

**Сергій Лапковський¹, Людмила Данилова², Володимир Фролов³,
Василь Приходько⁴, Максим Гладський⁵, Юрій Адаменко⁶**

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: Lapkovsky@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9870-9231>. ResearcherID: [HCH-3837-2022](https://orcid.org/HCH-3837-2022)

²кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: ldanylova@outlook.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4442-3959>. ResearcherID: [ADU-9265-2022](https://orcid.org/ADU-9265-2022)

³кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: v.k.frolov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3697-286X>. ResearcherID: [ACH-0071-2022](https://orcid.org/ACH-0071-2022)

⁴кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: privas@bigmir.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-3777>. ResearcherID: [HDM-7277-2022](https://orcid.org/HDM-7277-2022)

⁵кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: gladsky@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4547-7131>. ResearcherID: [Q-1624-2017](https://orcid.org/Q-1624-2017)

⁶кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: yuriy.adamenko@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4232-3206>. ResearcherID: [ACT-0127-2022](https://orcid.org/ACT-0127-2022)

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЙ ПЛУНЖЕРНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

Фрезерні операції є одними із найпродуктивніших та найпоширеніших способів металооброблення. З позицій надання заготовці потрібної конфігурації ці операції являють собою найбільш універсальний метод оброблення. Нині все більшого поширення набувають операції плунжерного фрезерування. Плунжерне фрезерування застосовується саме тоді, коли використання традиційних методів неможливе через надмірні вібрації. У статті наведені рекомендації, яких необхідно дотримуватися при виконанні технологічної операції плунжерного фрезерування. Запропонована схема виконання траєкторії руху плунжерної фрези в тому випадку, коли використовується САМ-система не підтримує виконання операцій плунжерного фрезерування.

Ключові слова: фрезерування; фреза; плунжерне; оброблення; САМ-система; траєкторія руху.

Рис.: 14. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. На теперішній час фрезерування є одним із розповсюджених і найпродуктивніших способів металооброблення [1; 2]. З позицій надання заготовці бажаної конфігурації ці технологічні операції являють собою найбільш універсальний метод оброблення [1; 3]. До фрезерних операцій відносять: профільне фрезерування, торцеве фрезерування, фрезерування карманів, уступів та пазів (плунжерне фрезерування, у тому числі [1; 4]), різьбофрезерування, зубофрезерування, вихрове нарізання різьби тощо (рис. 1). Нині дедалі більшого поширення набувають технологічні операції плунжерного фрезерування (рис. 2). Слід зазначити, що слово «плунжерне» має походження від англійського слова «plunge», що перекладається як «пірнати», «занурюватися» тощо.

Постановка проблеми. Виконання операцій плунжерного фрезерування кардинально відрізняється від виконання операцій традиційного фрезерування [4]. Під час плунжерного фрезерування оброблення здійснюється не периферійною, а торцевою частиною різального інструмента. Це істотно перерозподіляє напрямки зусиль різання з радіальних на осьові, що зменшує ризик відтискання різального інструмента та виникнення вібрацій (рис. 3) [4].

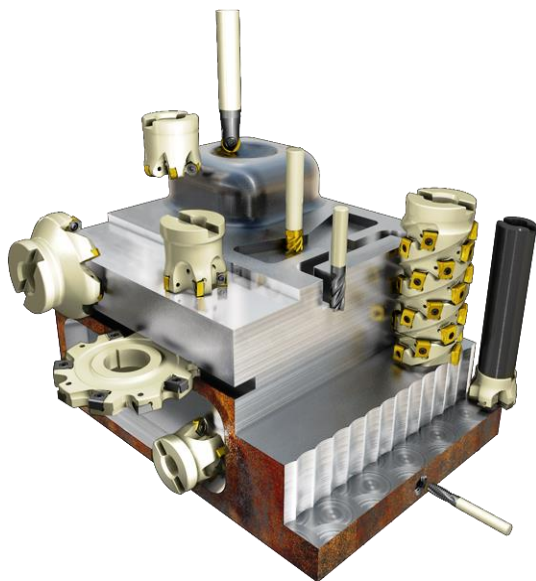


Рис. 1. Різновиди фрезерування [5]

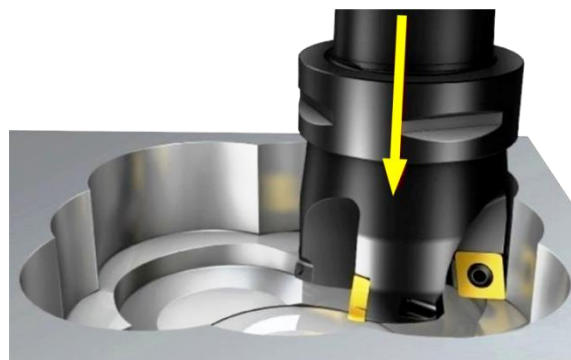


Рис. 2. Плу́нжерне фрезерування [5]

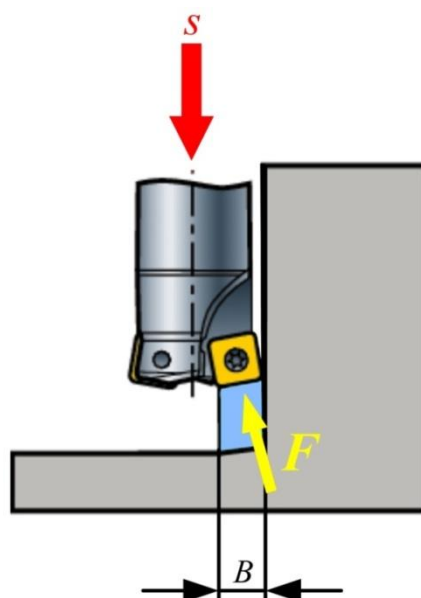


Рис. 3. Перерозподіл напрямків зусиль різання при плунжерному фрезеруванні
Джерело: розроблено авторами.

Операції плунжерного фрезерування використовуються в тих випадках, коли застосування традиційних способів металооброблення неможливе через надмірні вібрації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перевагами операцій плунжерного фрезерування є його застосування за наступних умов [4–10]:

- 1) при значенні вильоту фрези більше, ніж 4 діаметри останньої;
- 2) при недостатній жорсткості фрезерного верстата;
- 3) при недостатньому крутному моменті фрезерного верстата;
- 4) при недостатній потужності фрезерного верстата;
- 5) при операціях напівчистового оброблення глибоких закритих пазів, кутів, вибірок, карманів тощо (рис. 4);
- 6) під час оброблення важкооброблюваних матеріалів, наприклад, титану.

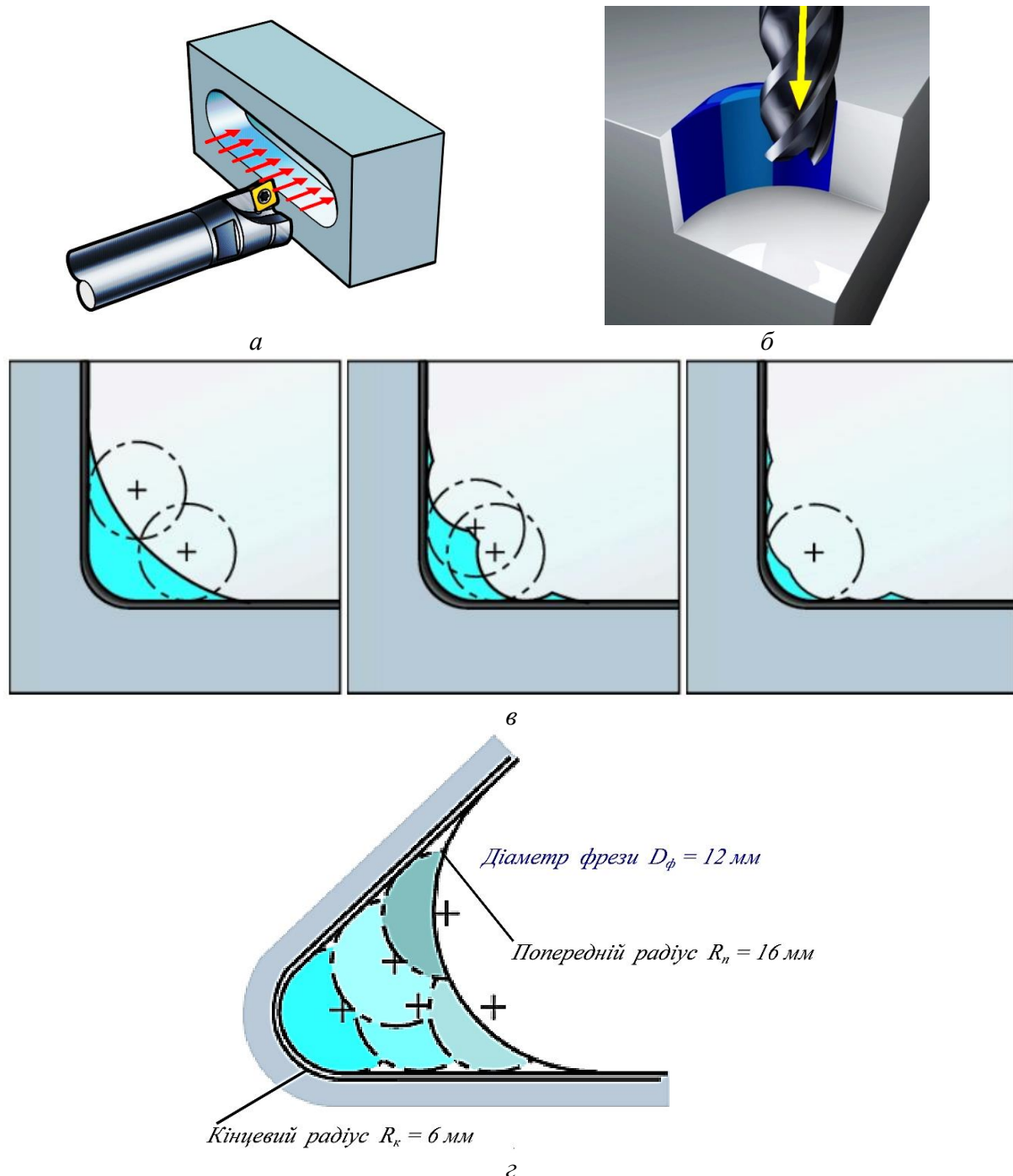


Рис. 4. Оброблення карманів, глибоких закритих пазів і кутів плунжерним фрезеруванням: а – схема оброблення паза; б – загальна схема оброблення кута; в – схема оброблення прямого кута; з – схема оброблення гострого кута
Джерело: розроблено авторами.

До недоліків операцій плунжерного фрезерування, слід навести передусім такі:

- 1) обмежена продуктивність;
- 2) необхідність періодичного виведення різального інструмента в процесі різання;
- 3) необхідність подальшого чистового оброблення;
- 4) труднощі видалення стружки;
- 5) досить обмежена номенклатура різального інструмента;
- 6) виникнення хвилястих крамок, що можуть призводити до значних зусиль при зачистці під час напівчистового проходу перед чистовим обробленням (рис. 5).



Рис. 5. Виникнення хвилястих кромки при плунжерному фрезеруванні [5]

Споживана потужність різання для плунжерного фрезерування визначається згідно з формулою [1; 4]:

$$N = \frac{D_{\phi} \cdot B \cdot s_{x\phi} \cdot F_n}{60 \cdot 10^6}, \quad (1)$$

де N — величина споживаної потужності, кВт;

D_{ϕ} — значення діаметра фрези, мм;

B — значення ширини фрезерування, мм;

$s_{x\phi}$ — значення хвилинної подачі, мм/хв;

F_n — величина питомої сили різання, Н/мм² (величина сили різання, необхідної для видалення шару металу перерізом 1 мм²).

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Слід зазначити, що умови, за яких використання операцій плунжерного фрезерування було б доцільним і оптимальним, ще не достатньо досліджені. Також існує декілька питань підтримки операцій плунжерного фрезерування різними САМ-системами.

Метою статті є визначення рекомендацій, яких необхідно обов'язково дотримуватися під час виконання операцій плунжерного фрезерування та можливості використання будь-якої САМ-системи для забезпечення якісного виконання операцій плунжерного фрезерування. Для останнього необхідно здійснити перевірку на підтримку САМ-системою двох таких вимог:

1) вимога існування підтримки плунжерного 3D-фрезерування: або 3D-фрезерування використовується для всіх завдань, або 3D-фрезерування може бути використано тільки у випадку оброблення плоского дна порожнини;

2) вимога відведення фрези від стінок при виведенні останньої з порожнини – ця функція має змогу зменшувати вібрації та збільшити термін служби фрези на 10...15 %.

Виклад основного матеріалу. Аналіз літературних джерел за темою статті [4–10] та систематизація отриманої інформації дозволили сформулювати низку рекомендацій, яких необхідно обов'язково дотримуватися під час виконання операцій плунжерного фрезерування:

– горизонтальне положення шпинделя фрезерного верстата полегшує видалення стружки; це означає, що технологічні операції плунжерного фрезерування краще виконувати на горизонтально-фрезерних верстатах;

– оброблення необхідно починати від дна вибірки з поступовим підйомом (рис. 6);

– для полегшення видалення стружки рекомендується застосовувати стиснене повітря або мастильно-охолоджуючі технологічні засоби;

– у порівнянні із традиційними способами фрезерування значення подачі на зуб S_z фрези для плунжерного фрезерування повинно бути меншим;

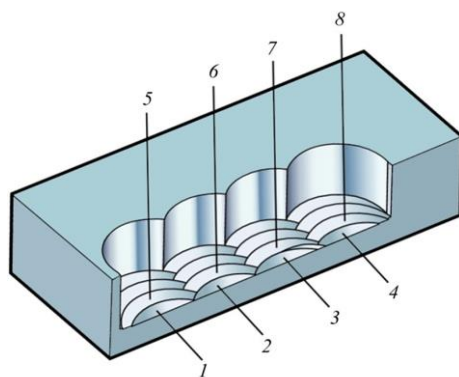


Рис. 6. Оброблення вибірки від дна з поступовим підняттям різального інструменту при плунжерному фрезеруванні [5]

- необхідно, щоб під час різання у процесі видалення металу брали участь щонайменше два зуби фрези;
- необхідно використовувати плунжерні фрези з найменшим кроком зубів;
- слід використовувати максимальну ширину фрезерування B – залежно від розміру різальної пластини (рис. 3, 7);
- для запобігання повторного процесу різання на зворотному ході рекомендується використовувати функцію «відводу»: в кінці робочого проходу слід здійснювати відведення плунжерної фрези на 1 мм від стінки вибірки (рис. 8);
- рекомендується забезпечувати крок переміщення фрези в боковому напрямку $S = 0,5 \cdot D_f$ за умови $L \geq 4 \cdot D_f$ та $S = 0,75 \cdot D_f$ за умови $L < 4 \cdot D_f$ (де D_f – діаметр плунжерної фрези, L – значення вильоту плунжерної фрези) (рис. 9);
- для зменшення вібрацій необхідно поступово зменшувати глибину різання;
- під подальшу фінішну операцію завжди необхідно залишати постійне значення припуску.

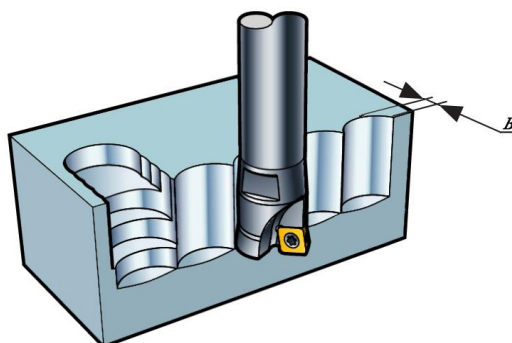


Рис. 7. Ширина фрезерування при плунжерному фрезеруванні [5]

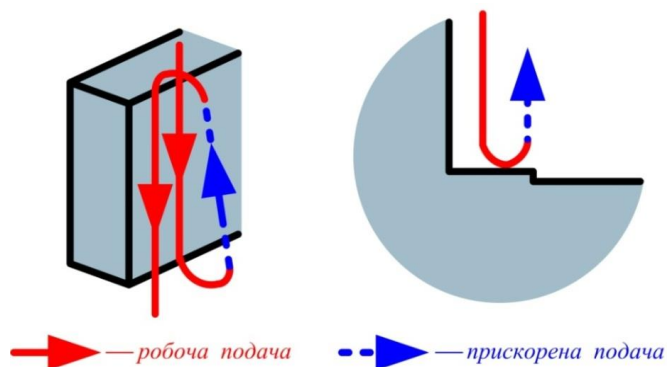


Рис. 8. Відведення плунжерної фрези для запобігання повторного різання
Джерело: розроблено авторами.

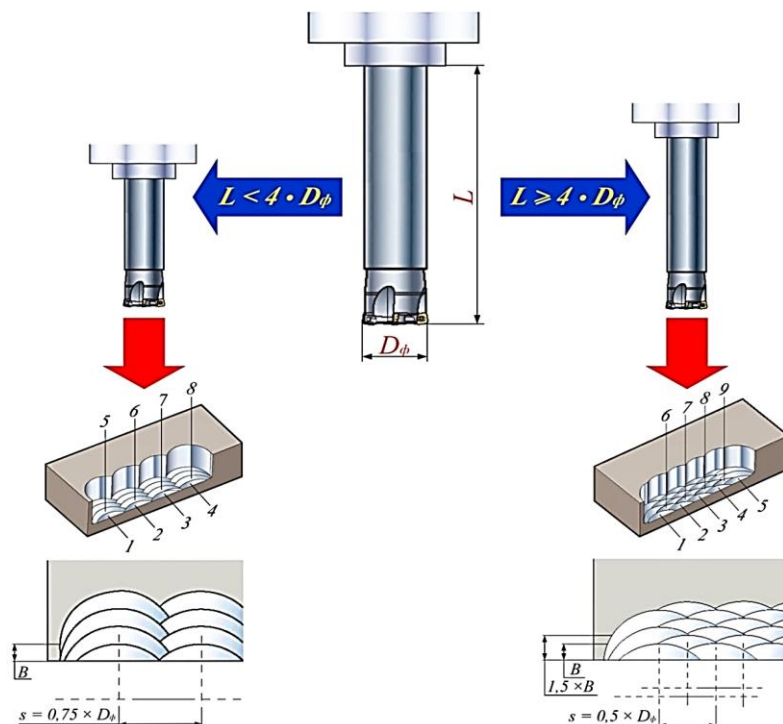


Рис. 9. Рекомендований крок переміщення плунжерної фрези в боковому напрямку
 Джерело: розроблено авторами.

Також слід зазначити, що максимальна ширина різання B при плунжерному фрезеруванні залежить від розміру різальної пластини iC та від величини вильоту фрези (табл. 1) [4–10]. Подача на зуб S_z при плунжерному фрезеруванні також має залежність від розміру пластини iC (табл. 1) [4–10].

Таблиця 1 – Залежність максимальної ширини різання B та подачі на зуб S_z від розміру різальної пластини iC та величини вильоту фрези

Розмір пластини iC , мм	Максимальна ширина різання B , мм		Подача на зуб S_z , мм/зуб	
	$L < 4 \cdot D_\phi$	$L \geq 4 \cdot D_\phi$	Рекомендоване значення	Діапазон
14	13	12	0,15	0,1 ÷ 0,2
9	8	7	0,1	0,08 ÷ 0,15

Особливо необхідно виділити той факт, що дотепер не всі САМ-системи можуть здійснювати підтримку операцій плунжерного фрезерування. У таблиці 2 наведено перелік найпоширеніших САМ-систем, який вказує, підтримує чи ні даний програмний модуль плунжерне фрезерування.

У тих випадках, коли САМ-система не має змоги підтримувати плунжерне фрезерування, пропонується схема забезпечення траєкторії руху плунжерної фрези, яка полягає в наступному:

- 1) формування сітки отворів у межах контуру порожнини або іншої поверхні, що обробляється;
- 2) призначення припуску на чистове оброблення (залежно від складності розміщення отворів у контурі порожнини можливе збільшення припуску оброблення);
- 3) розроблення на основі сітки отворів програмного коду для введення фрези в кожний із отворів згідно з координатами, які задані (за аналогією із розробленням циклів свердління);
- 4) ручне програмування відведення плунжерної фрези від стінок.

Таблиця 2 – Можливість підтримки плунжерного фрезерування САМ-системами

САМ-система	Можливість підтримки плунжерного фрезерування
Alphacam	не підтримує
BobCAD	підтримує
CamBam	не підтримує
Camworks	підтримує
Edgecam	підтримує
Esprit	підтримує
FeatureCAM	не підтримує
Fusion360	не підтримує
GibbsCam	підтримує
HSMWorks	не підтримує
Hypermill	підтримує
Mastercam	підтримує
OneCNC	підтримує
PowerMill	підтримує
Siemens NX	підтримує
SolidCAM	підтримує
SprutCam	підтримує
SurfCam	підтримує
TopSolid	підтримує
Vetric	не підтримує
VisualMill	підтримує

На рис. 10 – 14 наведено приклад запропонованої схеми забезпечення траєкторії руху плунжерної фрези. На рис. 10 наведено контур оброблюваної порожнини. На цьому етапі слід задати значення припуску на оброблення. Далі потрібно створити коло діаметром, який відповідає діаметру фрези, та розмістити це коло так, щоб воно торкалося меж припуску (рис. 11). Після цього слід створити масив однакових отворів з кроком по координатах X та Y (переміщення фрези між проходами) (рис. 12).

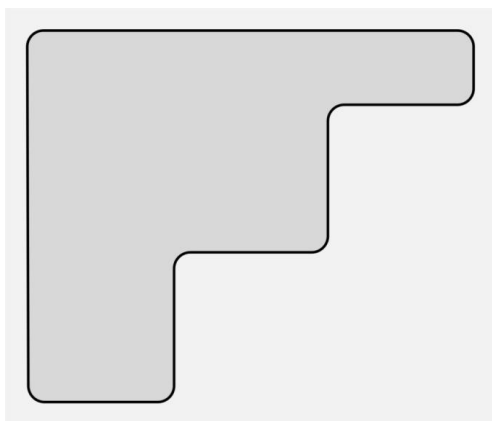


Рис. 10. Призначення припуску на оброблення

Джерело: розроблено авторами.

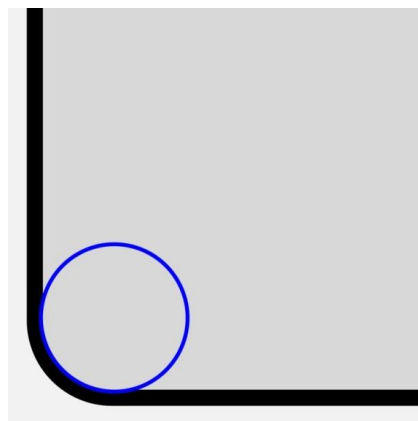


Рис. 11. Створення кола діаметром, який відповідає діаметру фрези, та розміщення його так, щоб воно торкалося меж припуску

Джерело: розроблено авторами.

Надалі потрібно видалити всі зайві отвори, частини яких виходять за межі контуру порожнини (рис. 13).

На останньому етапі необхідно так скорегувати положення залишених отворів, щоб вони торкалися всіх контурів порожнини, які вони перетинають (рис. 14).

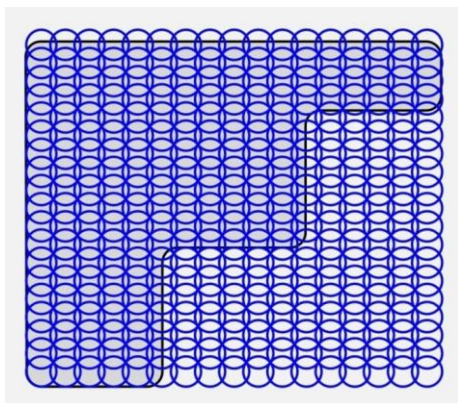


Рис. 12. Створення масиву отворів з кроком по координатах X та Y
Джерело: розроблено авторами.

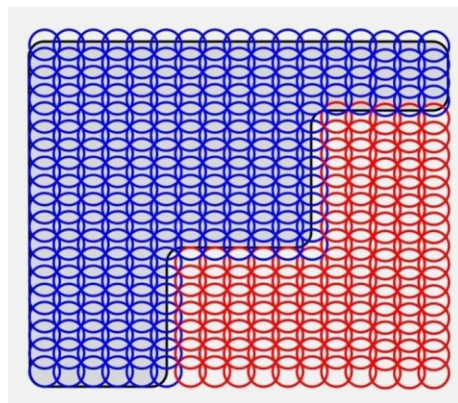


Рис. 13. Видалення всіх отворів, частина яких виходить за межі контуру порожнини
Джерело: розроблено авторами.

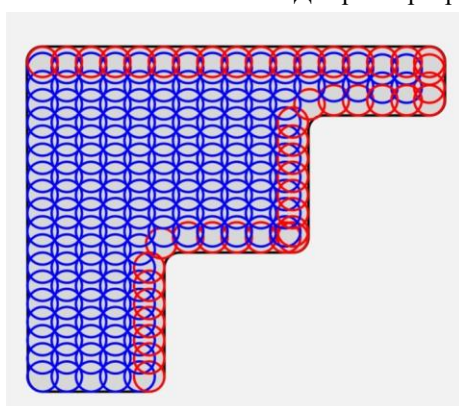


Рис. 14. Корегування положення залишених отворів так, щоб вони торкалися всіх контурів порожнини, які вони перетинають
Джерело: розроблено авторами.

Висновки. Таким чином, з вищенаведеного можна зробити такі висновки:

- 1) виконання операцій плунжерного фрезерування кардинально відрізняється від виконання операцій традиційного фрезерування;
- 2) операції плунжерного фрезерування використовуються в тих випадках, коли використання традиційних методів металооброблення неможливе через надмірні вібрації;
- 3) під час виконання операцій плунжерного фрезерування слід обов'язково дотримуватися низки рекомендацій;
- 4) для використання будь-якої САМ-системи з метою забезпечення якісного виконання операцій плунжерного фрезерування запропоновано схему реалізації траєкторії руху плунжерної фрези.

Список використаних джерел

1. Бондаренко С. Г. Основи технології машинобудування: навчальний посібник / С. Г. Бондаренко. – Львів: Магнолія 2006, 2014. – 500 с.
2. Дикань В. Л. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 387 с.
3. Залюбовський М. Г. Машини та обладнання підприємств: навч. посіб. / М. Г. Залюбовський, В. В. Малишев. – К.: Університет «Україна», 2020. – 120 с.
4. Чікаїз А. Оптимізація вибору плунжерного інструмента [Електронний ресурс] / А. Чікаїз, Л. М. Данилова // Інновації молоді в машинобудуванні: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції. – 2020. – С. 415–418. – Режим доступу: <http://imm-mmi.kpi.ua/imm2020/paper/view/21468>.

5. What is successful plunge milling? [Електронний ресурс] / Plunge milling. – Режим доступу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/milling-holes-cavities-pockets/plunge-milling>.
6. Cutting Conditions and Surface Integrity During Dry Plunge-milling of a Wrought Magnesium Alloy / I. Danis, N. Wojtowicz, F. Monies, P. Lamesle, P. Lagarrigue // *Procedia Engineering*. – 2013. – № 63. – Pp. 36–44. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.213>.
7. Optimal CNC plunge cutter selection and tool path generation for multi-axis roughing free-form surface impeller channel / F.Y. Han, D.H. Zhang, M. Luo, B.H. Wu // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2014. – № 71(9–12). – Pp. 1801–1810. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5608-y>.
8. Ko Jeong Hoon. Time Domain Prediction of Side and Plunge Milling Stability Considering Edge Radius Effect / Ko Jeong Hoon // *Procedia CIRP*. – 2014. – № 14. – Pp. 153–158. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.077>.
9. Yang Xiao-yu. Research on manufacturing method of CNC plunge milling for spur face-gear / Yang Xiao-yu, Tang Jin-yuan // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2014. – № 214(12). – Pp. 3013–3019. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.07.010>.
10. On cutting parameters selection for plunge milling of heat-resistant-super-alloys based on precise cutting geometry / Zhuang Kejia, Zhang Xiaoming, Zhang Dong, Ding Han // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2013. – № 213(8). – Pp. 1378–1386. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.03.007>.

References

1. Bondarenko, S.H. (2018). *Osnovy tekhnologii mashynobuduvannia [Fundamentals of mechanical engineering technology: study guide]*. Mahnoliia 2006.
2. Dykan, V.L., Kalabukhin, Yu.Ie., Kalycheva, N.Ie. (2020). *Tekhnologhii mashynobudivnykh pidpriemstv [Technology of machine-building enterprises]*. UkrDUZT.
3. Zaliubovskiy, M.H., Malyshev, V.V. (2020). *Mashyny ta obladnannia pidpriemstv [Machines and equipment of enterprises]*. Universytet “Ukraina”.
4. Chikaiz, A., Danylova, L.M. (2020). Optymizatsiia vyboru plunzhernoho instrumenta [Optimizing the choice of a plunger tool]. *Innovatsii molodi v mashynobuduvanni: materialy XIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii – Innovations of youth in mechanical engineering: materials of the XIII International Scientific and Technical Conference* (pp. 415–418). KPI im. Ihoria Sikorskoho. <http://imm-mmi.kpi.ua/imm2020/paper/view/21468>.
5. Plunge milling. (n.d.). *What is successful plunge milling?* <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/milling-holes-cavities-pockets/plunge-milling>.
6. Danis, I., Wojtowicz, N., Monies, F., Lamesle, P., Lagarrigue, P. (2013). Cutting Conditions and Surface Integrity During Dry Plunge-milling of a Wrought Magnesium Alloy. *Procedia Engineering*. 63, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.213>.
7. Han, F.Y., Zhang, D.H., Luo, M., Wu, B.H. (2014). Optimal CNC plunge cutter selection and tool path generation for multi-axis roughing free-form surface impeller channel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 71(9–12), 1801–1810. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5608-y>.
8. Ko, Jeong Hoon. (2014). Time Domain Prediction of Side and Plunge Milling Stability Considering Edge Radius Effect. *Procedia CIRP*. 14, 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.077>.
9. Yang, Xiao-yu, Tang, Jin-yuan (2014). Research on manufacturing method of CNC plunge milling for spur face-gear. *Journal of Materials Processing Technology*. 214(12), 3013–3019. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.07.010>.
10. Zhuang, Kejia, Zhang, Xiaoming, Zhang, Dong, Ding, Han (2013). On cutting parameters selection for plunge milling of heat-resistant-super-alloys based on precise cutting geometry. *Journal of Materials Processing Technology*. 213(8), 1378–1386. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.03.007>.

Отримано 23.01.2023

**Serhii Lapkovsky¹, Liudmyla Danylova², Volodymyr Frolov³, Vasyl Prykhodko⁴,
Maksym Gladtskyi⁵, Yuriy Adamenko⁶**

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: Lapkovsky@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9870-9231>. ResearcherID: [HCH-3837-2022](https://orcid.org/HCH-3837-2022)

²PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: ldanylova@outlook.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4442-3959>. ResearcherID: [ADU-9265-2022](https://orcid.org/ADU-9265-2022)

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: v.k.frolov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3697-286X>. ResearcherID: [ACH-0071-2022](https://orcid.org/ACH-0071-2022)

⁴PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: privas@bigmir.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-3777>. ResearcherID: [HDM-7277-2022](https://orcid.org/HDM-7277-2022)

⁵PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: gladsky@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4547-7131>. ResearcherID: [Q-1624-2017](https://orcid.org/Q-1624-2017)

⁶PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of machine design
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: yuriy.adamenko@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4232-3206>. ResearcherID: [ACT-0127-2022](https://orcid.org/ACT-0127-2022)

TECHNOLOGICAL FEATURES OF REALIZATION OF PLUNGER MILLING OPERATIONS

Milling technological operations are one of the most productive and widespread methods of metalworking. From the point of view of providing the blank with the desired configuration, these technological operations represent the most universal method of processing. Technological operations of plunger milling are now becoming more and more widespread. Plunger milling is used precisely when the use of traditional methods is impossible due to excessive vibrations. Performing technological operations of plunger milling is fundamentally different from performing technological operations of traditional milling. The article contains recommendations that must be followed when performing technological operations of plunger milling. The purpose of the article is to determine the possibility of using any CAM-system to ensure high-quality execution of technological operations of plunger milling. To do this, it is proposed to check whether the CAM-system supports two requirements. The article provides a list of the most common CAM-systems, indicating whether a given software module supports plunger milling. The article proposes a scheme for the implementation of the trajectory of the plunger cutter for the use of any CAM-system in order to ensure the high-quality execution of technological operations of plunger milling. This proposed scheme consists of four main stages. The first stage of the proposed scheme consists of the formation of an array of holes within the contour of the cavity or other surface being processed. The essence of the second stage of the proposed scheme is to determine the value of the allowance for finishing (depending on the complexity of placing the holes in the contour of the cavity, it is possible to increase the allowance for processing). The third stage of the proposed scheme consists in developing, based on the array of holes that was formed in the first stage, the software code for inserting a cutter into each of the holes in accordance with the coordinates that are specified (by analogy with the development of drilling cycles). The essence of the fourth stage of the proposed scheme is to manually program the removal of the plunger cutter from the walls of the cavity or other surface being processed.

Keywords: milling; milling cutter; plunger; processing; CAM system; trajectory of movement.

Fig.: 14. References: 10.