

УДК 621.753.5

Є. Сергієнко, магістр гр. ПМ-24М-3

О. Скібінський, канд. техн. наук, доцент

В. Селєхова, асистент

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

## ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ РІЗЬБОВОЇ ФРЕЗИ

В статті описано фрезерування різьби, як прогресивний метод різьбообробки. Розглянуто вплив сил різання на точність обробки різьбових поверхонь. Проаналізовано варіанти боротьби із негативним явищем відгинання інструменту під час обробки. Розраховано та спроектовано вдосконалену різьбову фрезу зі зворотною конусністю різальної частини інструменту.

**фрезерування різьби, різьбова фреза, відгинання, жорсткість, зворотна конусність**

**Постановка проблеми.** Якість і точність різьби визначають міцність і надійність з'єднання, тому вибір способу її нарізання є важливим аспектом. Існують різні методи обробки різьб, які відрізняються за способом виконання, використовуваними інструментами та вимогами до точності. Серед основних способів обробки різьбових поверхонь можна виділити точіння, нарізання мітчиками, фрезерування, шліфування, накатування та електроерозію.

Фрезерування різьби є сучасним і високопродуктивним методом, при якому матеріал знімається спеціальним різьбофрезерним інструментом для утворення різьбової поверхні. На відміну від традиційних методів, таких як нарізання мітчиками або плашками, фрезерування дозволяє обробляти різьбу різних профілів, діаметрів та з різним кроком, забезпечуючи високу точність, якість поверхні та стабільність розмірів навіть при обробці складних матеріалів.

Основним інструментом є різьбова фреза — інструмент спеціальної конструкції, що має профіль, який відповідає профілю різьби (метричної, дюймової, трубної тощо). Фрезерування різьби здійснюється на верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ), здебільшого на горизонтальних або вертикальних обробних центрах. Верстат повинен мати можливість гвинтової інтерполяції по осях X, Y та Z із точністю позиціонування не менше  $\pm 0,01$  мм, мінімальні вібрації шпинделя та високу жорсткість, а також достатню потужність шпинделя для забезпечення стабільних обертів при великих швидкостях подачі.

Процес фрезерування заснований на гвинтовому русі фрези, тобто на гвинтовій інтерполяції щодо деталі. Інструмент виконує кілька рухів: обертання навколо власної осі (різання), планетарний рух (інтерполяція по площині XY для формування діаметра), осьова подача (переміщення по осі Z, що відповідає кроку різьби за один повний оберт). Ці рухи координуються за допомогою системи ЧПУ, що дозволяє фрези одночасно описувати спіральну траєкторію, утворюючи профіль різьби. Такий принцип обробки дає можливість виготовляти як з внутрішні, так і зовнішні різьби. На відміну від нарізання мітчиками або точіння різьби, фрезерування дозволяє обробляти різьбу в деталях складної форми, оскільки не потрібно обертати саму деталь під час обробки.

Вибір діаметра фрези залежить від діаметра різьби, матеріалу деталі та глибини обробки. Занадто малий діаметр фрези може знизити жорсткість інструмента та призвести до прогину, тоді як занадто великий діаметр може викликати зачеплення фрези з деталлю або перевантаження шпинделя.

Сили, що виникають під час обробки, безпосередньо впливають на перебіг процесу різання, причому визначальною є радіальна складова, оскільки саме вона спричиняє відгинання інструмента. Відгинання різьбової фрези проявляється у відхиленні її осі від осі різьбового отвору. Унаслідок цього зменшується зачеплення фрези з формованою різьбою. Це призводить до неповного зняття матеріалу й, як результат, до появи конусності різьби, що виражається у зменшенні висоти профілю зі збільшенням глибини обробки вздовж осі Z. Таким чином, актуальним є пошук конструктивних рішень щодо вдосконалення геометрії різьбофрезерного інструменту з метою підвищення його жорсткості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Конструктивна особливість фрези у вигляді негативного кута конусності позитивно впливає на експлуатаційні характеристики: подовжує термін служби різальної частини та мінімізує дефекти профілю різьби, що в цілому підвищує продуктивність операції. Конструктивна реалізація зворотного конуса різьбової фрези спрямована на нівелювання пружних відтиснень інструменту в процесі різання. В роботах [3, 5, 6] пропонуються такі значення конусності зворотного конуса: 0,05/100, 0,1/100-10/100 та 0,25/100-0,3/100 відповідно. В роботі [4] описано конструктивне рішення різьбової фрези, особливістю якої є наявність ступінчастої зворотної конусності різальної частини. Конструкція передбачає поділ робочої зони на секції, при цьому величина зворотної конусності зовнішнього діаметра послідовно зростає у напрямку від торцевої поверхні до хвостовика та становить: 0,2-0,3/100, 0,4-0,5/100 та 0,6-0,7/100 відповідно. В роботі [4] дослідно доведено, що різьбова фреза зі зворотним конусом дозволяє втричі підвищити точність формування профілю та забезпечує конусність різьби в межах 0,01 мм.

**Мета й завдання.** Метою є розробка вдосконаленої конструкції різьбової фрези з впровадженням зворотного конуса в її геометрію. Таке рішення дозволяє досягти наступних результатів: зниження сил різання завдяки поступовому входу зубців у метал та зменшенню кількості одночасних контактів із заготовкою на початковому етапі: підвищення точності завдяки компенсації пружного відгинання інструменту; усунення небажаної конусності готової різьби; зменшення інтенсивності зношування різальних кромки різьбової фрези.

Завданнями, що слугують досягненню поставленої мети є:

- вибір матеріалу та габаритних розмірів інструменту;
- розрахунок параметрів інструменту;
- проектування розрахованої різьбової фрези.

Об'єктом дослідження є фрезерна обробка різьбових поверхонь.

Предметом дослідження є проектування вдосконаленої конструкції різьбової фрези з впровадженням зворотного конуса в її геометрію.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктом обробки є внутрішня різьба M14×1,5-6H, що формується методом гвинтової інтерполяції на верстаті HAAS UMC 500. Для цього розроблено твердосплавну фрезу (матеріал — VK8). При визначенні габаритних розмірів фрези було знайдено компроміс між жорсткістю стержня та вільним простором в отворі для видалення стружки та безперешкодного руху за коловою траєкторією.

Аналітичне визначення профілю поверхні інструменту виконано за методикою [2].

Результати проведеного аналізу досліджень та публікацій дозволили встановити оптимальний діапазон конусності зворотного конуса різальної частини різьбових фрез, що становить 0,01/100 – 1,2/100. При розрахунку параметрів вдосконаленого інструмента було прийнято значення 0,4/100 мм. Враховуючи довжину робочої частини фрези (8,75 мм), було визначено зміну зовнішнього діаметра ниток: від 8,417 мм для першої до 8,264 мм для шостої. Таким чином, загальна різниця діаметрів у межах робочої зони спроектованого інструмента становить 0,153 мм.

На рисунку 1 представлено креслення вдосконаленої різьбової фрези зі зворотним конусом.

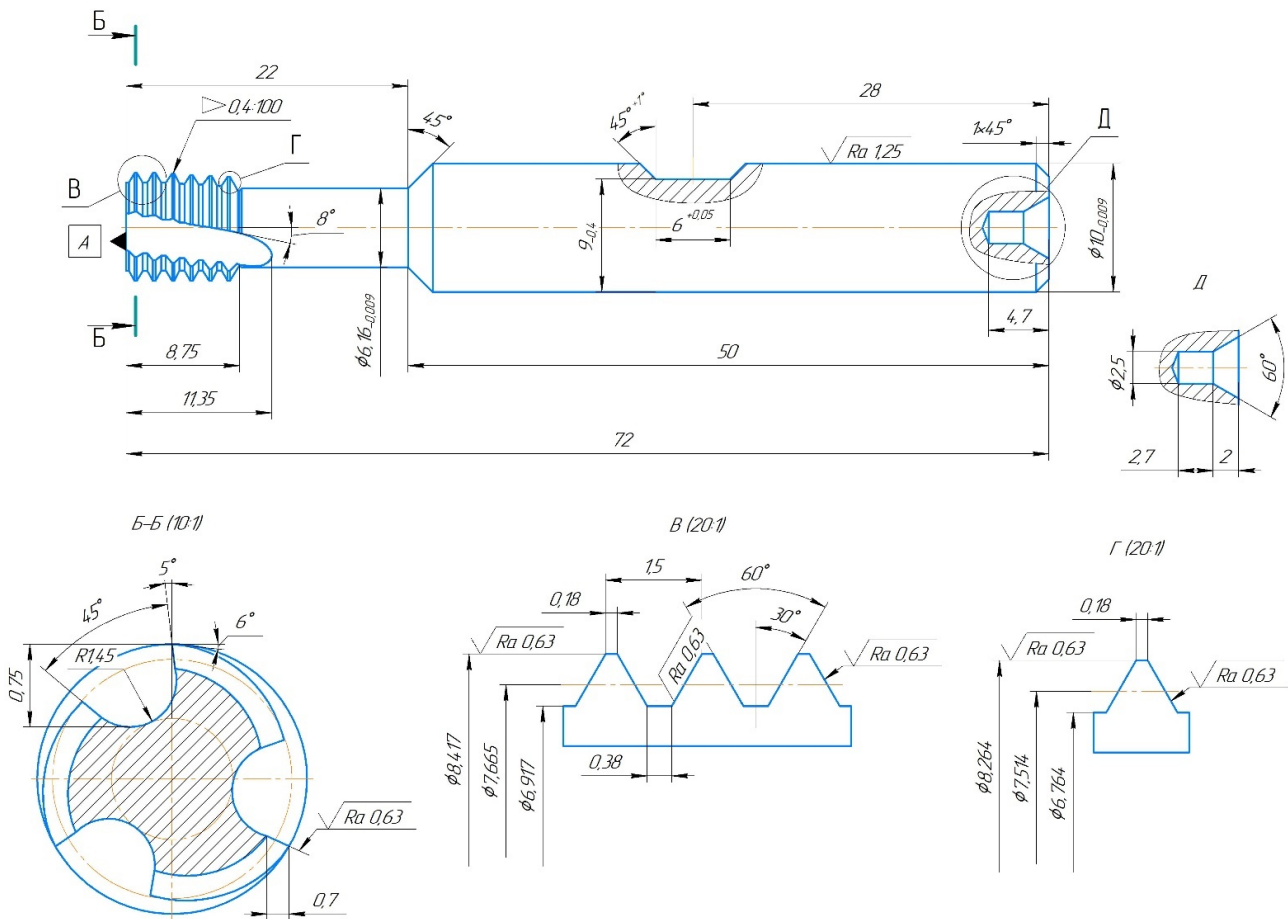


Рисунок 1 – Різьбова фреза зі зворотним конусом

**Висновки.** В статті описано фрезерування різьби, як прогресивний метод різьбообробки. Розглянуто вплив сил різання на точність обробки різьбових поверхонь. Проаналізовано варіанти боротьби із негативним явищем відгинання інструменту під час обробки. Розглянуто питання вдосконалення геометрії різьбофрезерного інструменту через застосування зворотного конуса. Проаналізовано варіації виконання робочої частини різального інструмента. Розраховано та спроектовано вдосконалену різьбову фрезу зі зворотною конусністю різальної частини.

## Список літератури

1. Lee S.W. Analytic mechanistic cutting force model for thread milling operations / S.W. Lee , A. Kasten, A. Nestler // Procedia of the 14th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations (CIRP CMMO, 2013). – June 13 - 14, 2013. Turin, Italy: Luca Settineri, 2014. – Vol. 8. – P. 546-551.
2. Stankov N. Analytical and Graphical Profiling of Thread-Milling Cutters for forming Internal Threads / N. Stankov, A. Ivanov // Applied Sciences. – 2025. – Vol. 15, iss. 13. – Art. 7308.
3. Пат. 2003/0231934 США, МПК В23G 5/18. Thread milling tool / Richard D. Kienzle; заявник Richard D. Kienzle. – № 10/174,138; заявл. 18.06.2002; опубл. 18.12.2003. – 7 р.
4. Пат. 203018865 Китай, МПК В23G 5/18. Thread processing milling cutter / Sun Zhenmei, Zhou Lei; заявник та патентовласник Chengdu Best Diamond Tools Co Ltd. – № 201220623253.3; заявл. 22.11.2012; опубл. 26.06.2013. – 7 р.
5. Пат. 108620694 Китай, МПК В23G 5/18. A kind of self-compensation screw cutter suitable for the finishing of small-diameter thread hole height / Dong Liangliang, Wang Jing, Zhu Xiaohua; заявник та патентовласник Chengdu Best Diamond Tools Co Ltd. – № 201810488663.2; заявл. 21.05.2018; опубл. 09.10.2018. – 8 р.
6. Пат. 112191956 Китай, МПК В23G 5/18. Thread milling cutter for high-temperature nickel-based alloy / Zhou Panke, Zhou Dongyang, Shuai Jiangnan, Xi Xudong ; заявник та патентовласник Zigong Cemented Carbide Co Ltd. – № 202011082538.5; заявл. 12.10.2020; опубл. 08.01.2021. – 13 р.