інструменту та розроблено спосіб розрахунку робочої подачі при обробці отворів з переривчастою поверхнею, який має забезпечити стійкість та міцність різального клину інструменту. Також, виведено рівняння, за допомогою якого можна розрахувати раціональну подачу, враховуючи ці обмеження.

отвір, розточування, корпус, шестеренний насос, подача

Постановка проблеми. Механічна обробка отворів на верстатах це відповідальна технологічна задача, яка вимагає від технолога та верстатника певних знань та навиків. У сучасному машинобудуванні, на рівні із підвищенням вимог до характеристик нової техніки, підвищуються вимоги до точності та якості поверхонь функційних отворів деталей машин. На заводі до забезпечення необхідної точності та якості таких отворів може стати сама конфігурація отвору – наявність елементів, які суттєво вплинуть на процес обробки, наприклад, переривчастість отвору (рис. 1).

При проектуванні операції розточування отворів, вибір режимів різання, зазвичай, виконують на основі рекомендацій виробника металорізального інструменту [1, 2, 3]. Виробник, при розробці таких рекомендацій, бере до уваги наступні фактори: виліт інструменту, необхідну точність та якість обробки отвору. Однак для обробки переривчастих отворів зазначених обмежень виявляється недостатньо, тому на рекомендованих режимах спостерігається вібрація, викришування різальної частини інструменту і, як наслідок, зниження точності та якості обробки. Основна причина цього явища – недостатня жорсткість елементів технологічної системи. По цій причині, обрані за каталогом режими різання зазвичай підлягають корекції у меншу сторону безпосередньо робітником на верстаті, що негативно пливає на продуктивність обробки.

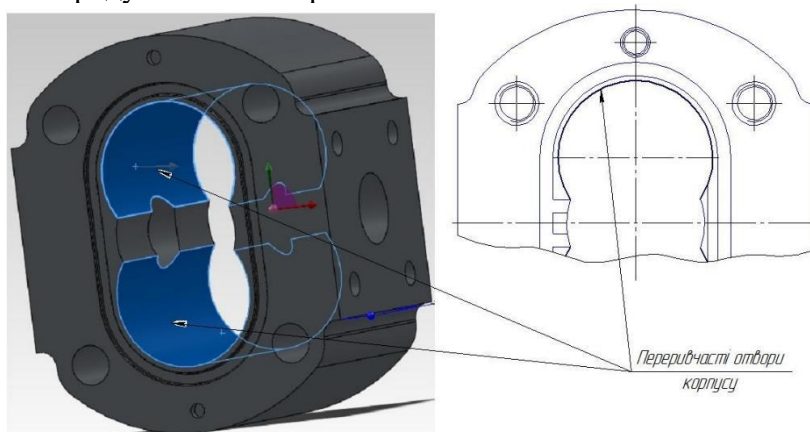


Рисунок 1 – Функційні отвори корпусу шестеренного насосу.

У статті розглядається проблема розточування переривчастих отворів, «колодців», корпусу шестеренного насосу (рис. 1), які призначені для встановлення підшипників ковзання та шестерень, що пояснює високі вимоги до якості та точності зазначених отворів. Конструкція обумовлених отворів не суцільна, тому при їх обробці відбуваються постійні врзання та виходи різальної кромки інструменту із тіла деталі. Технологія базового підприємства передбачає обробку «колодців» на фрезерному обробному центрі з ЧПУ, яка складається із двохпрохідного розточування – чорнового і чистового. Здійснено спробу зменшити динамічне навантаження на інструмент при обробці даних переривчастих отворів найбільш простим способом – корекцією подачі, величина якої забезпечила б міцність різального клину інструменту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження, які присвячені проблемам, що виникають при виконанні розточувальних операцій, проводяться за декількома перспективними напрямками. Значна кількість робіт присвячена методам і засобам автоматизованого гасіння вібрації та коливань, які виникають при обробці, зокрема, переривчастих отворів. Представлені у роботах варіанти рішення проблеми [4, 5] вимагають використання додаткового обладнання (датчиків, контролерів, плат управління, тощо), являються не універсальними та складними у налаштуванні і реалізації. Інший напрямок розробок вивчає перспективи використання композитних матеріалів у конструкції розточувального інструменту (державок, борштанг) [6, 7] та різноманітні варіанти віброгасників [5, 8, 9, 10]. Така кількість досліджень вказує на актуальність проблеми та потребу у простому рішенні, із мінімальними витратами на його реалізацію.

Мета й завдання дослідження. Метою дослідження є покращення умов різання при механічній обробці переривчастих отворів та вирішення проблеми викришування різального клину інструменту. Досягти поставлену мету можна виконавши наступні завдання із програми дослідження:

- визначення сил різання, що діють на різальний клин під час обробки переривчастого отвору;
- визначення умови міцності різального клину;
- визначення та обґрунтування умов міцності різального клину при обробці переривчастого отвору.

Об'єктом дослідження є різальний розточувальний інструмент.

Предметом дослідження є вплив режимів різання на стійкість різального клину розточувального інструменту у процесі обробки переривчастих отворів.

Виклад основного матеріалу. При обробці розточуванням, найменш жорстким елементом технологічної системи являється різальний інструмент, який деформується під дією системи сил F_x , F_y , F_z . Як показано на рисунку 2, під дією сили F_y розточувальна оправка 3 деформується на величину y_{in} .

Для консольно закріпленої розточувальної оправки величина деформації дорівнює:

$$y_{in} = \frac{F_y \times L^3}{3EI}, \quad (1)$$

де F_y – сила різання, Н;

L – довжина розточувальної оправки, м;

E – модуль пружності матеріалу оправки, Па;

I – момент інерції поперечного перерізу (для круглої оправки $I \approx 0,05 \cdot d^4$), м⁴.

У момент переміщення різця через простір розточки 2 (рис. 2), яка перетинає розточуваний отвір D , інструмент пружно відновлюється («провалюється» в розточку) на величину y_{in} . Внаслідок цього, у момент врзання в тіло корпусу (точка A), глибина різання t зростає на величину y_{in} , що й буде причиною збільшення сили різання. Також, збільшення сил слід очікувати по причині збільшення товщини різання у момент проходження простору розточки 2, враховуючи, що при проходженні простору розточки інструмент не різє, а лише

$$k_o = 1 + \sqrt{\frac{V_o^2}{\delta g}} = 1 + \sqrt{\frac{V_o^2 J}{Fg}}, \quad (4)$$

де V_o – швидкість руху тіла, яке ударяє, м/с;

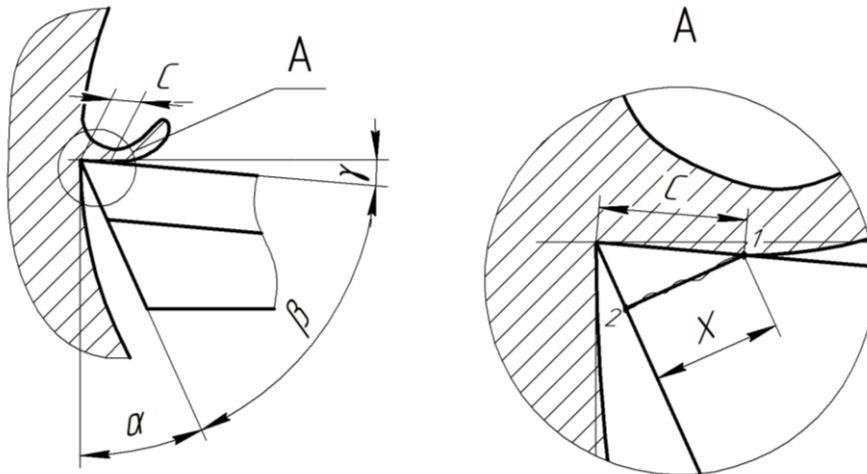
δ – лінійне переміщення точки зіткнення при статичній дії сили F , м;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

J – жорсткість тіла, яке ударяють, Н/м.

Далі розглянемо умову, при якій буде забезпечено міцність різального клину. Міцність його в основному залежить від механічних властивостей інструментального матеріалу різальної частини та сили, що діє на клин.

При переривчастому розточуванні твердосплавним інструментом, відбувається руйнування та зношування різального клину інструменту у вигляді викришування на мікро- та макро- рівнях. Мікроруйнування інструменту, як показано на рис. 3, відбувається на відстані, яка дорівнює ширині площини пластичного деформування C , тобто у місці контакту інструменту зі стружкою та оброблюваною деталлю. Макроруйнування, у свою чергу, виникають на деякій відстані від різальної кромки, наближено $(2...2,5)C$ від неї. У випадку чистового розточування колодців корпусу шестеренного насоса, виникатимуть мікроруйнування, отже, сколювання різальної частини відбудеться на відстані C від різальної кромки, в напрямку від точки 1 до точки 2, тобто по найменшому шляху від передньої до задньої грані інструменту.



α, β, γ – геометрія різального клину, C – площина пластичного деформування; X - найменша відстань від передньої до задньої грані інструменту по межі площини пластичного деформування.

Рисунок 3 – Схема крихкого руйнування різального клину.

Визначити величину площини пластичного деформування C можна за відомою формулою теорії різання [12, 13]:

$$C = S \sin \varphi [K_a (1 - \tan \varphi) + \sec \gamma], \quad (5)$$

де K_a – усадка (потовщення) стружки;

γ – передній кут різального клину, град.

Довжина відрізка X , тобто відстань від точки 1 до точки 2, визначається з виразу:

$$X = C \sin \beta, \quad (6)$$

де β – кут загострення різального клину ($\beta = \pi/2 - \gamma - \alpha$), град.

Величину сколювання по довжині різальної кромки приймаємо такою, що рівна ширині шару, який зрізається:

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}, \quad (7)$$

де t – глибина різання, мм.

Значення напруги, яке виникає у площині сколювання, буде дорівнювати:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma_i], \quad (8)$$

де M – момент сили, який діє на різальний клин інструменту, Н/м;

W – момент опору поперечного перерізу сколювання, м³, для даного випадку:

$$W = \frac{Xb^2}{6};$$

σ_i – межа міцності на вигин матеріалу різальної частини інструменту, Па.

Приймаємо момент, який діє на різальний клин інструмента, за умови, що сила різання діє на різальній кромці:

$$M = F_\delta C = k_\delta FC. \quad (9)$$

Для визначення сили різання використовуємо спрощене рівняння:

$$F = K_p \sigma_\epsilon f_n, \quad (10)$$

де K_p – коефіцієнт, який враховує властивості оброблюваного матеріалу, при різанні алюмінієвих сплавів $K_p \approx 1,25$;

σ_ϵ – межа міцності оброблюваного матеріалу, Па;

f_n – площа поперечного перерізу шару, що зрізається; у даному випадку, м:

$$f_n = ab = \frac{Slt}{\pi D (\sin \varphi)^2}.$$

Після підстановки у рівняння (8) всіх складових та виконання ряду перетворень, отримаємо рівняння для визначення величини раціональної подачі:

$$S \leq \frac{[\sigma_i] \pi D t \sin \beta}{6 k_\delta K_p \sigma_\epsilon l}. \quad (11)$$

Рівняння (11), із рядом припущень, дозволяє розрахувати величину подачі, за якої можна буде запобігти викришуванню різального клину розточувального інструменту при обробці переривчастих отворів. При розрахунку режимів різання на розточувальні операції, особливо для розточування отворів з переривчастою поверхнею, подача, визначена за рівнянням (11), може стати додатковим обмеженням.

Висновки. В статті розглянуто проблему механічної обробки переривчастих отворів. Визначено, що обробка переривчастих отворів методом розточування має певні обмеження і створює ряд проблем. А у випадку, якщо такий переривчастий отвір у деталі належить до функційних, то його точність та якість обробки має вплив на вихідні параметри шестеренного насоса.

Для вирішення проблеми викришування різального клину інструменту, при розточуванні отворів з переривчастою поверхнею, розглянуто методику розрахунку подачі інструменту із забезпеченням міцності різального клину. Отримано рівняння, за допомогою якого можна розрахувати раціональні значення подачі, із огляду на ці обмеження. Приведена методика має практичну цінність при розрахунку режимів різання для розточувальних операцій у випадку обробки переривчастих отворів.

Список літератури

1. Kennametal – Products – Metalworking Tools [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kennametal.com/us/en/products/metalworking-tools.html>.
2. Sandvik Coromant – Metal cutting tools [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools>.
3. Seco Tools Interactive Catalogues [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.secotools.com/article/84565>.
4. DINGQIANG P. A method for predicting the boring topography error of shaft hole on a thin-walled box based on a proposed dynamic model / P. DINGQIANG, Y. LANTAO, S. YIMIN. // IEEE Access. – 2023. – №11. – С. 3129–3143.

5. Reluctance-Based Modular Active Damper for Chatter Suppression in Boring Bars With Different Overhangs / [A. Astarloa, F. Wahab, I. Mancisidor та ін.]. // IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS. – 2024. – №29. – С. 679–690.
6. Harshvardhan P. G. Investigation of vibration in boring operation to improve Machining process to get required surface finish / Ghongade Harshvardhan P. // Materials Today: Proceedings. – 2022. – №62. – С. 5392–5395.
7. Nonlinear chatter of CNTs-reinforced composite boring cutter considering unstable region / [Z. Jinfeng, W. Zhong, F. Chao та ін.]. // Archive of Applied Mechanics. – 2023. – №93. – С. 4217–4239.
8. Improvement of boring operations by means of mode coupling effect / [A. Astarloa, A. Comak, I. Mancisidor та ін.]. // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. – 2022. – №37. – С. 633–644.
9. Improvement of the Dynamic Quality of Cantilever Boring Bars for Fine Boring / [G. Oborskyi, A. Orgiyan, V. Ivanov та ін.]. // MDPI: Machines. – 2023. – №11. – С. 15.
10. Li L. Optimization of machining performance in deep hole boring: A study on cutting tool vibration and dynamic vibration absorber design / L. Li, D.L. Yang, Y.M. Cui. // Advances in Production Engineering and Management. – 2023. – №18. – С. 371–380.
11. Короткий курс опору матеріалів: Навч. посіб. / І. М. Ольховий, Б. М. Стасюк, В. З. Станкевич; Нац. ун-т «Львів. політехніка». Ін-т дистанц. навчання. – Л.: Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2004. – 194 с.
12. Грицай І.Є., Кукляк М.Л. Різання металів. Теорія різання. Навч. посібник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2005. – 132 с.
13. Основи теорії різання матеріалів: підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. П. Доброскок, В. О. Залого. — Львів: Новий світ-2000, 2010. — 422с.