

## **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ ПРИ ЇХ ОБРОБЦІ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ**

**В. Селехова**, асистент

**О. Скібінський**, кандидат технічних наук, доцент

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

Різьбова поверхня є однією з найпоширеніших технологічних поверхонь у машинобудуванні. Вона являє собою гвинтову поверхню, утворену переміщенням плоского контуру (профілю різьби) вздовж гвинтової лінії. Різьби класифікують за призначенням на кріпильні, ходові та спеціальні; за формою профілю – на трикутні, трапецієподібні, прямокутні та круглі; за напрямком гвинтової лінії – на праві та ліві; за кількістю заходів – на однозахідні та багатозахідні. Особливе місце серед різьбових поверхонь займають внутрішні різьби, оскільки їх формування в отворах деталей є значно складнішим технологічним завданням порівняно з нарізанням зовнішніх різьб.

Внутрішні різьбові поверхні широко застосовуються у вузлах та агрегатах машин і механізмів: у корпусних деталях, гідравлічній та пневматичній арматурі, переходниках, втулках, гайках та інших елементах нероз'ємних і рознімних з'єднань. Від точності та якості внутрішньої різьби суттєво залежить надійність та довговічність усього з'єднання. Неточно виготовлена різьба призводить до неправильного розподілу навантаження між витками, передчасного зносу, а в окремих випадках – до самовідгвинчування або руйнування з'єднання.

Традиційними методами отримання різьбових поверхонь є нарізання мітчиками та різьбонарізними голівками, розточування різьбовими різцями на токарних верстатах, а також накатування різьби роликми. Однак із розширенням застосування верстатів із числовим програмним управлінням (ЧПУ) та обробних центрів дедалі більшого поширення набуває метод різьбофрезерування з використанням гвинтової інтерполяції.

Метод різьбофрезерування шляхом гвинтової інтерполяції полягає в тому, що різьбова фреза, обертаючись навколо власної осі, одночасно здійснює кругову траєкторію навколо осі оброблюваного отвору, поєднану з осьовою подачею. Таким чином, за один оберт фрези навколо осі отвору вона переміщується вздовж осі на величину кроку різьби, формуючи повний профіль різьби. Метод реалізується на фрезерних та токарно-фрезерних верстатах з ЧПУ, а також на багатоцільових обробних центрах, оснащених можливістю переміщення по трьох осях координат.

Перевагою різьбофрезерування є його універсальність: одна і та сама різьбова фреза може використовуватись для обробки різьб різних діаметрів за умови, що крок різьби однаковий. Це суттєво скорочує номенклатуру різального інструменту на підприємстві. Метод особливо ефективний для обробки глухих отворів, важкооброблюваних матеріалів, а також у випадках, коли потрібно витримати підвищені вимоги до точності. Крім того, при різьбофрезеруванні утворюється коротка дрібна стружка, що полегшує її відведення з зони різання – одна з головних проблем при нарізанні внутрішніх різьб мітчиком.

Особливістю обробки внутрішніх різьбових поверхонь методом гвинтової інтерполяції є те, що різьбова фреза розміщується всередині отвору, діаметр якого лише незначно перевищує діаметр самого інструменту. У цих умовах виникає ряд специфічних технологічних проблем, пов'язаних як з геометрією процесу різання, так і з механічними явищами, що супроводжують обробку.

При обробці внутрішніх різьбових поверхонь методом гвинтової інтерполяції різьбова фреза зазнає дії сил різання, серед яких особливе значення має радіальна складова. Радіальна сила різання спрямована перпендикулярно до осі обертання фрези і виникає внаслідок контакту різальних зубів інструменту з оброблюваним матеріалом. Під дією радіальної сили різання

різбова фреза відгинається від своєї ідеальної траєкторії. Оскільки фреза закріплена в патроні шпинделя і працює як консольно навантажений стрижень, пружне відхилення її робочого кінця від номінального положення може бути суттєвим, особливо при великому вильоті інструменту або при його малому діаметрі. Відгинання фрези призводить до того, що фактична траєкторія різальних кромek відрізняється від запрограмованої. Наслідком цього є конусність різби (рис. 1) та похибки профілю: відхилення середнього діаметра, відхилення форми профілю витка. У результаті знижується точність різби, вона може не відповідати вимогам технічної документації, а посадка різбового з'єднання порушується.

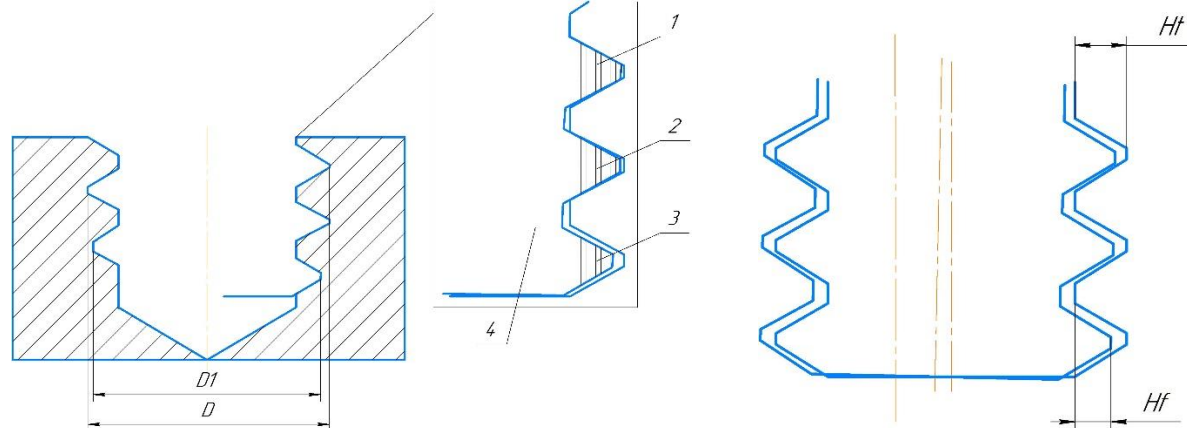


Рисунок – 1 Утворення конусності різби:  $D$  – номінальний діаметр першого витка різби;  $D1$  – номінальний діаметр останнього витка різби; 1, 2, 3 – шар матеріалу, видаляємий при фрезеруванні першого, другого та третього витків різби відповідно; 4 – положення різбової фрези в точці і;  $Ht$  – теоретична висота профілю різби;  $Hf$  – фактична висота профілю різби

Величина пружного відгинання залежить від цілої низки факторів: жорсткості системи верстат–пристосування–інструмент–деталь, діаметра та довжини різбової фрези, значення сил різання, які, в свою чергу, залежать від матеріалу заготовки, режимів різання та геометрії інструменту. Особливо чітко проблема відгинання проявляється при обробці дрібних різьб у твердих матеріалах, при великому вильоті інструменту, а також при невеликих діаметрах різбових фрез. У таких умовах навіть незначне пружне відхилення інструменту може призвести до виходу різби за межі допуску.

Відгинання різбової фрези також може призводити до нерівномірного зношування різальних кромek, погіршення шорсткості обробленої поверхні, та навіть до поломки інструменту.

Серед відомих конструкцій різбових фрез, що підвищують точності обробки та мінімізують негативний вплив відгинання інструменту, є інструменти особливістю яких є застосування зворотної конусності у напрямку від торцевої поверхні до хвостовика (рис. 2).

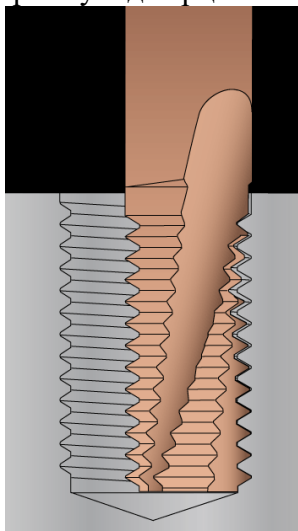


Рисунок – 2 Схема різьбофрезерування інструментом зі зворотною конусністю

Відома різьбова фреза [1] зі зворотним конусом, яка має величину конусності 0,05мм на 100 мм довжини робочої частини, що дозволяє ефективно компенсувати радіальний прогин, який виникає під дією сил різання. Це забезпечує рівномірне зношування зубців та подовжує термін експлуатації інструмента.

Різьбова фреза [2] передбачає поділ різальної частини на декілька секцій (зазвичай від 2 до 4) із різними значеннями конусності, що зростають у напрямку до хвостової частини. Зокрема, відома конструкція з трьома зонами, де конусність першої секції становить 0,2–0,3/100, другої – 0,4–0,5/100, а третьої – 0,6–0,7/100. Такий ступінчастий підхід дозволяє поступово вводити зубці в контакт із заготовкою, що знижує початковий опір різанню та запобігає появі небажаної конусності в обробленій різьбі.

Окрім лінійної зворотної конусності, існують варіанти [3] з дугоподібним профілем, де співвідношення діаметра до довжини є змінним і варіюється в межах 0,01/100–10/100. Такі самокомпенсуючі фрези особливо ефективні при високоточній обробці отворів малого діаметра. Також застосовуються твердосплавні інструменти з конусністю 0,25/100–0,3/100 [4], які додатково оснащені нерівномірним розташуванням різальних лез (наприклад, із чергуванням кутів між канавками 85° та 95°). Це дозволяє уникнути резонансних явищ під час роботи.

Ще одним підходом до підвищення точності різьбових поверхонь при обробці на верстатах з ЧПУ є введення корекції траєкторії інструменту в управляючу програму з урахуванням прогнозованого пружного відгинання. Для цього на підставі розрахунків або попередніх вимірювань визначають типову величину відхилення фрези при заданих умовах різання і вносять відповідну поправку в запрограмовані координати траєкторії. Такий підхід потребує додаткових розрахунків і коригування управляючої програми, але може суттєво підвищити точність обробки без змін в конструкції інструменту.

Таким чином, підвищення точності внутрішніх різьбових поверхонь, оброблюваних на верстатах з ЧПУ методом гвинтової інтерполяції, є комплексною задачею, що потребує врахування як технологічних, так і конструктивних факторів. Застосування різьбових фрез із зворотним конусом різальної частини є одним з найбільш ефективних практичних рішень, оскільки дозволяє компенсувати ефект пружного відгинання без зниження продуктивності та ускладнення програмування обробки. Подальший розвиток методів підвищення точності різьбофрезерування пов'язаний із вдосконаленням конструкцій різального інструменту, розробкою методів розрахунку і прогнозування пружних деформацій системи, а також з використанням адаптивних систем керування верстатами з ЧПУ.

## Список літератури

1. Thread milling tool. Richard D. Kienzle. United States Patent Application Publication. US 2003/0231934 A1, 2003. – 7 p. URL: <https://patents.google.com/patent/US20030231934A1/en?q=US+2003%2f0231934+A1>
2. <https://patents.google.com/patent/US20030231934A1/en?q=US+2003%2f0231934+A1>
3. Thread processing milling cutter. Sun Zhenmei, Zhou Lei. Patent of China. CN203018865U, 2013. – 7 p. URL: <https://patents.google.com/patent/CN203018865U/en?q=CN203018865U>
4. A kind of self compensation screw cutter suitable for the finishing of small-diameter thread hole height. Dong Liangliang, Wang Jing, Zhu Xiaohua. Patent of China. CN108620694A, 2018. – 8 p. URL: <https://patents.google.com/patent/CN108620694A/en?q=CN108620694A>
5. Thread milling cutter for high-temperature nickel-based alloy. Zhou Panke, Zhou Dongyang, Shuai Jiangnan, Xi Xudong. Patent of China. CN112191956A, 2021. – 13 p. URL: <https://patents.google.com/patent/CN112191956A/en?q=CN112191956A>