

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра “Машинобудування, мехатроніки і робототехніки”

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри ММіР
к.т.н., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Розробка технології виготовлення кришки передньої з
дослідженням обробки внутрішніх різьбових поверхонь»
«Development of front cover manufacturing technology with research into the
processing of internal threaded surfaces»**

Виконав здобувач вищої освіти 2-го року
магістратури групи ПМ-24М-3
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Євгеній СЕРГІЄНКО

Керівник роботи к.т.н., доцент
_____ Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Рецензент: _____

Кропивницький – 2025

Центральноукраїнський національний технічний університет	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА

Євгенія СЕРГІЄНКА

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка технології виготовлення кришки передньої з дослідженням обробки внутрішніх різьбових поверхонь

2. Керівник роботи: к.т.н., доц., Олександр СКІБІНСЬКИЙ

3. Строк подання роботи до захисту « ____ » _____ 2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є: дослідження обробки внутрішніх різьбових поверхонь, виявлення недоліків цього процесу та підготовка рекомендацій щодо їх усунення на прикладі обробки різьб кришки передньої із розробленням технології її обробки.

Завдання:

- виконати опис методів обробки різьб та різальних інструментів для їх виконання;
- проаналізувати негативне явище процесу фрезерування різьби, а саме відгинання різьбової фрези від осі оброблюваного отвору, що призводить до конусності обробленої різьби;
- проаналізувати причини даного явища;
- виконати пошук відомих способів підвищення жорсткості різьбових фрез для запобігання або зменшення їх відгинання під час обробки;
- виконати пошук конструкторських рішень щодо удосконалення геометрії різьбофрезерного інструменту з метою підвищення його жорсткості;
- розробити технологію обробки кришки передньої, обрати металорізальні верстати, затискні, допоміжні та контрольні пристрої, розрахувати припуски, режими різання та норми часу;
- розробити удосконалену конструкцію різьбової фрези для обробки різьби в отворах деталі кришка передня, яка зменшує або усуває відгинання під час обробки;
- виконати необхідні економічні розрахунки.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 2	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 3	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 4	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 5	Ірина ЖУРИЛО		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п / п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1	ВСТУП	Вересень 2025	вик.
2	РОЗДІЛ 1	Вересень 2025	вик.
3	РОЗДІЛ 2	Вересень-жовтень 2025	вик.
4	РОЗДІЛ 3	Вересень-жовтень 2025	вик.
5	РОЗДІЛ 4	Жовтень-листопад 2025	вик.
6	РОЗДІЛ 5	Листопад 2025	вик.
7	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Листопад 2025	вик.
8	Графічна частина	Листопад-грудень 2025	вик.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи _____ Олександр СКІБІНСЬКИЙ
(підпис)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 2025 р.

Здобувач _____ Євгеній СЕРГІЄНКО
(підпис)

Анотація

Сергієнко Є.Р. Розробка технології виготовлення кришки передньої з дослідженням обробки внутрішніх різьбових поверхонь: кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: спец. 131 «Прикладна механіка» / наук. кер. О. І. Скібінський; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025. – 102 с. Матеріали презентації 9 креслень.

Метою роботи є дослідження обробки внутрішніх різьбових поверхонь, виявлення недоліків цього процесу та підготовка рекомендацій щодо їх усунення на прикладі обробки різьби кришки передньої із розробленням технології її обробки.

В роботі виконано: опис видів різьб, опис методів обробки різьб та різальних інструментів для їх виконання; аналіз негативного явища відгинання різьбової фрези від осі оброблюваного отвору, що призводить до конусності обробленої різьби, з аналізом причин його виникнення; пошук відомих способів підвищення жорсткості різьбових фрез для запобігання або зменшення їх відгинання під час обробки; пошук конструкторських рішень щодо удосконалення геометрії різьбофрезерного інструменту з метою підвищення його жорсткості; розроблення технології обробки кришки передньої; розробку удосконаленої конструкції різьбової фрези для обробки різьби в отворах деталі кришка передня, яка зменшує або усуває відгинання під час обробки та має більшу жорсткість; виконано необхідні економічні розрахунки.

Актуальність: усунення явища конусності різьби при фрезеруванні.

Практична цінність: проаналізовано конструктивні особливості різьбових фрез, які завдяки підвищенню жорсткості інструмента забезпечують усунення його відгинання від осі отвору під час фрезерування внутрішньої різьби. Запропоновано, розраховано та спроектовано різьбову фрезу для обробки різьби в отворах, що має зворотний конус різальної частини та конусність якого складає 0,4/100, яка завдяки своїй конструкції мінімізує негативний вплив відгинання інструменту – утворення конусності обробленої різьби.

Ключові слова: різьбофрезерування, різьбова фреза, конусність, різьба.

Annotation

Yevhenii SERHIIENKO. Development of front cover manufacturing technology with research into the processing of internal threaded surfaces. Master's Thesis: CNTU, 2025. - 102 p. Presentation materials 9 il.

The purpose of the work is to study the processing of internal threaded surfaces, identify the shortcomings of this process and prepare recommendations for their elimination using the example of processing threads of the front cover with the development of its processing technology.

The work includes: a description of the types of threads, a description of thread processing methods and cutting tools for their execution; an analysis of the negative phenomenon of the deflection of the thread milling cutter from the axis of the machined hole, which leads to the taper of the machined thread, with an analysis of the causes of its occurrence; a search for known methods of increasing the rigidity of thread milling cutters to prevent or reduce their deflection during processing; a search for design solutions to improve the geometry of the thread milling tool in order to increase its rigidity; development of the technology for processing the front cover; development of an improved design of a thread milling cutter for processing threads in the holes of the front cover part, which reduces or eliminates deflection during processing and has greater rigidity; the necessary economic calculations have been performed.

Relevance: elimination of the phenomenon of thread taper during milling.

Practical value: the design features of thread milling cutters have been analyzed, which, due to increased tool rigidity, ensure the elimination of its deflection from the hole axis during milling of internal threads. A thread milling cutter for machining threads in holes has been proposed, calculated and designed, which has a reverse cone of the cutting part and a taper of 0.4/100, which, due to its design, minimizes the negative impact of tool deflection - the formation of taper of the machined thread.

Keywords: milling cutter, thread milling, thread milling cutter, taper, thread.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ПОНЯТТЯ РІЗЬБОВОЇ ПОВЕРХНІ, ЇЇ ОБРОБКА, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1. Поняття «різьбова поверхня».....	8
1.2. Методи обробки різьбових поверхонь, інструмент для обробки різьби.....	11
1.3. Контроль різьби.....	28
1.4. Негативне явище відгинання різьбової фрези.....	31
1.5. Постановка задач дослідження	37
РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ ТА МЕТОДИ УСУНЕННЯ ВІДГИНАННЯ РІЗЬБОВИХ ФРЕЗ.....	38
2.1. Конструкції різьбових фрез, що усувають або зменшують відгинання.....	38
2.2. Дослідження якості обробленої різьби інструментом зі зворотним конусом.....	46
2.3. Висновки.....	47
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ КРИШКИ ПЕРЕДНЬОЇ.....	48
3.1. Характеристика виробу та вузла до якого входить деталь.....	48
3.2. Службове призначення та характеристика кришки передньої.....	50
3.3. Розробка технології виготовлення кришки передньої.....	54
3.4. Висновки.....	80
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ РІЗЬБОВОЇ ФРЕЗИ ДЛЯ ОБРОБКИ РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ КРИШКИ ПЕРЕДНЬОЇ.....	81
4.1. Вибір напрямків удосконалення конструкції різьбової фрези.....	81
4.2. Проектування конструкції різьбової фрези.....	82
4.3. Висновки.....	89
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ РІЗЬБОВОЇ ФРЕЗИ.....	90
5.1. Загальні вихідні дані.....	90
5.2. Визначення витрат на підготовку виробництва.....	91
5.3. Визначення собівартості та оптової ціни інструменту.....	92
5.4. Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки).....	95
5.5. Розрахунок показників економічної ефективності.....	95
5.6. Висновки.....	97
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	98
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	99

ВСТУП

Якість машинобудівної продукції в умовах ринкової економіки та стрімкого технічного прогресу набуває стратегічного значення для підприємств та національної економіки загалом. Вона стає не просто характеристикою виробу, а ключовим чинником конкурентоспроможності, інноваційного розвитку та економічної стійкості.

Машинобудівні підприємства, що не здатні підтримувати високу якість, втрачають ринки збуту, оскільки сучасний ринок орієнтований на глобальні стандарти та відкриту конкуренцію.

Технічний прогрес суттєво підвищує вимоги до виробничих процесів. Нові матеріали, цифрові технології, автоматизація та адитивні методи виробництва змінюють уявлення про якість машинобудівної продукції.

У сучасних умовах якість машинобудівної продукції визначає успіх виробника. Вона стає результатом поєднання високотехнологічних процесів, раціональної організації виробництва, інноваційних підходів і глибокого розуміння потреб ринку. Підприємства, що активно впроваджують нові технології отримують суттєві переваги в глобальній конкуренції та забезпечують сталий розвиток.

В роботі необхідно виконати опис процесу та методів обробки внутрішньої різьби, та виконати опис інструментів для їх здійснення. Виконати аналіз негативного явища відгинання різьбової фрези від осі оброблюваного отвору, що призводить до конусності обробленої різьби та проаналізувати причини його виникнення. Виконати пошук відомих методів та способів підвищення жорсткості різьбових фрез для запобігання або зменшення їх відгинання під час обробки. Виконати пошук конструкторських рішень щодо удосконалення геометрії різьбофрезерного інструменту з метою підвищення його жорсткості. Виконати розробку технології обробки кришки передньої. На основі виконаного пошуку розробити удосконалену конструкцію різьбової фрези для обробки різьби в отворах деталі кришка передня, яка зменшить або усуне відгинання під час обробки.

РОЗДІЛ 1. ПОНЯТТЯ РІЗЬБОВОЇ ПОВЕРХНІ, ЇЇ ОБРОБКА, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Поняття «різьбова поверхня»

Різьбова поверхня – це поверхня, утворена гвинтовою лінією, що рівномірно оббиває циліндр або конус. Інакше кажучи, це – спіралеподібна канавка, вирізана або нанесена на зовнішній чи внутрішній поверхні деталі. Вона утворюється в результаті поєднання обертального та поступального рухів різального інструмента. Такі поверхні є одними з найпоширеніших у машинобудуванні, адже саме вони забезпечують гвинтове з'єднання деталей.

Різьбові поверхні є одним із найважливіших типів поверхонь деталей у техніці. Вони забезпечують точність, надійність та універсальність з'єднань, дозволяють створювати регульовальні механізми, передачі та герметичні системи.

Основне призначення різьбової поверхні – створення рознімних з'єднань деталей. Різьбові з'єднання дозволяють багаторазово з'єднувати та роз'єднувати елементи без пошкодження, забезпечують міцність, надійність і точність позиціонування деталей у конструкціях.

Залежно від функції, різьбові поверхні застосовують для:

- з'єднувальних різьб (наприклад, болт і гайка);
- кріпильних різьб (гвинти, шпильки, болти);
- ходових різьб (у гвинтових передачах, домкратах, верстатах – для перетворення обертального руху в поступальний);
- ущільнювальних різьб (у гідравлічних і пневматичних системах, трубних з'єднаннях).

Різьбові поверхні також використовують для регулювання, фіксації положення деталей, а також у приладобудуванні, авіації, машинобудуванні, енергетиці та побутових механізмах.

Різьба залишається найзручнішим способом кріплення завдяки простоті виготовлення, універсальності та можливості демонтажу.

Існують різьби двох видів: зовнішні (рис. 1.1 а, б) та внутрішні (рис. 1.1 в, г). Зовнішня різьба виконується на циліндричній (рис. 1.1, а) або конічній (рис. 1.1., б) поверхні. Внутрішня різьба виконується в циліндричному (рис .1.1, в) або конічному (рис. 1.1., г) отворі. За напрямом різьби поділяються на праві та ліві. Права різьба закручується за годинниковою стрілкою (використовується найчастіше), ліва – проти.

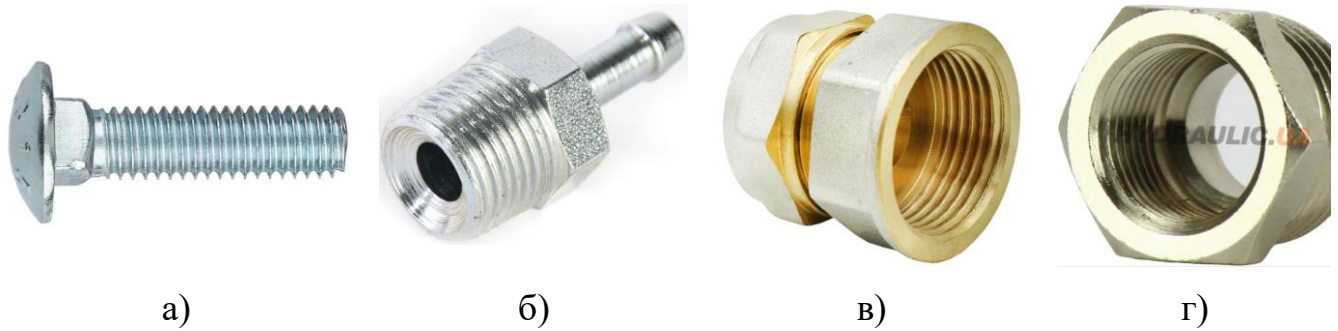


Рис. 1.1 Види різьб:

А – зовнішня циліндрична; б – зовнішня конічна; в – внутрішня циліндрична; г – внутрішня конічна

Різьба характеризується низкою геометричних параметрів, які визначають її форму та розміри (рис. 1.2).



Рис. 1.2 Профіль різьби

Зовнішній (номінальний) діаметр – діаметр циліндра, що проходить через вершини витків зовнішньої різьби.

Внутрішній діаметр – діаметр циліндра, що проходить через западини різьби (для внутрішньої різьби).

Середній діаметр – діаметр, на якому товщина витка дорівнює ширині западини. Саме по цьому діаметру зчіплюються витки різьб з'єднуваних деталей.

Крок P – відстань між однойменними точками сусідніх витків, виміряна вздовж осі різьби.

Кут профілю α – кут між бічними поверхнями витка.

Висота профілю h – відстань між вершиною і западиною різьби.

В машинобудівній галузі прийняті три системи різьб: метрична, дюймова та трубна.

Метрична різьба – найпоширеніший тип у світі, особливо в країнах, які використовують метричну систему вимірювання. Її профіль має форму рівнобедреного трикутника з кутом при вершині 60° . Основним параметром метричної різьби є крок. Метричну різьбу поділяють на: метричну звичайну (велику) та метричну дрібну. Метрична звичайна (велика) – використовується в більшості болтових з'єднань. Метрична дрібна має менший крок, застосовується там, де потрібна більша точність і фіксація (наприклад, у приладобудуванні). Основні переваги метричної різьби – це простота виготовлення, взаємозамінність деталей, широкий асортимент стандартних розмірів та зручність у вимірюваннях.

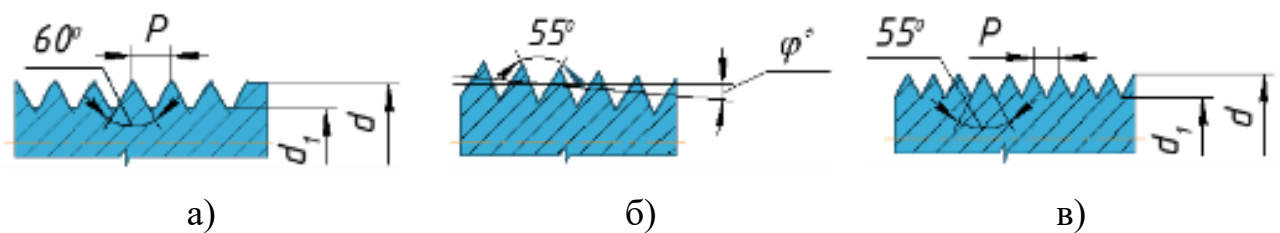


Рис. 1.3 Профіль різьби:

а – метричної; б – дюймової конічної; в – трубної;

P – крок; d_1 – внутрішній діаметр; d – зовнішній діаметр; φ° – кут нахилу середньої лінії різьби

Дюймова різьба (англ. Unified Thread, Whitworth Thread) застосовується переважно у країнах, де використовують англійську систему мір – наприклад, у Великій Британії, США та Канаді. Вона має трикутний профіль із кутом при вершині 55° (у різьбі Вітворта) або 60° (у американських стандартах). Основним параметром є не крок, а кількість витків на дюйм.

Існує кілька основних серій:

- UNC (Unified National Coarse) – з великим кроком;

- UNF (Unified National Fine) – з дрібним кроком;
- UNEF (Extra Fine) – для точних з'єднань.

Дюймова різьба зберегла популярність у багатьох галузях завдяки історичній спадковості — особливо в авіації, автомобілебудуванні США та виробництві обладнання британського стандарту. Проте для сумісності з метричними системами іноді застосовують спеціальні перехідники.

Трубна різьба використовується для герметичних з'єднань у водопровідних, газових і гідравлічних системах. Її особливість у тому, що діаметр вимірюється не по зовнішній різьбі, а по внутрішньому діаметру труби, тому реальний розмір відрізняється від позначеного. Профіль трубної різьби має кут 55° , що відрізняє її від метричної.

Розрізняють два основні типи трубної різьби:

- циліндрична (G) – забезпечує щільне з'єднання з використанням ущільнювальних матеріалів;
- конічна (R) – ущільнюється завдяки натягу при загвинчуванні, без додаткових прокладок.

1.2. Методи обробки різьбових поверхонь, інструмент для обробки різьби

Якість і точність різьби визначають міцність та надійність різьбового з'єднання, тому вибір способу її нарізання має велике значення. Існує кілька основних способів утворення різьб, які відрізняються за методом обробки, інструментом і вимогами до точності. До методів обробки різьбових поверхонь належать: накатування, електроерозія, точіння, нарізання мітчиками, фрезерування, шліфування.

Накатування різьби – це метод утворення різьби на циліндричних або конічних поверхнях за допомогою пластичної деформації металу без видалення стружки. Під час цього процесу волокна металу не перерізаються, як при різанні, а лише переміщуються, утворюючи різьбовий профіль. Завдяки цьому різьба, отримана накатуванням, має високу міцність, зносостійкість і точність.

Процес виконується за допомогою спеціальних інструментів для накатування різьби – різьбонакатних роликів (рис. 1.4, а), розкатників (рис. 1.4, б) та плашок (рис. 1.4, в, г).



а)



б)



в)



г)

Рис. 1.4 Інструмент для накатування різьб:

а – різьбонакатні ролики; б – плашки плоскі; в – розкатники; г – плашки роликові

Різьбонакатні ролики мають профіль, що відповідає формі майбутньої різьби. Вони встановлюються у різьбонакатних головках, які можуть бути плоскими, круглими або призматичними. Обертання роликів здійснюється в одному напрямку (рис. 1.5, а), а один із роликів додатково виконує радіальне переміщення. Унаслідок тиску профіль роликів втискається у поверхню деталі, формуючи витки різьби.

Плоскі плашки (рис. 1.5, б) застосовуються переважно на автоматах і напівавтоматах для масового виробництва гвинтів, болтів і шпильок. Плашки, між якими встановлено заготовку, здійснюють поступальний рух в паралельних площинах, тим самим забезпечуючи накочування різьби на циліндричній поверхні заготовки.

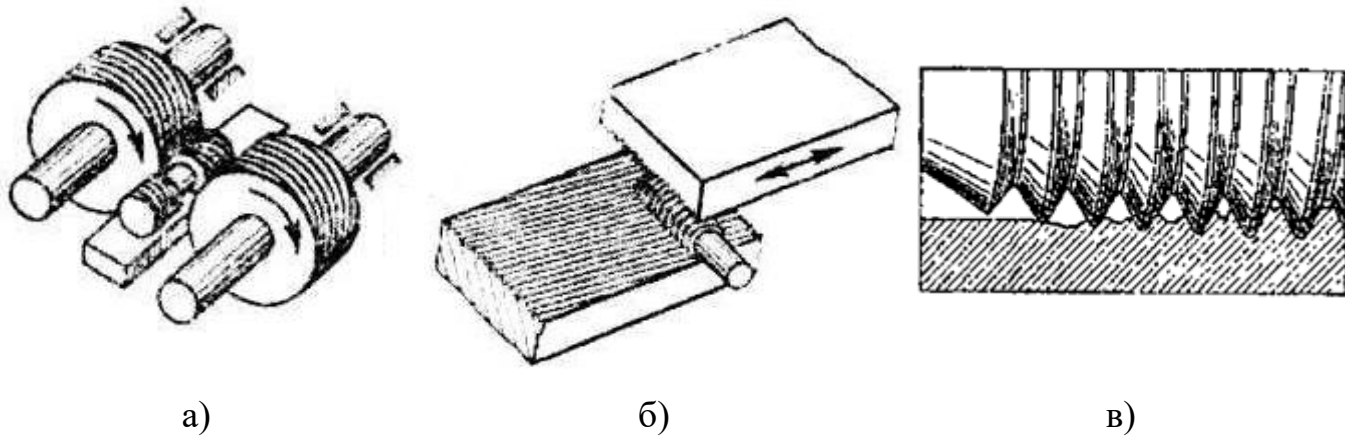


Рис. 1.5 Схема процесу різьбонакатування:

а – роликами; б – плоскими плашками; в – розкатником

Розкатники застосовуються для виготовлення внутрішньої різьби. Розкатник (рис. 1.5, в) обертається навколо власної осі, а рухом подачі є переміщення вздовж осі інструменту на крок різьби, що становить 2-3 мм.

Накатування різьби здійснюється при холодному стані металу, зазвичай після термообробки заготовки.

Режими обробки при накочуванні залежать від матеріалу деталі, кроку та діаметра різьби. Основні параметри:

- швидкість накочування – у межах 10–60 м/хв;
- зусилля натиску – від 10 до 200 кН (для великих діаметрів більше);
- глибина накочування відповідає половині висоти профілю різьби.

Для поліпшення якості застосовується змащувально-охолоджувальна рідина (емульсія, мінеральні масла).

В якості верстатів для виконання накочування різьби застосовують спеціальні різьбонакатні, а також токарно-гвинторізні та автоматичні токарні верстати. У серійному та масовому виробництві найчастіше використовують різьбонакатні верстати типу РН, що дозволяють обробляти болти, шпильки та інші кріпильні вироби. На токарних верстатах накочування виконують із використанням спеціальних накатних головок, які встановлюють у різцетримач.

Накатуванням можна обробляти: жароміцні, конструкційні та нержавіючі сталі, а також мідь, алюміній та бронзу.

Електроерозійна обробка різьби – це метод, при якому різьба формується за допомогою електричних іскер між інструментом та заготовкою. Цей процес належить до групи обробки металів електричним розрядом і дозволяє отримувати точні та складні різьбові профілі на заготовках із матеріалів, які важко обробляти іншими методами, зокрема, на загартованих сталях, жароміцних сплавах та інших твердих матеріалах.

Принцип роботи електроерозійної обробки різьби ґрунтується на використанні високочастотних електричних імпульсів, які спричиняють локальне плавлення матеріалу заготовки. Електричні іскри, що виникають між інструментом і заготовкою, мають високу температуру (до 10 000°C), що дозволяє плавити та випаровувати метал в точці контакту. За допомогою цього процесу можна точно формувати різьбові канавки без механічного контакту між інструментом і заготовкою.

Інструмент, який застосовується при електроерозійній обробці різьби – це електроди, виготовлені з матеріалів, що добре проводять електричний струм, наприклад, з міді або графіту. Інструмент має форму, що точно копіює форму майбутньої різьби.

Верстати, на яких виконується електроерозійна обробка різьби, є частиною родини електроерозійних машин, таких як верстати для електроерозійного різання (EDM) або верстати для електроерозійного шліфування (ECM). Обробка різьби здійснюється на спеціальних електроерозійних верстатах для нарізання різьби (EDM-верстати), де є можливість точно контролювати параметри обробки за допомогою програмного забезпечення.

Режими обробки при електроерозії різьби залежать від типу матеріалу, його твердості та необхідної точності різьби. Основні параметри:

- частота імпульсів – зазвичай в межах 10–100 кГц, що дозволяє забезпечити необхідну точність і якість поверхні;
- тривалість імпульсів – коротка, щоб зменшити теплові деформації;
- інтенсивність струму – залежить від товщини матеріалу і його здатності до ерозії;
- швидкість подачі – варіюється залежно від складності геометрії різьби та матеріалу заготовки.

Процес потребує спеціального охолодження за допомогою діелектричної рідини, зазвичай масла або води, що запобігає перегріву і видаляє матеріал, який випарувався під час розрядів.

Матеріали, для яких можна застосовувати електроерозійну обробку різьби, включають: вуглецеві, нержавіючі та загартовані сталі, жароміцні та титанові сплави.

Перевагою електроерозійної обробки є здатність працювати з матеріалами, які неможливо обробити іншими методами, а також отримання високої точності та складності форм. Це дозволяє створювати різьби, які мають високу міцність і точність навіть у дуже твердих матеріалах.

Точіння різьби – це вид механічної обробки, при якому за допомогою спеціального різця на поверхні деталі формується гвинтова канавка із заданим профілем, кроком, кутом підйому та напрямом. У результаті утворюється різбова поверхня, яка відповідає геометрії певного виду різьби – метричної, дюймової, трубної, трапецеїдальної, прямокутної, упорної тощо. Різьба, нарізана різцем, має високу точність профілю, може бути як зовнішньою (рис. 1.6, а), так і внутрішньою (рис. 1.6, б), з різним кроком і діаметром.

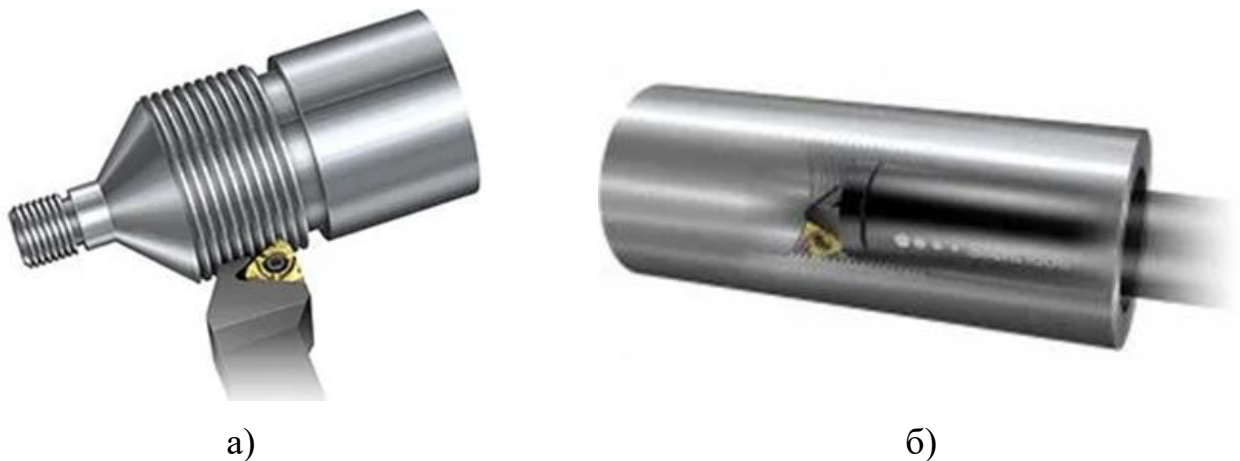


Рис. 1.6 Точіння різьби:

а – зовнішньої; б – внутрішньої

Діаметр зовнішньої поверхні під різьбу має бути дещо меншим за номінальний зовнішній діаметр різьби. Це пов'язано з тим, що під час нарізання виникають пружні та пластичні деформації матеріалу, унаслідок чого зовнішній діаметр деталі дещо збільшується, а внутрішній діаметр отвору – зменшується. Точне значення діаметра

деталі визначають за спеціальними таблицями або розраховують за відповідною формулою:

$$d_d = d_n - (0,1 \div 0,4)P \quad (1.1)$$

де d_d – діаметр деталі;

d_n – номінальний діаметр різьби;

P – крок різьби.

Різальним інструментом є різець. За конструкцією вони бувають (рис. 1.7): цільні, збірні з твердосплавними пластинами, напайні, збірні – борштанга зі змінною головкою тощо.



а)



б)



в)



г)

Рис. 1.7 Різці для нарізання різьби:

а – збірний для зовнішньої різьби; б – збірний для внутрішньої різьби; в – з напайною пластиною для внутрішньої різьби; г – борштанга зі змінною головкою для внутрішньої різьби

Під час нарізання різьби, як і під час звичайного точіння, деталь обертається навколо власної осі, а різець виконує рух подачі вздовж оброблюваної поверхні (рис. 1.8, а). Особливістю точіння різьби є те, що значення подачі буде рівне кроку

нарізаємої різьби. Різець переміщується синхронно з обертанням деталі, тобто за один оберт заготовки він проходить уздовж осі на відстань, рівну кроку різьби.

Нарізання різьби характеризується не тільки припуском на обробку, а й кількістю проходів. При цьому розрізняють чорнові та чистові проходи (рис. 1.8, б).

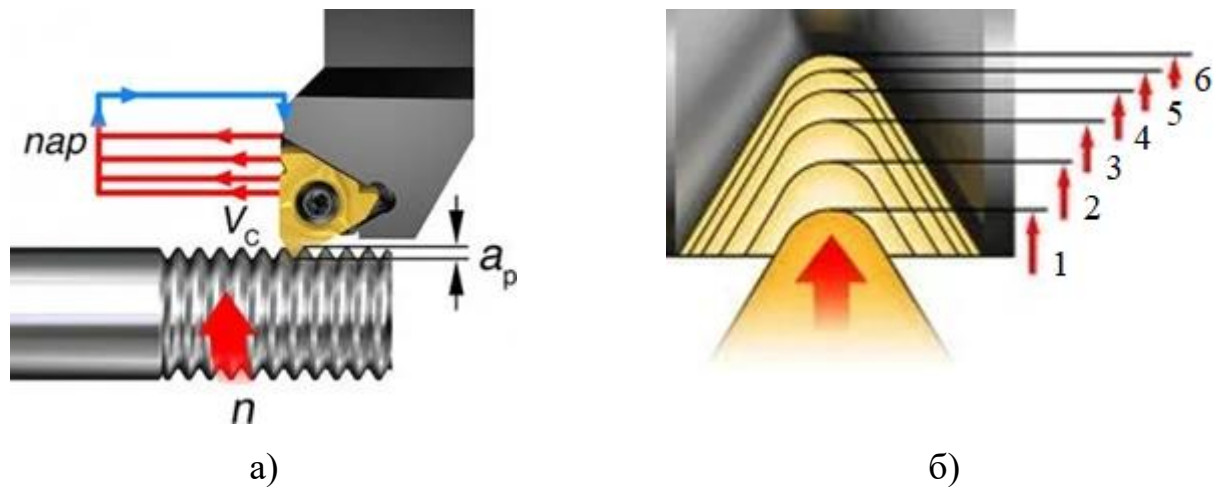


Рис. 1.8 Нарізання зовнішньої різьби різцем:

а – схема процесу; б – розбиття припуску на чорнові (1-4) та чистові (5-6) проходи;
ар – висота профілю різьби; пар – кількість проходів

Під час чорнового нарізання основним завданням є сформувати профіль різьби з необхідним кроком і напрямом. При цьому знімається більша частина припуску. Глибина різання у перших проходах може становити 0,2–0,5 мм залежно від кроку та матеріалу.

Чистові проходи або прохід виконується після чорнових для досягнення остаточної точності. Глибина різання мінімальна – 0,05–0,1 мм. Швидкість різання може бути дещо більшою, а подача залишається рівною кроку різьби. Після чистового проходження часто роблять один-два «холостих» проходи для видалення задирок і стабілізації розміру.

Загальна кількість проходів залежить від: кроку різьби, матеріалу деталі, твердості інструменту, точності, що вимагається.

При нарізанні різьби різцями застосовують помірні режими різання, оскільки профіль різьби складний, а навантаження на різець значні.

Швидкість різання (V):

- для швидкорізальних різців – 8-25 м/хв;

- для твердосплавних – 40–80 м/хв.

Подача (S) дорівнює кроку різьби P (мм/об).

Існують декілька типів різальних пластин (рис. 1.9). Пластина з повний профілем точить не тільки різбову канавку, а ще і зовнішній (номінальний) діаметр, тому необхідно обов'язково залишати припуск на діаметр.

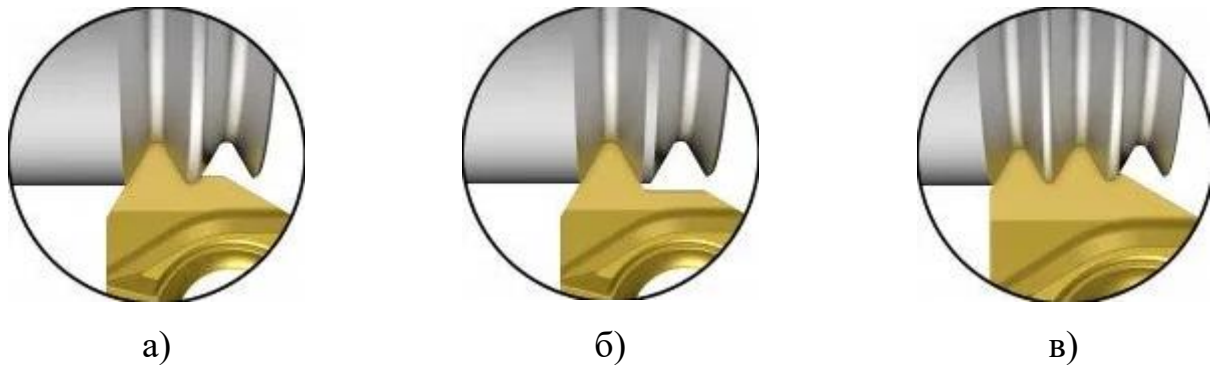


Рис. 1.9 Типи різальних пластин:

а – повний профіль; V-подібна; в – багатогранна

Багатогранна пластина створює більші сили різання через збільшення довжини контакту. Потрібно достатньо місця за останнім витком різьби для виходу останнього зуба пластини інструменту.

Застосування змащувально-охолоджувальних рідин зменшує тертя, покращує чистоту поверхні і збільшує довговічність різця. Для сталі застосовують емульсії, для кольорових сплавів – машинні масла.

Внутрішня різьба нарізається спеціальними внутрішніми різцями, які мають довге тіло та малий профіль. Такі різці закріплюють у державці, що дозволяє підвести інструмент усередину отвору.



Рис. 1.10 Нарізання внутрішньої різьби різцем:

а – правої; б – лівої

Перед нарізанням внутрішньої різьби поверхня отвору має оброблятися свердлінням, а при нарізання більш точної різьби – свердлінням і розточуванням. Діаметр отвору деталі перед нарізанням у ньому різьби розраховується за формулою:

$$d_{\text{отв}} = d_{\text{н}} - P \quad (1.2)$$

Заточка внутрішніх різців складніша, оскільки необхідно витримати правильний кут профілю і забезпечити відвід стружки. Під час нарізання різьби в глухих отворах потрібно точно розраховувати глибину врізання, щоб різець не вдарився у дно отвору. Для поліпшення відведення стружки та охолодження обов'язкове використання змащувально-охолоджувальної рідини під тиском.

Точіння різьби виконується на токарних верстатах, різьбонарізних автоматах, а також на верстатах з ЧПУ. Сучасні верстати з числовим програмним управлінням дозволяють автоматизувати процес нарізання різьби різцями. Подача різця синхронізується із частотою обертання шпинделя електронно, що забезпечує ідеальний крок і профіль різьби навіть при зміні швидкості різання.

Перевагами нарізання різьби різцями є його універсальність завдяки здатності нарізати будь-який тип різьби; висока точність профілю; можливість виготовлення одиничних і дрібносерійних деталей; легкість регулювання параметрів.

До недоліків можна віднести: меншу продуктивність порівняно з накатуванням чи різьбонарізними головками; підвищений знос різця при обробці твердих матеріалів; обмеження в обробці щодо дрібних кроків та малих діаметрів внутрішніх різьб.

Нарізання різьби мітчиками – це один із найпоширеніших способів утворення внутрішньої різьби в отворах деталей. Метод застосовується у машинобудуванні, приладобудуванні, слюсарній та ремонтній практиці, оскільки дає можливість отримати точну різьбу з високою чистотою поверхні. Основною перевагою цього методу є простота, універсальність і відносно невисока вартість інструменту.

Інструментом є мітчик (рис. 1.11) – це спеціальний різьбовий різальний інструмент, який використовується для нарізання внутрішніх різьб у попередньо просвердлених або розточених отворах. Мітчики застосовують як у ручній, так і в механізованій обробці (на свердлильних, токарних або фрезерних верстатах).

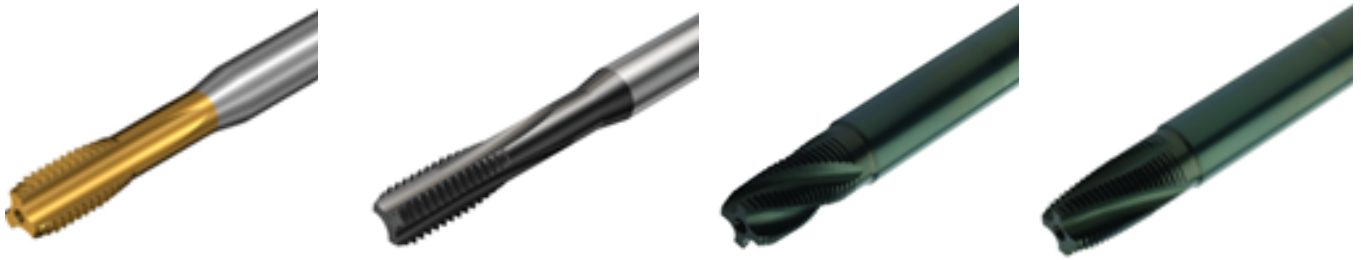


Рис. 1.11 Конструкції мітчиків

Конструктивно мітчик складається з двох основних частин (рис. 1.12): робочої та хвостовика. Робоча частина має у своєму складі забірну частину та калібруючу. Забірна (вхідна) має конічну форму і поступово вривається в метал, утворюючи початкові витки різьби. Калібруюча (направляюча) має повний профіль різьби і забезпечує остаточне формування поверхні, точність і чистоту обробки. Хвостовик служить для закріплення інструменту в тримачі або патроні та на кінці має квадрат, що призначений для передавання крутного моменту.

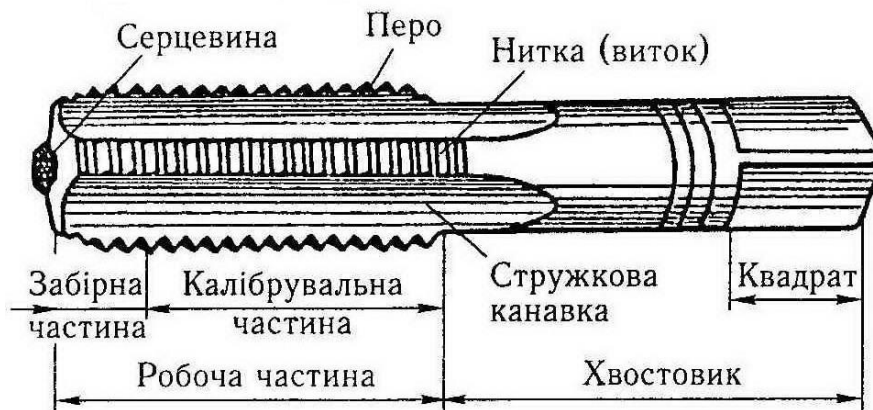


Рис. 1.12 Будова мітчика

На поверхні мітчика виконані поздовжні стружкові канавки – зазвичай 3 або 4, рідше 2 або 6. Вони утворюють різальні кромки і забезпечують вихід стружки. Канавки можуть бути: прямими, спіральними та зі змінним напрямком нахилу. Мітчики із прямими стружковими канавками застосовують для наскрізних отворів і звичайних матеріалів (рис. 1.13, а, б). Мітчики зі спіральними стружковими канавками застосовують для глухих отворів, щоб відводити стружку назовні (рис.

1.13, в) запобігаючи її накопиченню на дні отвору. Мітчики зі змінним напрямком нахилу призначені для спеціальних умов обробки.

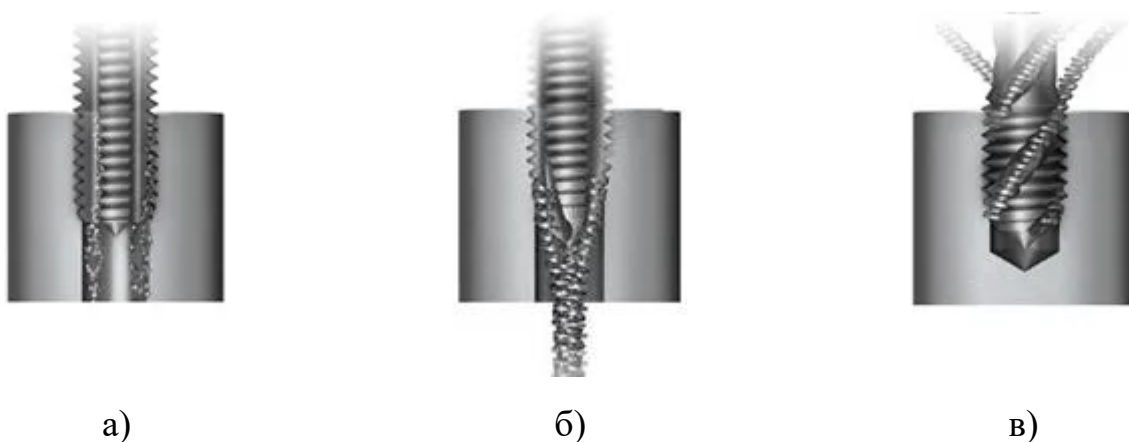


Рис. 1.13 Відведення стружки під час нарізання різьби мітчиком:

а, б – з прямими канавками; в – зі спіральними канавками

Під час обробки мітчик здійснює обертальний рух, а також поступальний рух подачі уздовж осі отвору. Ці два рухи пов'язані між собою – за один оберт інструмент переміщується на відстань, рівну кроку різьби P . Таким чином, забезпечується точне формування гвинтової поверхні. Після завершення нарізання різьби, мітчику надається зворотний рух при його виведенні з отвору.

Мітчик є мірним інструментом, тому для кожного діаметру різьби застосовується окремий інструмент. Допуск мітчика, розробленого для певного допуску, значно менший за допуск готової різьби. Допуск мітчика встановлюється таким чином, щоб мітчик нарізав правильну різьбу з самого початку. Під час використання мітчик поступово зношується і зрештою стає занадто малим для правильного нарізання різьби, ставши меншим за нижній допуск.

Геометричні параметри мітчика:

- кут профілю різьби – 60° для метричної, 55° для трубної;
- передній кут γ – $0^\circ \dots 15^\circ$ (залежить від матеріалу деталі);
- задній кут α – $6^\circ \dots 10^\circ$;
- кут нахилу канавки – $8^\circ \dots 35^\circ$ для спіральних мітчиків;
- довжина забірної частини – 2-10 витків різьби, залежно від типу інструменту.

Мітчики виготовляють із швидкорізальної сталі (Р6М5, Р18) або твердих сплавів (ВК8, Т15К6). Для підвищення зносостійкості їх покривають нітридом титану (TiN), нітридом хрому (CrN) тощо.

Швидкість різання при нарізанні різьби мітчиками:

- для сталей середньої твердості – 4-8 м/хв;
- для чавуну – 2-5 м/хв;
- для алюмінію, міді – 10-20 м/хв;
- для твердосплавних мітчиків – до 25 м/хв.

За один прохід формується повний профіль, тому мітчики не потребують кількох проходів.

Різьба, отримана мітчиком, характеризується високою точністю 6Н, 7Н та чистотою поверхні, шорсткість $R_a = 1,6 \dots 3,2$ мкм. Якість різьби залежить від правильного вибору попереднього діаметра отвору, заточування мітчика, застосування охолодження та режимів обробки.

Фрезерування різьби – це сучасний і високопродуктивний метод утворення різьбової поверхні шляхом зняття шару матеріалу спеціальним різьбофрезерним інструментом. На відміну від традиційного нарізання різьби мітчиками або плашками, фрезерування дає змогу обробляти різьбу практично будь-якого профілю, діаметра і кроку, забезпечує високу точність, якість поверхні та стабільність розмірів навіть у складних матеріалах.

Основним інструментом є різьбофреза – фреза спеціальної конструкції, яка має профіль, відповідний формі різьби (метричної, дюймової, трубної тощо). Існує кілька типів різьбофрез (рис. 1.14): однозахідні, трьохзахідні, багатозахідні, суцільні, збірні.

Однозахідні різьбофрези універсальні, мають одну ріжучу кромку і застосовуються для нарізання різьб великої точності або в отворів малого діаметра, підходять для багатьох різних розмірів.

Багатозахідні різьбофрези оснащені кількома ріжучими зубцями, що підвищує продуктивність, але потребує високої точності налаштування верстата. Забезпечують вищу швидкість, але кожен інструмент може нарізати різьбу лише певного кроку.

Суцільні різьбофрези виготовляються з твердого сплаву, мають високу жорсткість і застосовуються для масового виробництва.

Корпус збірних різьбофрез виготовлений зі сталі, а різальні елементи – з твердосплавних пластин, що дозволяє зменшити витрати на інструмент.

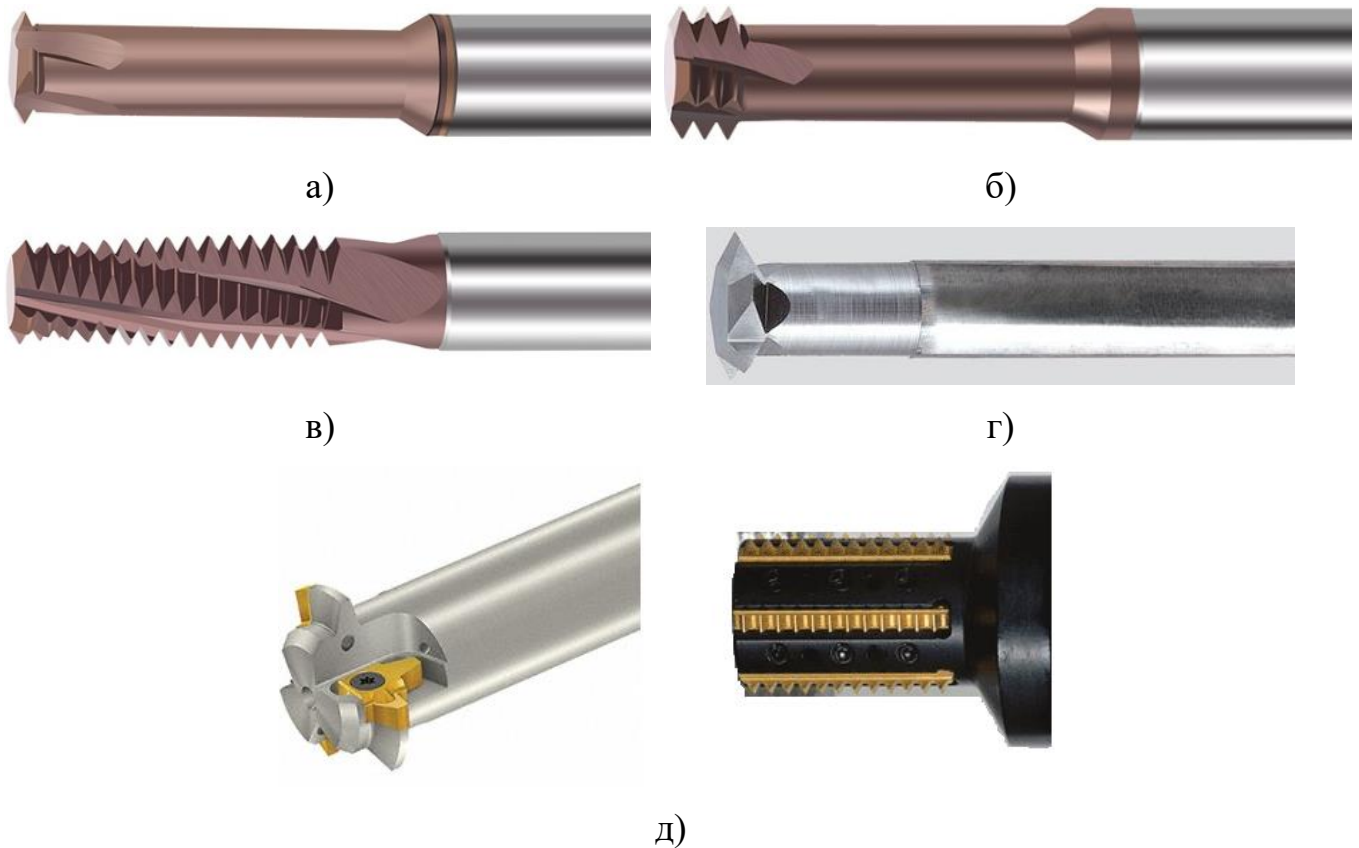


Рис. 1.14 Різьбофрези:

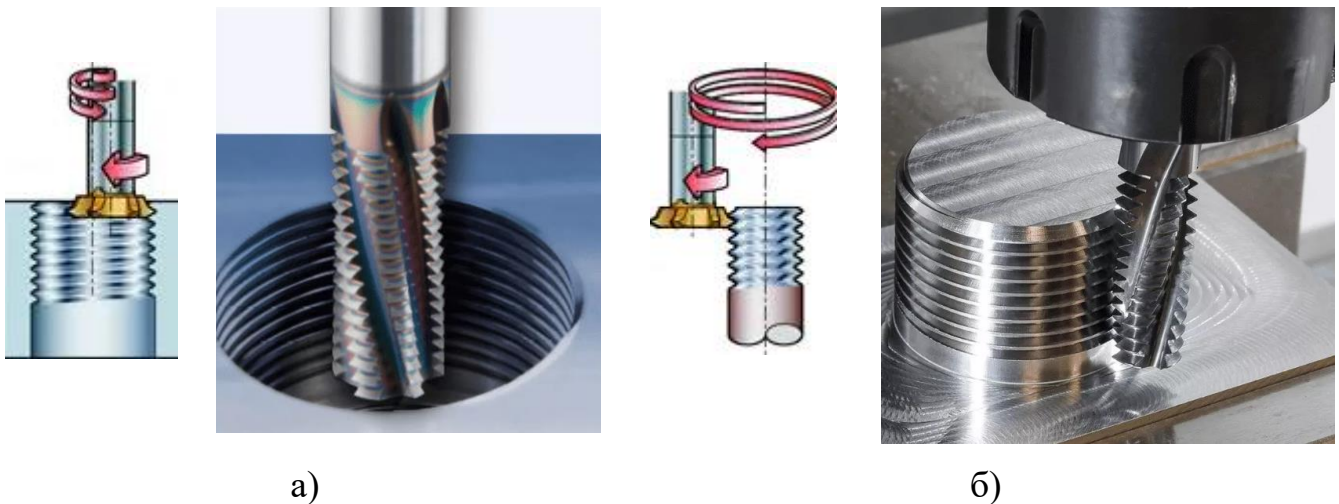
а – однозахідна; б – трьохзахідна; в – багатозахідна; г – суцільна; д - збірні

Різьбофреза має циліндричну або конічну форму з прямими або гвинтовими канавками для відведення стружки. На робочій частині розташовані ріжучі зубці, профіль яких відповідає формі різьби. Довжина робочої частини визначає, скільки витків різьби може бути оброблено за один прохід. Інструмент з прямими канавками частіше використовуються для нарізання різьби в легкооброблюваних матеріалах, таких як алюміній та ABS тощо. Різьбофрези з гвинтовими канавками мають кут нахилу спіралі в межах 15-30°. Така геометрія сприяє кращому видаленню стружки та швидкості, ніж прямі канавки, а також забезпечує кращу якість обробки.

Різьбофрези з твердого сплаву забезпечують високу твердість і довговічність при різанні жароміцних або нержавіючих сталей. Інструмент із швидкорізальної сталі використовується для менш твердих матеріалів, таких як алюміній, мідь, латунь. Різьбофрези із керамічних сплавів – для обробки загартованих сталей і високоміцних сплавів. Для високоточної обробки часто застосовують фрези з покриттями – TiAlN, AlCrN, TiCN, які підвищують зносостійкість, зменшують тертя і покращують відведення тепла.

Фрезерування різьби виконується на верстатах з числовим програмним управлінням переважно на вертикальних або горизонтальних обробних центрах. Верстат повинен мати: можливість гвинтової інтерполяції по осях X, Y і Z; точність позиціонування не менше $\pm 0,01$ мм; високу жорсткість і мінімальні вібрації шпинделя; достатню потужність шпинделя для підтримки стабільних обертів при високих подачах.

Процес фрезерування різьби базується на гвинтовому русі фрези, тобто гвинтовій інтерполяції відносно деталі. Рух інструменту включає (рис. 1.15): обертання навколо власної осі (різання); коловий рух по траєкторії різьби (інтерполяція по осях X та Y); поступальний рух уздовж осі Z на крок різьби за один оберт (рис. 1.16).



а)

б)

Рис. 1.15 Різьбофрезерування:

а – внутрішньої різьби; б – зовнішньої різьби

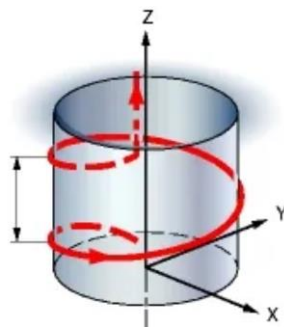


Рис. 1.16 Траєкторія гвинтової інтерполяції на крок різьби

Ці рухи координуються системою ЧПУ – тобто фреза одночасно описує спіральну траєкторію, створюючи профіль різьби. Такий принцип дозволяє обробляти різьби як внутрішні, так і зовнішні. На відміну від точіння різьби або нарізання її мітчиками, різьбофрезерування дозволяє оброблювати різьбу в деталях складної форми завдяки відсутності необхідності обертання деталі під час обробки.

Діаметр фрези підбирається з урахуванням діаметра різьби, матеріалу деталі та глибини обробки. При фрезеруванні різьби в отворі діаметр фрези має бути на 10–20% менший від діаметра отвору. Така умова забезпечить ефективне видалення стружки за допомогою ЗОР або стисненого повітря, та формування правильної траєкторії руху фрези. Занадто малий діаметр призведе до зниження жорсткості інструмента та можливого прогину, тоді як надто великий – до ризику зачеплення з деталлю та перевантаження шпинделя. Також важливо враховувати кількість витків, які фреза може обробити за один прохід: для великої глибини краще виконати кілька проходів із поступовим заглибленням.

Фрезерування різьби дозволяє виконувати обробку за декілька проходів (рис. 1.17). Це може бути корисно для покращення допуску різьби, при обробці загартованих сталей та для зменшення прогину інструменту при його великому вильоті.

У міру зношування інструменту коригування зміщення траєкторії дозволить продовжувати нарізати якісну різьбу.

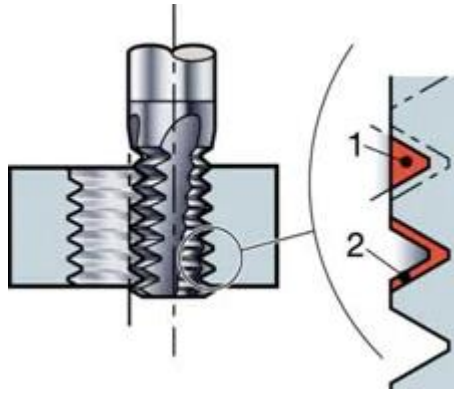


Рис. 1.17 Фрезерування різьби за два проходи:

1 – припуск на чорнову обробку; 2 – припуск на чистову обробку

Різьбофрезерування є ефективнішим у порівнянні із нарізанням різьби мітчиками. По-перше, фрезерування різьби забезпечує кращу точність розміру та кроку різьби завдяки тому, що верстат з ЧПУ може ідеально контролювати шлях різання. Ця точність гарантує, що різблення є однорідною та в межах вузьких допусків. По-друге, фрезерування різьби є дуже гнучким процесом, оскільки його можна використовувати для виготовлення як внутрішньої, так і зовнішньої різьби різного розміру за допомогою одного інструменту, на відміну від нарізання різьби мітчиками. Різьбофрезерування підходить для важкооброблюваних матеріалів завдяки тому, що сили різання розподіляються на більшій площі поверхні. Крім того, інші методи не пропонують такої гнучкості шляхом регулювання посадки, форми або глибини різьби, що робить різьбофрезерування високоточним та адаптивним методом.

Шліфування різьби – це процес обробки різьбових поверхонь за допомогою шліфувального інструменту. Такий метод застосовується в якості фінішного для досягнення високої точності та чистоти поверхні різьб, особливо коли потрібно досягти високих вимог щодо шорсткості, точності геометрії та механічних властивостей виробів. Шліфування різьб використовується в машинобудуванні, а також у виробництві інструментів, кріпильних виробів і точних механізмів.

Інструментом для шліфування різьби є спеціалізовані шліфувальні круги або шліфувальні головки, що відповідають формі та розмірам різьби. Вони мають

діаметр, що відповідає профілю різьби, і виготовлені з твердих абразивних матеріалів такі, як алмаз або корунд, що забезпечує високу твердість і зносостійкість.

Існують різновиди шліфування різьби: з осьовою подачею, врізне, безцентрове.

Під час шліфування різьби способом осьової подачі заготовка та шліфувальний круг одночасно обертаються, а сам круг повільно переміщується вздовж осі деталі, поступово знімаючи шар матеріалу. Такий принцип роботи нагадує нарізання різьби різцем на токарному верстаті.

При врізному шліфуванні використовується широкий шліфувальний круг із кількома профільними ребрами, який за один прохід формує всю різьбу або більшу її частину. Метод відзначається високою продуктивністю, проте точність обробки може бути нижчою, ніж при осьовій подачі.

Безцентрове шліфування застосовується для різьбових деталей, які неможливо встановити або обробити в центрах.

Основними параметрами обробки є: швидкість 20-100 м/с, подача 0,01-0,05 мм/об.

Шліфування різьби забезпечує точність розмірів в межах 0,01-0,02 мм, та шорсткість поверхні $R_a = 0,2-0,4$ мкм.

Шліфувальна обробка різьб може здійснюватись на таких верстатах:

- шліфувальних верстатах для різьби типу 3E71, 3E72. Це спеціалізовані верстати для нарізання різьбових канавок на заготовках. Вони можуть працювати як з внутрішніми, так і з зовнішніми різьбами;

- циліндрично-шліфувальних верстатах, що застосовуються для обробки різьб на валах і циліндричних деталях;

- верстатах з ЧПУ. Використовуються для виготовлення складних різьбових профілів з високою точністю. Ці верстати дозволяють автоматизувати процес і досягати високої повторюваності обробки.

Процес шліфування різьби є ефективним для виготовлення деталей, що мають високу точність, чистоту поверхні і здатність до роботи в умовах високих навантажень та зносу. Він широко використовується для обробки дрібних гвинтів, болтів, гайок та інших кріпильних елементів, де критичними є точність розмірів і шорсткість поверхні.

Серед вищезазначених методів обробки різьби, найбільше переваг має саме фрезерування різьби. Даний метод забезпечує гнучкість процесу, можливості обробки різних діаметрів одним інструментом, високі показники якості та точність обробленої різьби, обробка внутрішніх та зовнішніх різьб виконується одним інструментом.

1.3. Контроль різьби

Контроль різьби є важливою частиною технологічного процесу виготовлення різьбових з'єднань, адже точність параметрів різьби безпосередньо впливає на міцність, герметичність та довговічність з'єднань. Перевірці підлягають основні параметри: профіль різьби, крок, діаметри (зовнішній, середній і внутрішній) та шорсткість поверхні.

Контроль профілю виконується з метою перевірки відповідності реального профілю стандартному (трикутному, трапецеїдальному, прямокутному тощо) та визначає геометрію витків, кут профілю, симетрію та правильність вершин і западин. Контроль профілю може здійснюватися: на координатно-вимірювальній машині, різьбовими шаблонами, оптичним методом.

Контроль на координатно-вимірювальних машинах (КВМ) використовується в прецизійних вимірюваннях. КВМ дозволяє отримати тривимірну модель профілю і точно визначити всі параметри різьби, включно з відхиленнями кута профілю, форми та симетрії.

Для швидкої перевірки застосовують різьбові шаблони (рис. 1.18) (гребінки). Вони мають зубці, що відповідають стандартним кутам і крокам різьби. Якщо шаблон щільно прилягає до профілю без зазорів, різьба відповідає нормі.

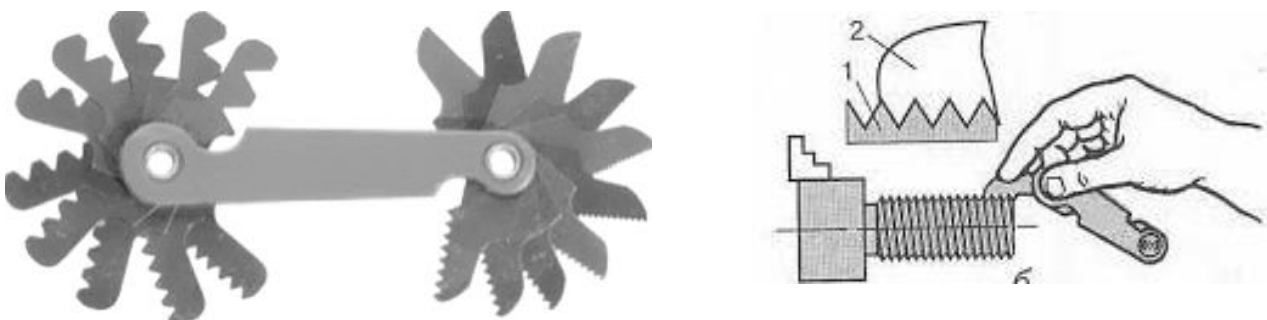


Рис. 1.18 Різьбовий шаблон

Оптичний метод здійснюється за допомогою профілопроектора або оптичного мікроскопа. Зразок різьби освітлюють і спостерігають збільшене зображення профілю, яке порівнюють із еталонним шаблоном або вимірюють за допомогою шкали. Такий метод дає можливість точно визначити кут профілю, форму вершин і западин.

Контроль кроку різьби виконується: індикаторним методом, методом нитки, комплектом різьбових калібрів.

При індикаторному методі за допомогою різьбового мікрометра або індикаторного приладу вимірюють переміщення при повороті гвинта на певний кут і порівнюють з номінальним значенням кроку.

Метод нитки застосовується для дрібних і точних різьб. Нитку проводять уздовж витків і за допомогою мікроскопа вимірюють відстань між вершинами.

При застосуванні комплексних різьбових калібрів часто застосовують гладкі та різьбові калібри-пробки або скоби, які одночасно перевіряють крок, профіль і середній діаметр. Якщо калібр «проходить» або «не проходить» за встановленими правилами, деталь вважається придатною або бракується.

Перевірка діаметру різьби передбачає контроль зовнішнього, внутрішнього та середнього діаметрів.

Контроль зовнішнього діаметра проводять звичайними мікрометрами (рис. 1.19, а) або калібр-скобами (рис. 1.19, б).



а)



б)

Рис. 1.19 Вимірювальні інструменти:

а – мікрометр; б – калібр-скоба

Внутрішній діаметр перевіряють внутрішніми мікрометрами, індикаторними нутромірами або калібр-пробками.



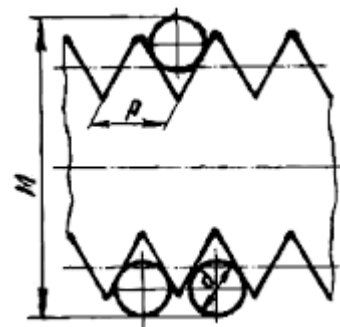
Рис. 1.20 Калібр-пробка різбова

Середній діаметр – найважливіший параметр, оскільки він визначає посадку різби. Його контролюють:

- методом трьох дротиків (трьох ниток) – дротики певного діаметра встановлюють у западини різби, і за допомогою мікрометра вимірюють відстань між протилежними вершинами дротиків. За формулою обчислюють середній діаметр;
- різбовим мікрометром;
- калібрами «прохід/непрохід» перевіряють, чи відповідає деталь полю допуску. Калібр «прохід» повинен легко накручуватись, а «непрохід» – не заходити на різбу;
- на координатно-вимірювальних машинах – забезпечується висока точність визначення всіх діаметрів одночасно.



а)



б)

Рис. 1.21 Вимірювання середнього діаметру різби:

а – різбовим мікрометром; б – методом трьох дротиків

Шорсткість поверхні різби суттєво впливає на зносостійкість, тертя та герметичність з'єднання. Для контролю шорсткості використовують:

- профілометри та профілографи – прилади, що мають алмазний щуп, який переміщується по поверхні різьби й реєструє мікронерівності. На екрані або в цифровому вигляді відображаються параметри Ra, Rz тощо;

- порівняльні зразки шорсткості – для швидкої оцінки поверхні різьби за зоровим або тактильним методом;

- оптичні методи – з використанням інтерферометрів чи мікроскопів, що дозволяють оцінити якість поверхні безконтактно.

Комплексний контроль різьби забезпечує точність і надійність різьбових з'єднань. У виробничій практиці поєднують вимірювальні методи (для визначення точних параметрів) і граничні калібри (для швидкої перевірки). Висока культура контролю різьби гарантує відповідність деталей стандартам ISO та DIN і забезпечує довговічність механічних систем.

1.4. Негативне явище відгинання різьбової фрези

Різьбова фреза це осьовий інструмент, що має різальні леза, розділені прямими або спіральними стружковими канавками. Різьальні леза мають у своїй будові так звані «нитки», які містять різальні кромки та поверхні (рис. 1.22).

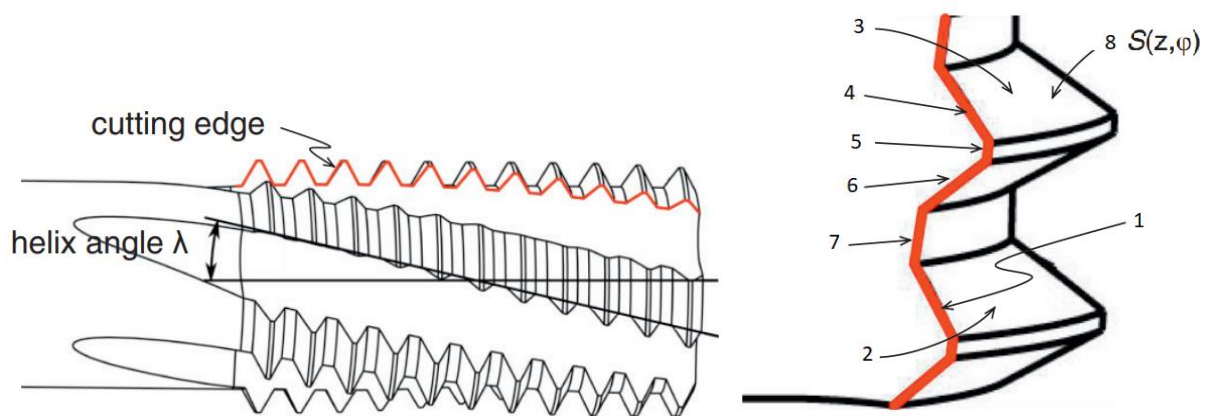


Рис. 1.22 Різьбова фреза:

1 – різальна кромка; 2 – нитка фрези 1; 3 – нитка фрези 2; 4 – верхня різальна кромка; 5 – середня різальна кромка; 6 – нижня різальна кромка; 7 – внутрішня різальна кромка; 8 – різальна поверхня; λ – кут нахилу гвинтової спіраль стружкової канавки

Під час різьбофрезерування гвинтовою інтерполяцією виникають та діють такі сили (рис. 1.23):

- тангенціальна сила F_t (основна, різальна) – напрямлена по дотичній до траєкторії руху ріжучої кромки, безпосередньо пов'язана з силою різання;
- радіальна сила F_r (поперечна) – напрямлена до центра обертання інструмента;
- осьова сила F_a (у напрямку осі Z) – порівняно менша, але впливає на стабільність руху по спіралі.

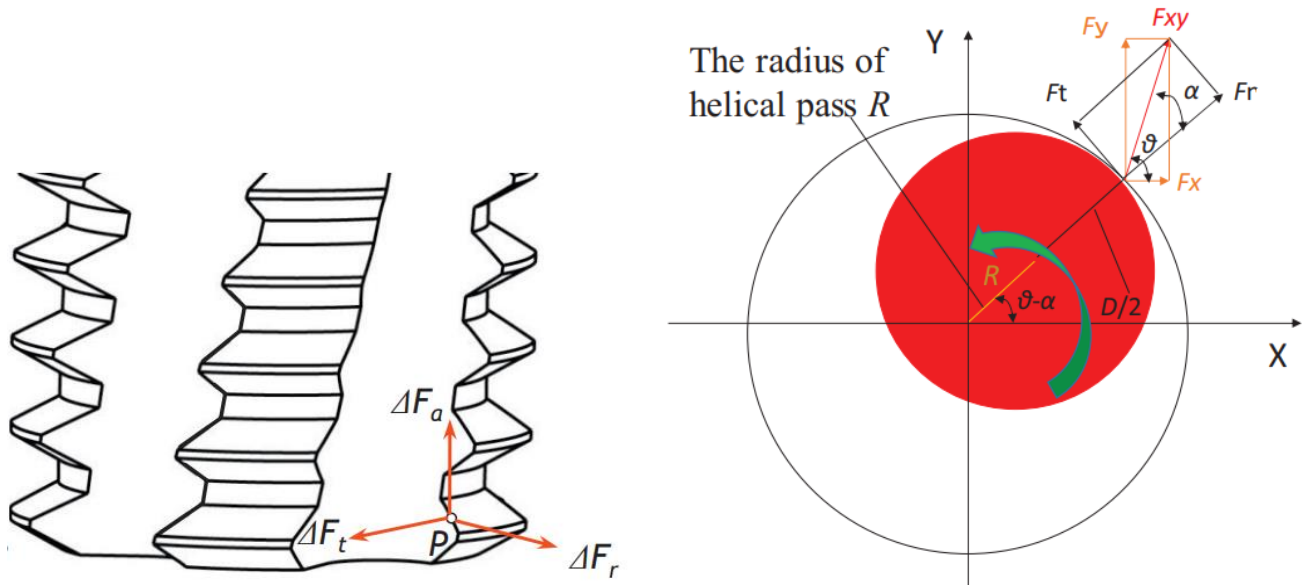


Рис. 1.23 Схема сил різання при фрезеруванні різьби

Нормальна сила F_{xy} визначається за формулою:

$$F_{xy} = (F_x^2 + F_y^2)^{0,5} \quad (1.3)$$

де F_x, F_y – складові сили різання по осях X та Y відповідно.

Тангенціальна сила F_t визначається за формулою:

$$F_t = \frac{T}{R_t} \quad (1.4)$$

де T – крутний момент;

R_t – відстань від осі інструменту до точки різання.

Радіальна сила F_r визначається за формулою:

$$F_r = (F_{xy}^2 - F_t^2)^{0,5} \quad (1.5)$$

Радіальна сила F_r викликає відгинання (рис. 1.24) фрези та впливає на розмір різьби. При збільшенні твердості оброблюваного матеріалу, радіальна сила зростає. Відгинання різьбової фрези характеризується явищем коли вісь інструмента відхиляється від осі різьбового отвору.

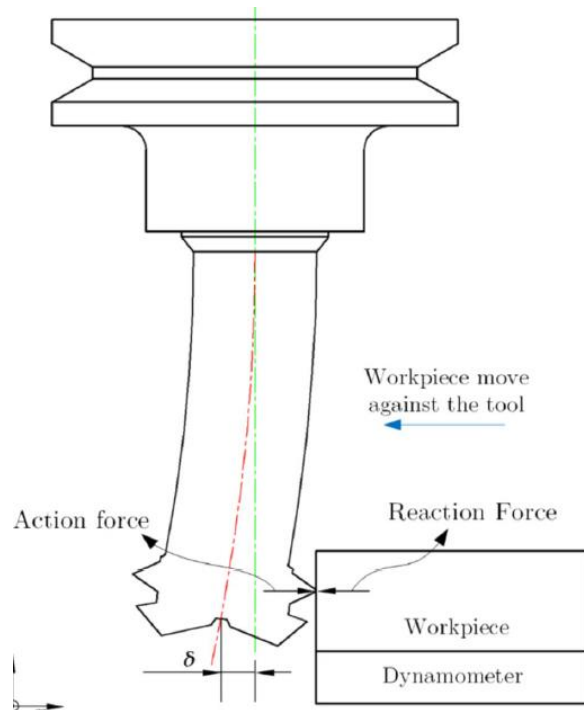


Рис. 1.24 Схема відгинання різьбової фрези під дією радіальної сили

В роботі [6] досліджено вплив сил різання на положення інструменту під час фрезерування різьби. В якості оброблюваного матеріалу використано хром-кобальтовий сплав Romur 400, твердосплавна різьбова фреза має діаметр 1,53 мм. Діаметр отвору, в якому фрезерується різьба рівний 1,61 мм, глибина – 4 мм. Режими різання: постійна швидкість різання $V_c=20$ м/хв, частота $N = 4110$ об/хв, подача 0,025-0,035 мм/зуб. Глибина обробки варіювалась: 0,4, 0,8 та 1,2 мм.

Визначено, що частина відстані, яку проходить фреза при обробці різьби задана кутом θ_1 , в межах якого інструмент виконує 20 обертів, тобто 60 різів зубцями, маючи у своїй будові 3 зуба. Протягом цієї траєкторії, кожна з сил, що виникає в процесі різання має 3 стадії. Як нормальна сила F_{res} , так і радіальна F_{rad} мають такі стадії (1.25):

- від 0 до А – сили, що виникають при врізанні інструменту;
- від А до В – сили, що виникають при різанні без врізання;
- від В до 60 – сили, що виникають при виході кромки із зони різання.

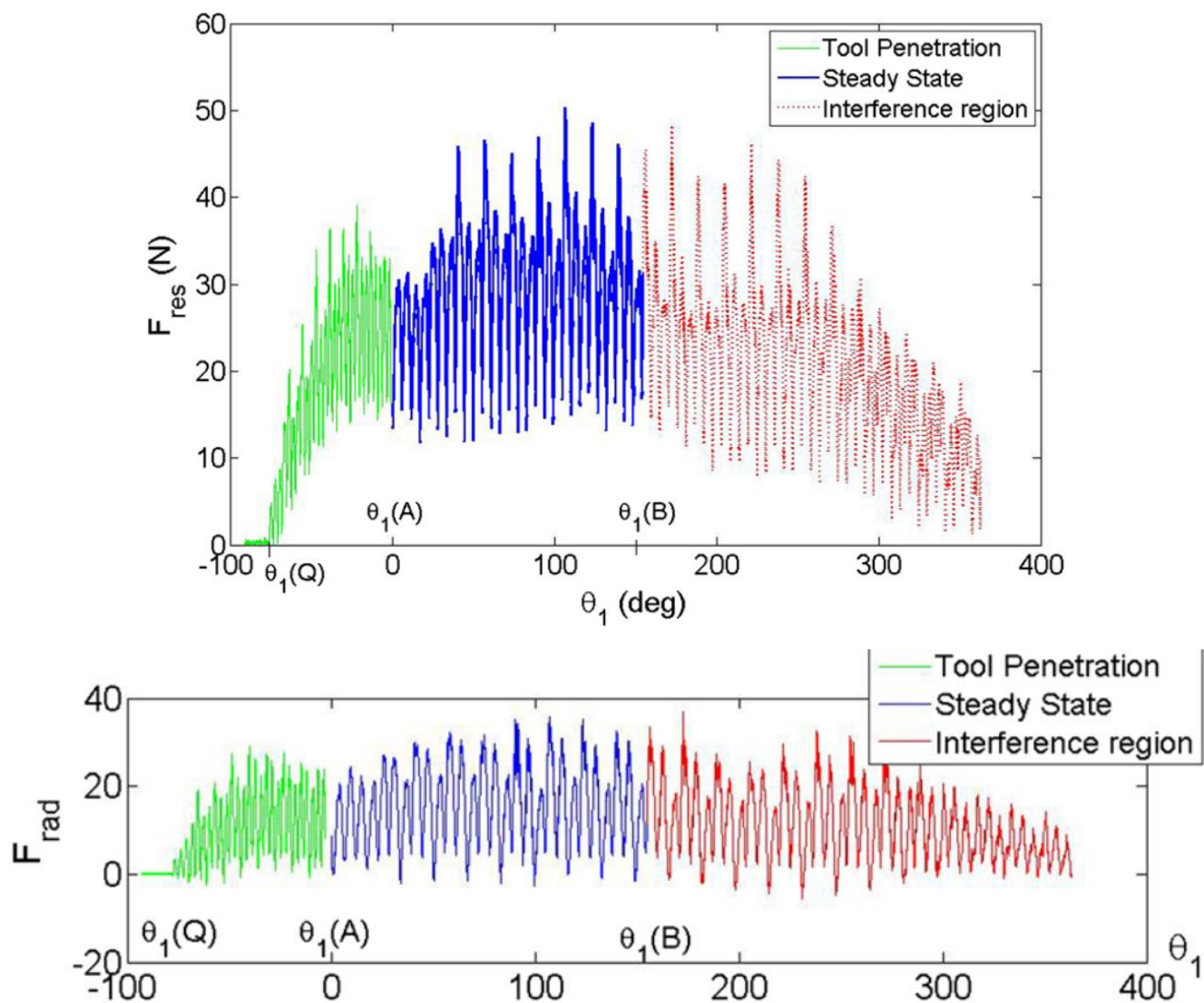


Рис. 1.25 Сили різання при фрезеруванні різьби:

а – результуюча; б – радіальна

На рис. 1.26 зображено графік результуючої сили при варіюванні параметрами глибини різання та величиною подачі. Визначено, що зі збільшенням подачі та глибини різання, результуюча сила зростає.

Максимальне відхилення (відгинання) інструмента розраховано за кожен оберт інструмента. Середнє значення максимального відхилення для всіх експериментів представлено на рисунку 1.27. Глибина обробки суттєво впливає на відхилення інструменту, та його значення майже у 2,5 рази більше при глибині, що рівна 1,2 мм ніж при глибині обробки рівній 0,4 мм. Глибина обробки 0,4 мм та подача 0,25 мм/зуб забезпечують відхилення різьбової фрези в межах 0,016-0,025 мм, та в межах 0,02-0,027 мм при подачі 0,35 мм/зуб, в той час, як при тих самих значеннях подачі

відхилення складає 0,042-0,055 мм та 0,046-0,059 мм відповідно при глибині обробки 1,2 мм..

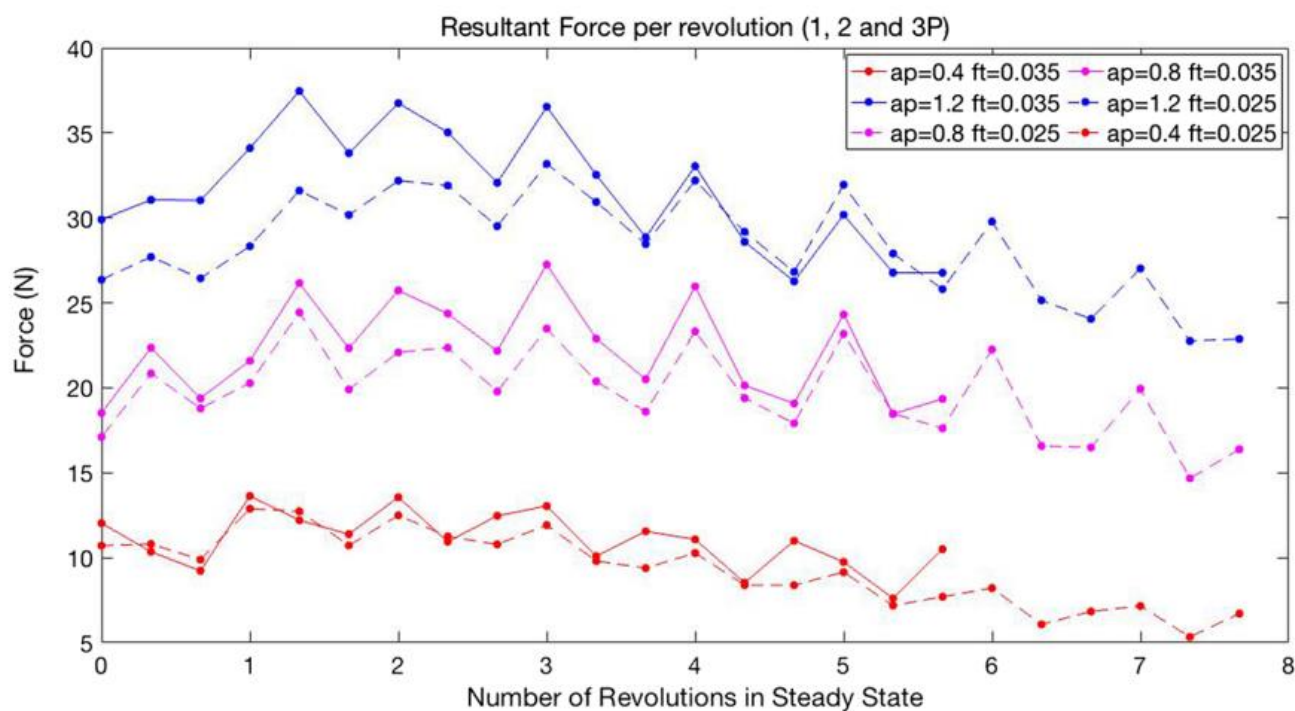


Рис. 1.26 Графік залежності результуючої сили від подачі та глибини різання

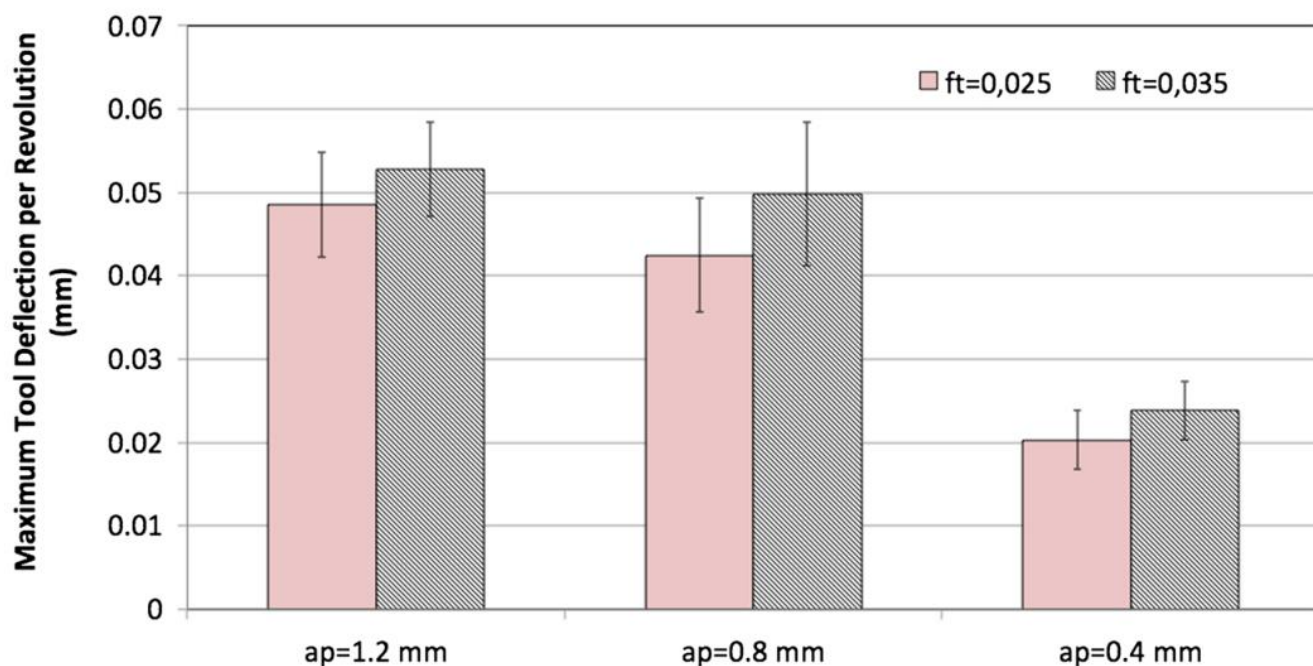


Рис. 1.27 Графік відхилення різбової фрези під дією сил різання

Сили, що діють, впливають на процес різання, а особливо радіальна сила, оскільки вона зменшує зачеплення фрези із нарізаємою різбою (рис. 1.28). Як

наслідок, відбувається неповне видалення матеріалу, що призводить до утворення конусності різьби.

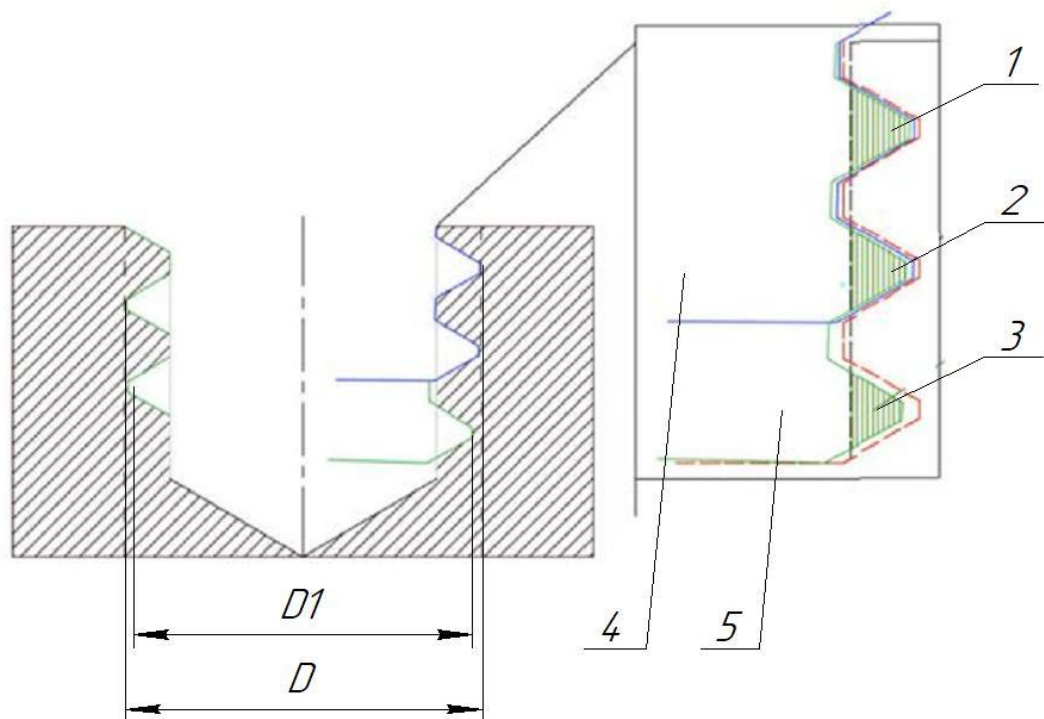


Рис. 1.28. Утворення конусності різьби:

D – початковий діаметр різьби; $D1$ – діаметр різьби із конусністю; 1, 2, 3 – шар матеріалу, видаляємий фрезеруванні першого, другого та третього витків різьби відповідно; 4 – положення різьбової фрези в точці i ; 5 – положення різьбової фрези в точці $i+1$

Відгинання інструменту призводить до зміни форми та розмірів різьби. Кут різьби залишається постійним, що обумовлено геометрією різальної частини інструменту, а висота профілю різьби h_{wr} зменшується зі збільшенням глибини обробки по осі Z .

Також, на відгинання фрези впливає її недостатня жорсткість через великий виліт або недостатня жорсткість оброблюваної деталі.

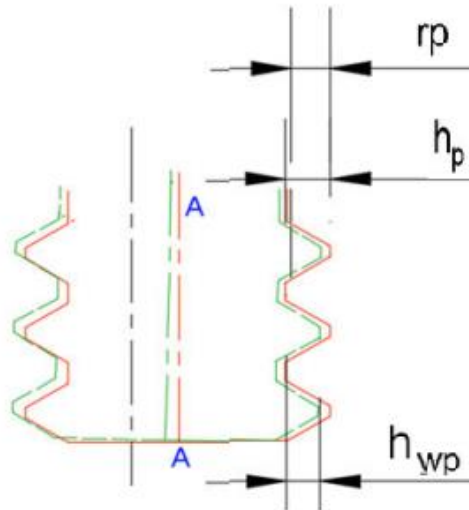


Рис. 1.29 Схема параметрів різьби при відгинанні фрези:

r_p - радіальне врізання під час обробки; h_p - висота профілю інструменту, розташованого в i -й різьбі; h_{wp} - висота профілю різьби, розташованої в i -й різьбі

Відгинання фрези призводить до зменшення діаметру фрезеруємої різьби та утворення конусності різьби, що не забезпечує необхідну точність обробки. В циліндричній різьбі при наявності конусу калібр-пробка не пройде, що робить різьбу непридатною. Крім того, кожен різальний зуб різьбової фрези зношуватиметься нерівномірно, що призведе до скорочення терміну служби інструменту.

1.5. Постановка задач дослідження

В роботі необхідно виконати аналіз способів підвищення жорсткості різьбових фрез для запобігання або зменшення їх відгинання під час обробки. Виконати пошук конструкторських рішень щодо удосконалення геометрії різьбофрезерного інструменту з метою підвищення його жорсткості.

Проаналізувати креслення деталі кришка передня. Виконати розробку технології обробки кришки передньої.

Визначити способи фрезерування різьби, а також конструкції різьбофрезерного інструменту, що підвищать його жорсткість та будуть здатні зменшити або усунути конусність різьби виникаючої внаслідок відгинання інструменту. Запропонувати спосіб або конструкцію інструменту на основі виконаного пошуку.

РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ ТА МЕТОДИ УСУНЕННЯ ВІДГИНАННЯ РІЗЬБОВИХ ФРЕЗ

2.1. Конструкції різьбових фрез, що усувають або зменшують відгинання

Засновуючись на аналізі відомих досліджень можна зазначити, що існують різні рішення для підвищення жорсткості інструменту при фрезеруванні різьби. Відомі рішення, що пов'язані із новими способами виконання різьбофрезерування, а також рішення, щодо конструктивних особливостей різьбових фрез.

Відомий спосіб «м'якого зіткнення» [1], який полягає у зміні діаметра траєкторії руху різьбової фрези для компенсації відхилення інструменту пов'язаного із його відгинанням у зв'язку із дією сил різання. Розмір, на який корегується діаметр траєкторії, визначається для конкретного матеріалу заготовки та інструменту, обраного для фрезерування різьби. Згідно зі способом «м'якого зіткнення» необхідно визначити жорсткості інструменту на згин експериментальним шляхом.

Відповідно до способу «м'якого зіткнення», коли інструмент торкається заготовки, встановленої на динамометрі, сила дії, що прикладається інструментом до заготовки, матиме таке ж протилежне значення, як і сила реакції. Контрольовані значення відхилення за допомогою осі верстата створюватимуть певну силу дії, що вказується динамометром, і якщо під час експерименту записано достатньо даних про це контрольоване відхилення та силу дії, можна використовувати модель лінійної регресії, нахил якої вважається середнім значенням жорсткості інструменту на згин. Експеримент відповідно до способу «м'якого зіткнення» виконується наступним чином (рис. 2.1) [1]: спочатку різьбова фреза розміщують поблизу заготовки у вихідній позиції, прикріпленої до динамометра (t_1). Потім інструмент вручну повільно переміщують до торкання заготовки (t_2), що супроводжується наявністю сили, яка відображається на динамометрі. Дане положення реєструється та діє як позиція зіткнення (t_c). Потім інструмент повертають у вихідну позицію (t_3). Далі, з постійною швидкістю, інструмент переміщують у позицію зіткнення t_c і при бажаному відхиленні δ_r інструмент торкнеться заготовки (t_4) і продовжить рух (t_5). Потім інструмент залишається в цьому положенні (t_6), щоб забезпечити достатній час

для стабілізації сили F . Потім реєструються бажане відхилення δ та відповідна йому сила F . Далі, з постійною швидкістю інструмент повертається у вихідне положення (t_8).

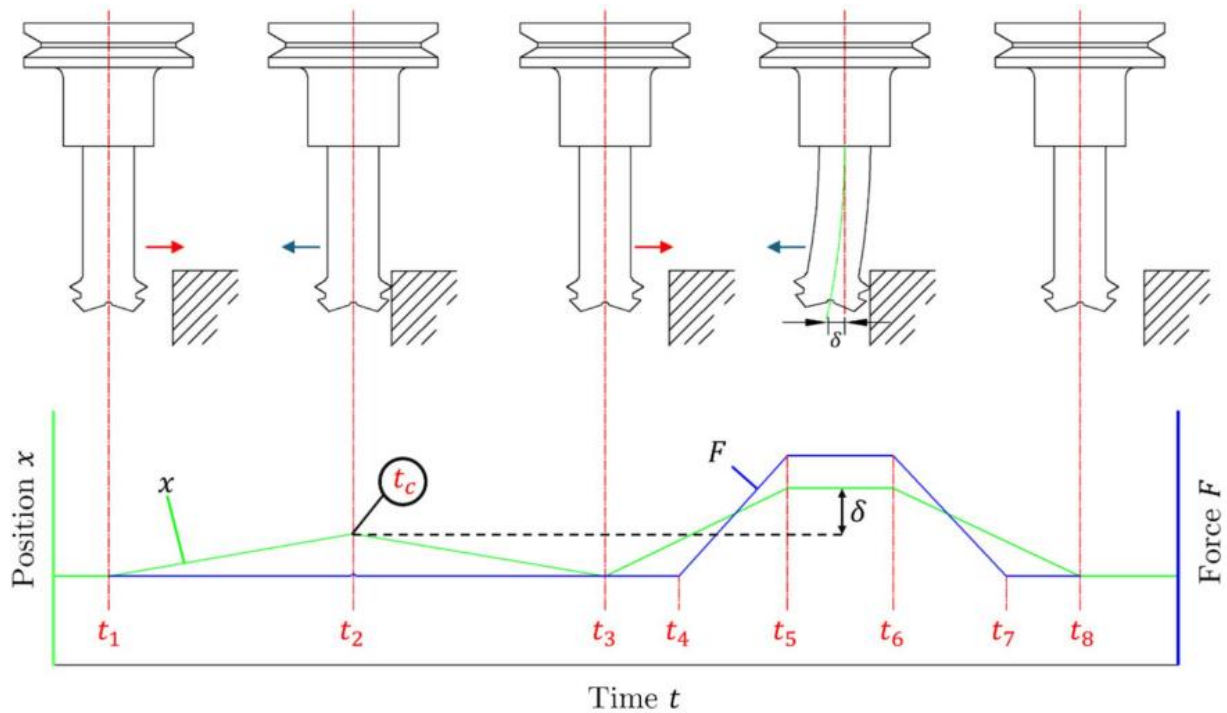


Рис. 2.1 Процедура виконання способу «м'якого зіткнення»

З метою уникнення залежності кута інструменту під час контакту із заготовкою, різбову фрезу необхідно повертати на 45° (рис. 2.2) та виконувати 5 замірів під кожним кутом.

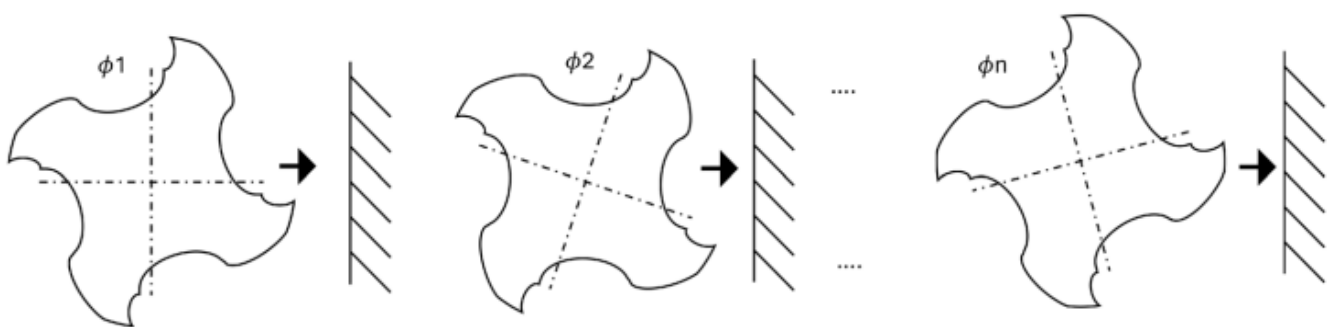


Рис. 2.2 Зміна кута повороту фрези при способі «м'якого зіткнення»

Розрахунок відхилення різьбової фрези:

$$\delta_r = \frac{F_{lat}}{k}, \quad (2.1)$$

де F_{lat} – розрахункова бічна сила:

$$F_{lat} = \sqrt{(X_x(f_H))^2 + (X_Y(f_H))^2}, \quad (2.2)$$

де f_H – частота спіралі по осях X та Y, Гц:

$$f_H = \frac{1}{T_h} \quad (2.3)$$

де T_h - період спіралі, с:

$$T_h = \frac{\sqrt{(\pi \cdot 2e)^2 + a_p^2} \cdot 60}{f_{he}} \quad (2.4)$$

де e – радіус спіралі, мм;

a_p – крок спіралі, мм;

f_{he} – швидкість подачі по спіралі, мм/хв.;

$$f_{he} = \frac{\Omega \cdot z \cdot f_z \cdot (D_M - D_t)}{D_M} \quad (2.5)$$

де Ω – частота обертання шпинделя;

z – кількість зубців фрези;

f_z – подача на зуб;

D_M – зовнішній діаметр різьби, мм;

D_t – діаметр фрези, мм;

k – жорсткість інструменту на згин, отримана за допомогою способу «м'якого зіткнення», Н/мм.

Радіус скорегованої траєкторії спіралі гвинтової інтерполяції:

$$e' = \frac{D_M - (D_t - \delta_r)}{2} \quad (2.6)$$

Відома конструкція різьбової фрези [2], що має зворотний конус ріжучої частини (рис. 2.3). Зворотний конус ріжучої частини має такі особливості: діаметр інструменту більший біля ріжучого торця 24, та зменшується на величину конусності 32 і досягає свого мінімального значення на діаметрі нитки 34 зуба різьбової фрези. Зворотний конус призначений для компенсації відхилення інструменту під час фрезерування.

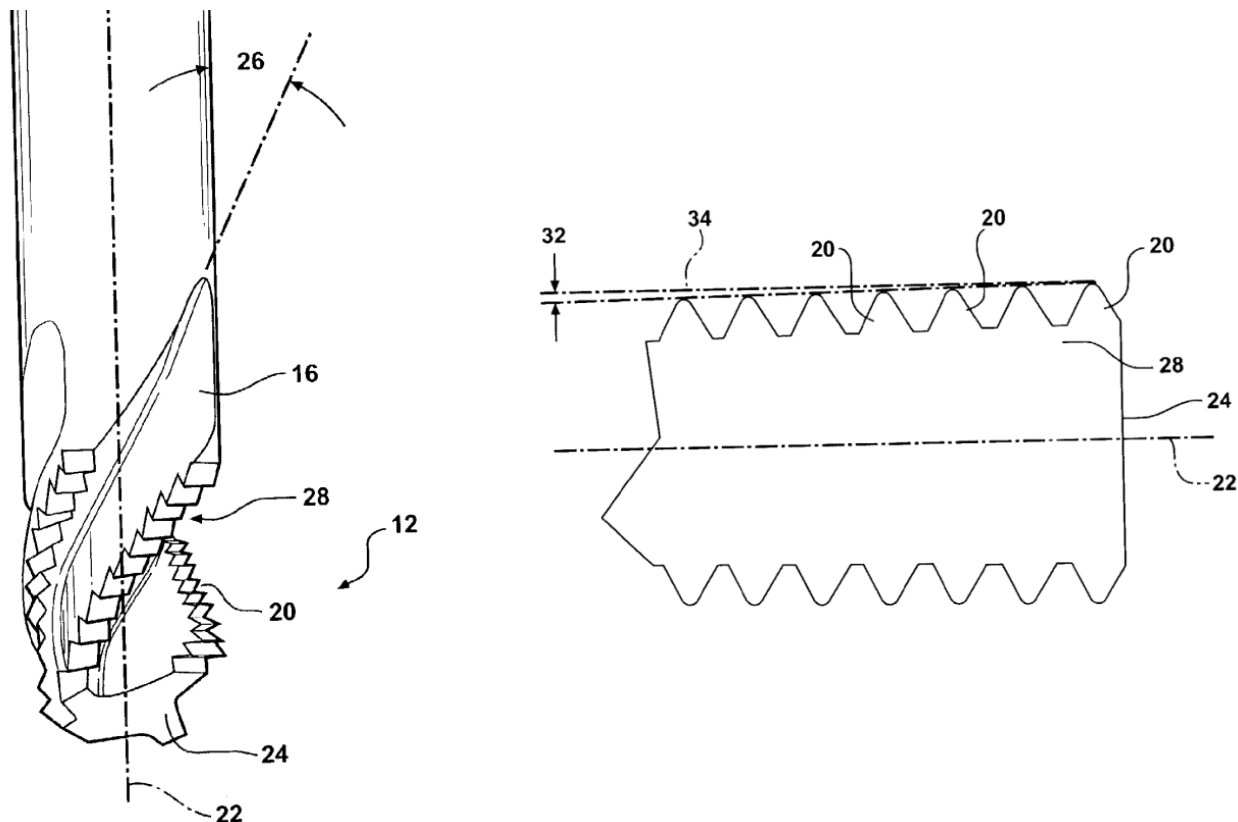


Рис. 2.3 Конструкція різьбової фрези

Під час фрезерування різьби існують бічні сили, які викликають прогин інструмента та можуть бути виражені силами, що діють на консольну балку. Припускаючи, що навантаження рівномірне по всій ширині балки, максимальний прогин H консольної балки можна виразити рівнянням:

$$H = \frac{W \cdot L^3}{8 \cdot E \cdot I} \quad (2.7)$$

де W – загальна сила на балці,

L – довжина звису балки з опорного перерізу,

E – модуль пружності Юнга;

I – момент інерції для поперечного перерізу.

Зі зношуванням різальних зубців різьбофрезерного інструменту бічні сили стають більшими, а позитивний кут конусності або величина конусності в різальних зубах стає більшою. Таким чином, звичайний різьбофрезерний інструмент демонструє високий ступінь зносу на різучому торці інструмента порівняно із різучою частиною поблизу хвостовика. Завдяки забезпеченню різальних зубців 16

негативним кутом конусності або зворотною конусністю, прогин, спричинений силами різання, може бути компенсований. Зворотний конус 32 рівний 0,002 дюйма.

Різьбова фреза, що має негативний кут конусності або зворотний конус, забезпечує кращу продуктивність обробки у вигляді подовженого терміну служби інструменту та покращеної якості різьби.

Відома конструкція різьбової фрези [3], ріжуча частина якої у своїй будові має зворотну конусність (рис. 2.4). Ріжуча частина 2 розділена на N секцій, $2 \leq N \leq 4$. Значення зворотного конуса M зовнішнього діаметра поступово збільшується від ріжучого торця 4 до хвостовика 3. Від ріжучої поверхні до хвостовика значення конусності кожного сегмента зворотного конуса 5 зовнішнього діаметра задовольняє умови:

$$Mn \leq Mn + 1, 1 \leq n \leq N - 1 \text{ та } M1 > 0.$$

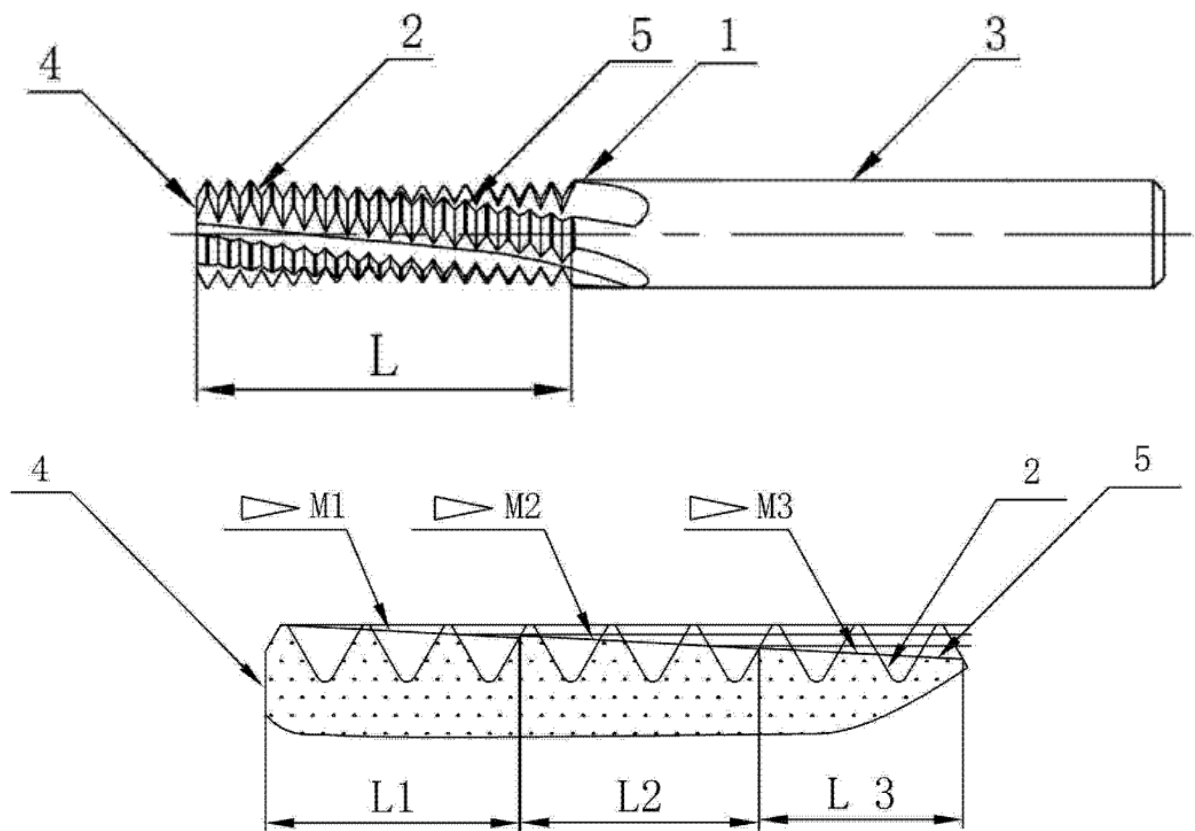


Рис. 2.4 Різьбова фреза зі зворотнім конусом

Значення конусності кожного сегмента зворотного конуса зовнішнього діаметра ріжучої частини становить в межах від 0,02/100 до 1,2/100.

Ріжуча частина 2 розділена на 3 секції; L1, L2 та L3 кожна з яких має конусність M1, M2 та M3 відповідно. Довжина ріжучої частини 2 складає 11,25 мм, а довжина секцій: L1=L2=4 мм, L3=3,25 мм. Зворотний конус M1 зовнішнього діаметра L1 становить $0,2 \sim 0,3/100$, зворотний конус M2 секції L2 становить $0,4 \sim 0,5/100$, а зворотний конус M3 секції L3 становить $0,6 \sim 0,7/100$.

Коли інструмент наближається до заготовки, спочатку зубці секції L1 торкаються заготовки, а потім по черзі торкаються зубці секцій L2 та L3. Кількість зубців, що контактують із заготовкою під час початкового етапу різання, буде відносно зменшена, тому опір різанню буде меншим, ніж у звичайних різбових фрез, коли кілька зубців одночасно торкаються заготовки. Зі збільшенням інтерполяційного руху кількість зубців, що вступають в процес різання, буде поступово збільшуватися, що запобігає появі конусності в оброблюваній різьбі; та наявність зовнішнього діаметра перевернутого конуса 5 зменшує тенденцію позитивної конусності оброблюваної різьби, запобігає явищу непроходження калібру, покращує якість обробки різьби, а також зменшує знос різальних зубів, подовжуючи термін служби фрези для обробки різьби.

Відома конструкція різбової фрези [4], ріжуча частина якої має зворотний конус.

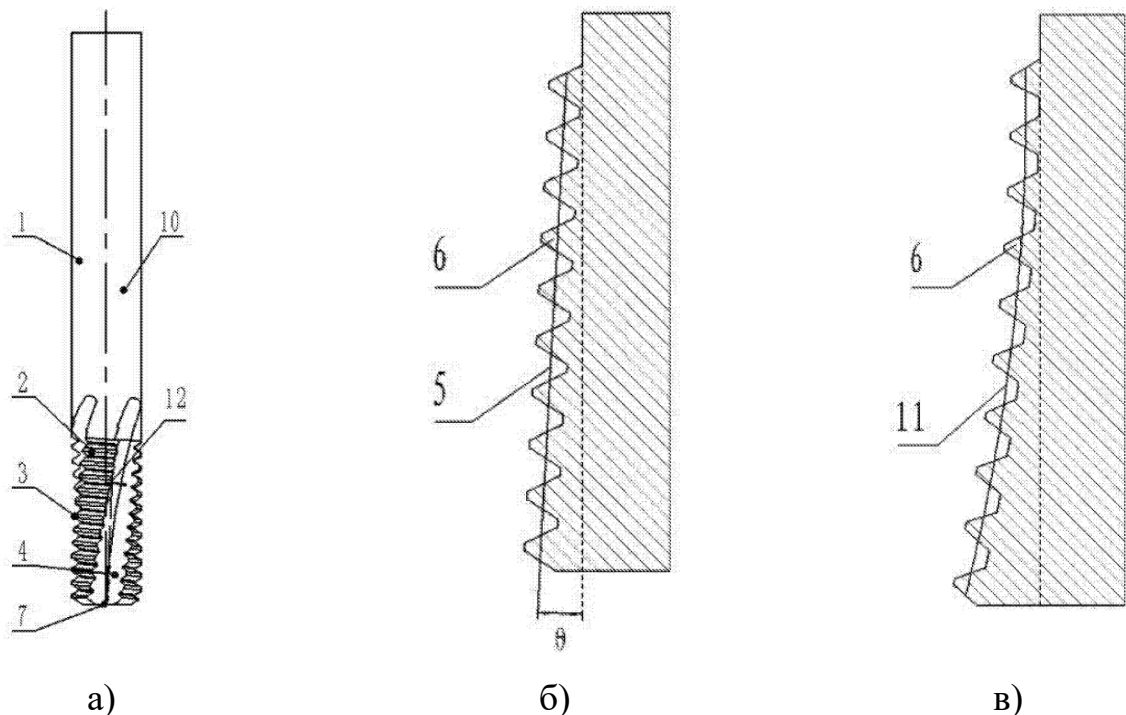


Рис. 2.5 Різьбова фреза:

а – конструкція інструменту; б – зворотний конус; в – дугоподібна конусність

Ріжуча частина має зворотну конусність із постійним співвідношенням діаметра до довжини (рис. 2.5, б) або дугоподібний конус зі змінним співвідношенням діаметра до довжини (рис. 2.5, в). На торці 7 ріжучої частини інструменту діаметр більший, і зменшується до хвостовика 10. Самокомпенсуюча різьбова фреза, придатна для високоточної обробки різьбових отворів малого діаметра та характеризується тим, що: співвідношення діаметра до довжини конуса ріжучої частини становить $0,01/100-10/100$. Як варіант, пропонується [4] самокомпенсуюча різьбова фреза конусність якої є дугоподібною зі змінним співвідношенням діаметра до довжини. Дана фреза має такі параметри: передній кут 8 становить $0^{\circ}-45^{\circ}$, а задній кут 9 - $0^{\circ}-30^{\circ}$;

Під час подачі даної різьбової фрези, кількість контактів поступово збільшується, що зменшує силу різання на різальних зубах та запобігає низькій точності обробки різьби, спричиненій явищем вигинання інструменту під час процесу подачі; під час обробки інструмент ефективно компенсує деформацію інструменту, забезпечуючи точність різьби. Зворотна конусність забезпечує краще відведення стружки, зменшуючи її контакт із оброблюваною поверхнею і тим самим зменшуючи знос різальних зубів 6 та подовжуючи термін служби різьбофрезерного інструменту.

Відома конструкція різьбової фрези [5] (рис. 2.6), яка має різальну частину у вигляді зворотного конуса із конусністю від $0,25/100$ до $0,3/100$.

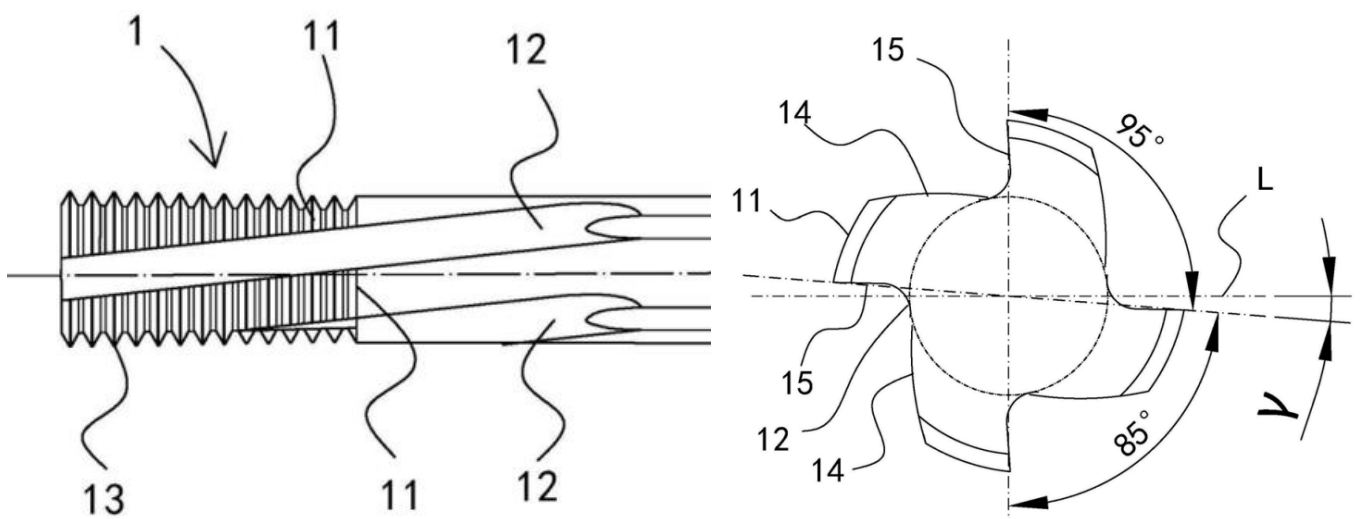


Рис. 2.6 Конструкція різьбової фрези

Різьбонарізна фреза виготовлена з твердосплавного матеріалу, основна частина леза являє собою усічений конус, діаметр ріжучої частини на ріжучому торці більший,

ніж діаметр леза 11 ближче до хвостовика. Кут нахилу спіралі ліворуч становить 5° - 8° , передній кут різьбонарізної кромки інструменту становить 3° - 5° , а кут заднього леза становить 6° - 8° . Товщина серцевини становить від 0,55 до 0,7 діаметра леза.

Порівняно зі звичайними різьбовими фрезами, дана фреза змінює напрямок напруження, завдяки чому радіальний опір, що виникає під час фрезерування, є найбільшим біля ріжучого торця, але задній кінець ріжучої кромки, що відповідає отвору, має менший відносний момент і більшу жорсткість, а явище утворення конічного отвору під час обробки значно зменшується. Таким чином, дана геометрія різьбової фрези корисна для подовження терміну служби інструменту та підвищення точності обробки різьбового отвору.

Різальні леза фрези розташовані нерівномірно, тобто кут між сусідніми ріжучими кромками нерівний. Канавка для стружки 12 має задню поверхню 14 та передню поверхню 15; на радіальному поперечному перерізі леза 1 бісектриса кута L між передньою поверхнею канавки 15 кожної канавки для стружки 12 та передніми поверхнями канавки 15 лівих сусідніх канавок для стружки 12 та правих сусідніх канавок для стружки 12 розташована зі зміщенням. Кути зміщення γ всіх передніх поверхонь канавок 15 однакові за розміром і становлять 5° , а напрямок зміщення передньої поверхні канавки 15 кожної канавки 12 протилежний напрямку зміщення передньої поверхні канавки 15 сусідньої канавки 12. Тобто, у цьому варіанті виконання кути задніх стінок сусідніх канавок 15 становлять 85° , 95° , 85° та 95° у такому порядку. Інструмент має відносну симетричність через те, що протилежні кути рівні. В процесі різання нерівномірне розташування може ефективно уникнути резонансу, тим самим подовжуючи фактичний термін служби фрези приблизно на 20 відсотків.

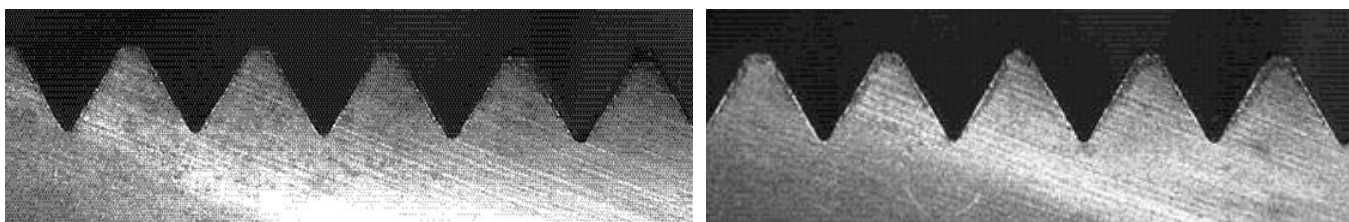
Фреза може оброблювати як зовнішню, так і внутрішню різьби в лівосторонньому або правосторонньому режимах різання.

2.2. Дослідження якості обробленої різьби інструментом зі зворотним конусом

В роботі [3] виконано різьбофрезерування двома різними різьбовими фрезами: запропонованою зі зворотним конусом (рис. 2.4) та стандартною. Визначено значення конусності фрезерованої різьби та знос інструментів.

Для експерименту використано заготовку із легованої марганцево-ванадієвої сталі 38MnVS6 твердістю 28–32HRC. Швидкість подачі $F=500$ мм/хв, частота обертання шпинделя $S=1600$ об/хв. Діаметр фрез 15,8 мм, нарізаєма різьба M14×1,5.

Після одночасної обробки двох інструментів протягом 160 хвилин було виміряно значення зносу передньої поверхні двох різьбонарізних фрез та якість обробленої різьби. Встановлено, що у фрези із конусністю знос різальних зубців є відносно рівномірним, причому знос є більш рівномірним, ніж у звичайної різьбонарізної фрези.



а)

б)

Рис. 2.7 Знос передньої поверхні різьбової фрези:

а – зі зворотною конусністю; б - стандартної

Визначено, що конусність обробленої різьби від першого до шостого витка при фрезеруванні інструментом зі зворотним конусом склала 0,01 мм, тоді як існуюча звичайна фреза для обробки різьби обробляє різьбу з конусом 0,03 мм. Значення конусності відрізняється в 3 рази, що говорить про значно кращий результат роботи різьбової фрези зі зворотним конусом.

Випробування терміну служби різьбонарізної фрези зі зворотним конусом, що виконувалось протягом 390 хвилин обробки різьби, показало, що усі ріжучі кромки зношуються рівномірно, а конусність становить 0,015 мм; тоді як існуюча звичайна різьбонарізна фреза виконувала обробку протягом 210 хвилин, а конусність

обробленої різьбової поверхні досягла 0,05 мм. Результати експериментів [3] підтверджують, що наявність у різьбової фрези зворотного конусу покращує якість обробки різьби та збільшує термін служби інструменту.

2.3. Висновки

На основі патентного пошуку, а також наукових публікацій визначено способи фрезерування та конструктивні особливості різьбових фрез, що зменшують або усувають відгинання інструменту від поверхні заготовки тим самим покращуючи якість обробки та забезпечуючи утворення різьби із заданими розмірами та допусками. Спосіб «м'якого зіткнення», що базується на корегуванні траєкторії спіралі гвинтової інтерполяції, є ефективним у боротьбі із відгинанням інструменту. Але при застосуванні даного способу необхідно експериментально визначати жорсткості інструменту на згин для кожного оброблюваного матеріалу, що робить даний спосіб трудомістким.

З точки зору зміни геометрії інструменту, ефективним є виконання зворотного конусу на робочій поверхні різьбової фрези. Серед відомих варіантів виготовлення фрез можна виділити виконання зворотного конусу із певним значенням конусності вздовж всієї різальної частини, або наявність різних кутів конусності вздовж різних секцій на які поділено різальну частину. Також, конусність різьбової фрези може бути представлена дугоподібною формою зі змінним співвідношенням діаметра до довжини.

Детально описано геометрію та особливості кожної розглянутої різьбової фрези.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ КРИШКИ ПЕРЕДНЬОЇ

3.1. Характеристика виробу та вузла до якого входить деталь

Гідроциліндр – це двигун, який призначений для перетворення механічної енергії рідини у зворотно-поступальний рух веденої ланки, тобто, штока. Гідроциліндри застосовуються в сільськогосподарській техніці, землеобробних, землерийних та дорожньо-будівельних машинах для управління їх робочими органами, а також для управління причіпними та навісними частинами сільгоспмашин.

Гідроциліндр поршневого типу (рис. 3.1) поділяються на одnobічні та двобічні. В одnobічних рух вихідної ланки у прямому напрямку здійснюється за допомогою потоку робочої рідини, а у зворотному – за допомогою дії зовнішніх сил. Двобічні гідроциліндри характеризуються рухом поршня в обох напрямках за рахунок впливу потоку робочої рідини.

Основними складовими гідроциліндру є: кришка передня 9, циліндрична гільза із задньою кришкою 19, поршень 15, шток 18. Гідроциліндр має штокову та поршкову порожнини. Поршневна порожнина формується внутрішніми стінками гільзи, задньої кришки та поверхнями поршня. Штокова порожнина сформована внутрішніми стінками гільзи, кришки передньої, а також поверхнями поршня та штоку. Ці дві порожнини розділені завдяки манжеті 14 та кільцю ущільнюючому 13.

Принцип дії двобічного поршневого гідроциліндра наступний: робоча рідина надходить по трубопроводу в поршкову порожнину штовхаючи поршень зі штоком, тим самим забезпечуючи поступальний рух веденої ланки. Повернення поршня зі штоком у вихідне положення відбувається при надходженні по трубопроводу робочої рідини у штокову порожнину.

Під час як прямого, так і зворотного ходу поршня, зусилля на штоку гідроциліндра виникає внаслідок тиску робочої рідини, що створюється відповідно у поршневій або штоковій порожнині. Варто враховувати, що при прямому ході поршня зусилля на штоку трохи більше, а швидкість його руху – менша, ніж при зворотному ході. Це зумовлено різницею в ефективній площі, на яку діє тиск рідини. Подібні

гідроциліндри використовуються, зокрема, для виконання функцій підйому та опускання робочих елементів техніки, як-от бульдозери та екскаватори.

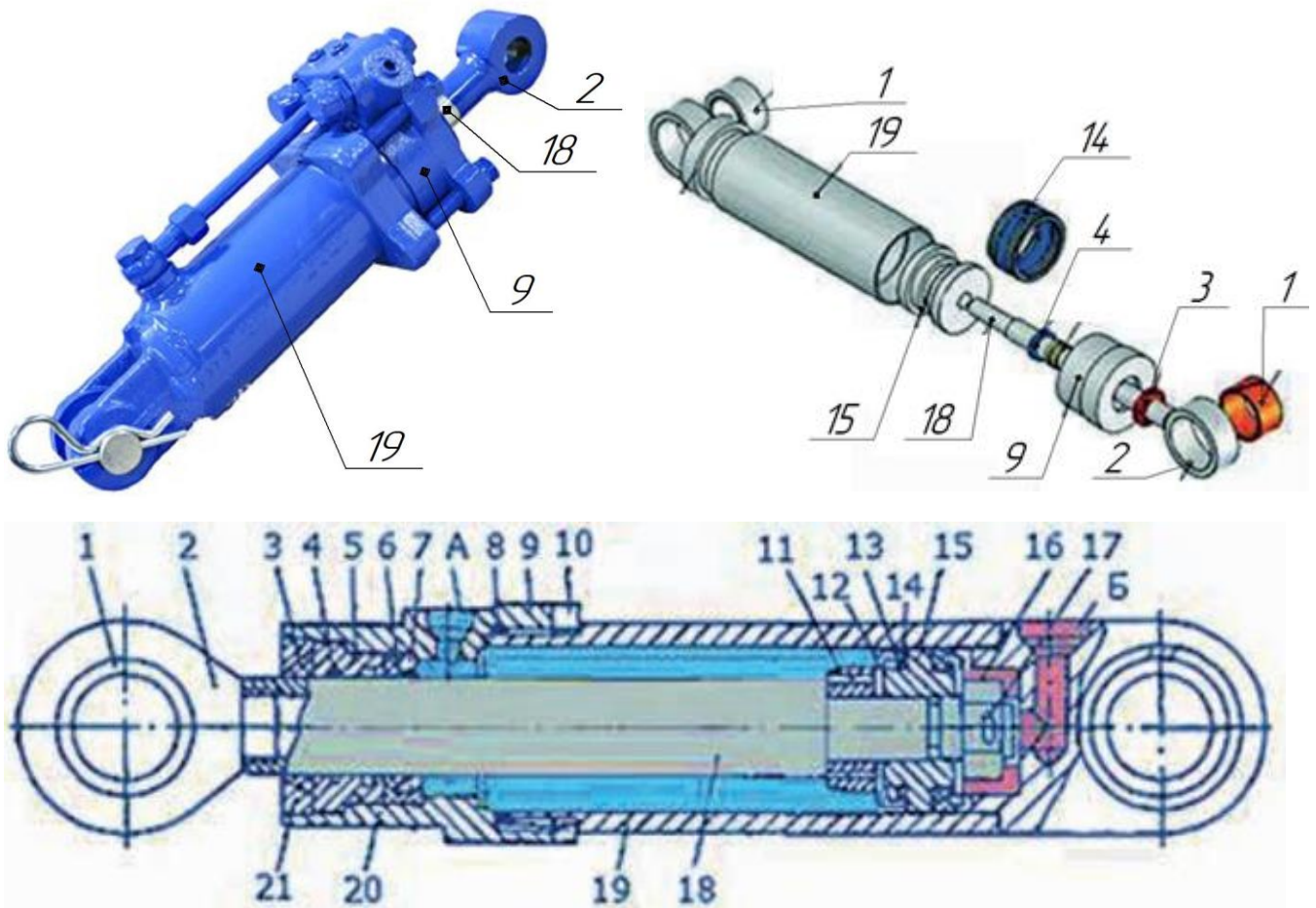


Рис. 3.1 Гідроциліндр поршневий:

1 – сферичний підшипник; 2 – вушко штоку; 3 – брудознімач; 4, 5 – кільце ущільнююче; 6 – манжета; 7 – манжетотримач; 8 – кільце ущільнююче; 9 – кришка передня; 10 – контргайка; 11 – демпфер; 12 – манжетотримач; 13 – кільце ущільнююче; 14 – манжета; 15 – поршень; 16 – гайка; 17 – шплінт; 18 – шток; 19 – циліндрична гільза із задньою кришкою; 20 – втулка; 21 – гайка брудознімача

Таблиця 3.1

Основні технічні характеристики гідроциліндру

Діаметр поршня, мм	75
Діаметр штока, мм	30
Хід поршня, мм	110
Максимальний робочий тиск, бар	200
Максимальна швидкість поршня, м/с	0,3

Діапазон робочих температур, °C	-30...+80
Вага, кг	13,5

3.2. Службове призначення та характеристика кришки передньої

Кришка передня (рис. 3.2) є одним з основних конструктивних елементів гідроциліндра, що виконує важливі функції у забезпеченні його герметичності, направленні штока та фіксації внутрішніх компонентів.



Рис. 3.2 Кришка передня

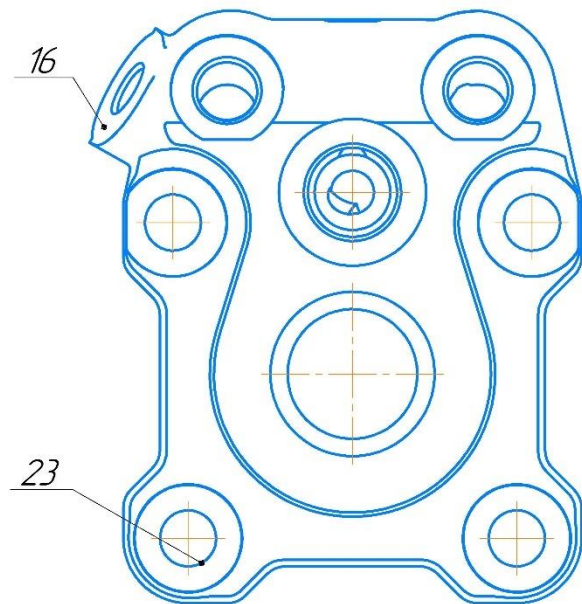
Кришка передня виконує декілька функцій. Наприклад, вона забезпечує герметизацію передньої частини гідроциліндра, запобігаючи витoku робочої рідини. Кришка передня також виконує направляючу функцію, забезпечуючи стабільний рух штоку по осі та захист від перекосів, а втулка, вмонтована в кришку, зменшує його зношування. Також механічна фіксація виконується кришкою, тобто, вона втримує інші деталі циліндра, зокрема ущільнення та втулки. За допомогою болтів та гвинтів кришка передня фіксується до торця циліндра через монтажні отвори і запобігає потраплянню сторонніх частинок у внутрішню частину гідроциліндра.

Поверхні деталі, що підлягатимуть механічній обробці нумеруємо на кресленні ескізу деталі кришка передня (рис. 3.3).

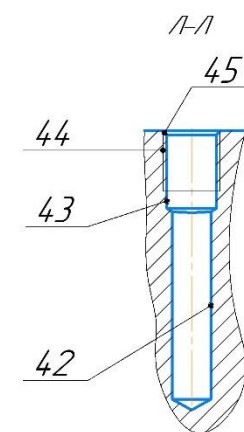
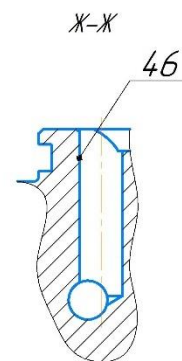
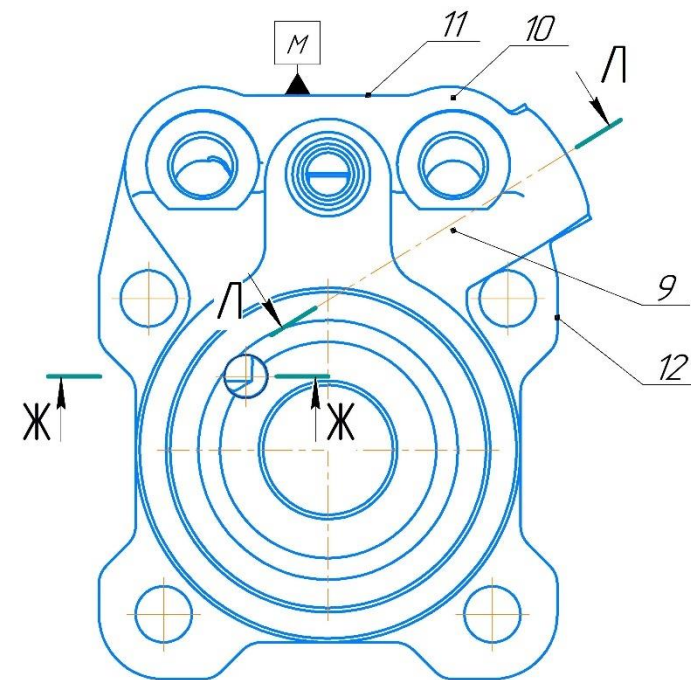
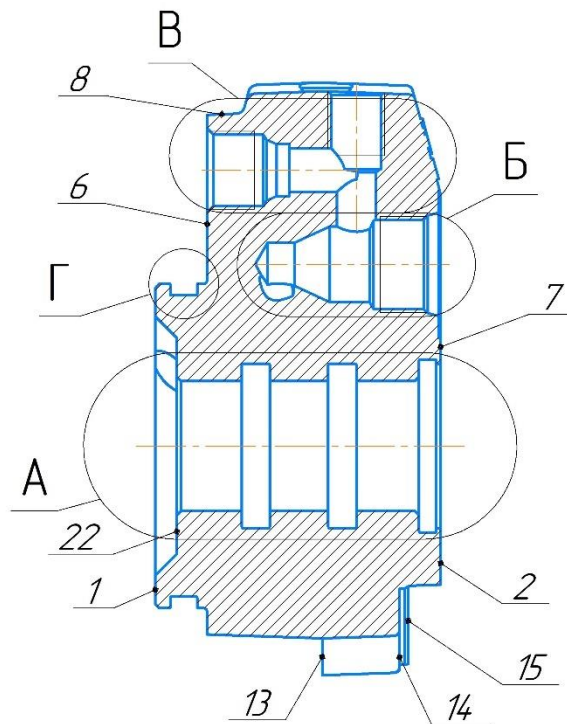
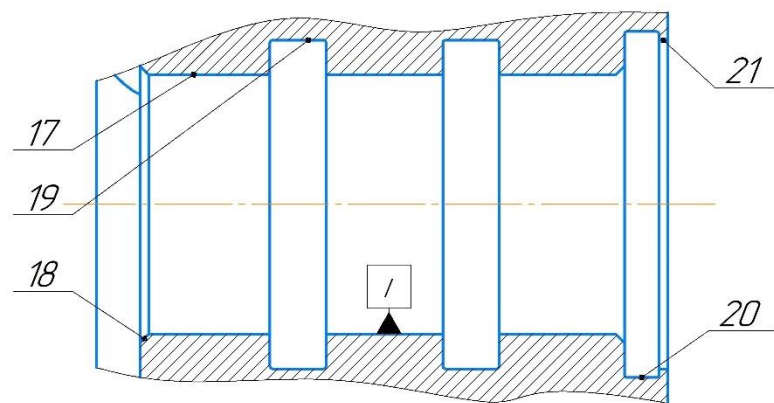
Деталь кришка передня зорієнтована у виробі відносно поверхонь зовнішньої циліндричної 4 та площини 6.

Положення деталей, що приєднуються до кришки передньої визначаються поверхнями: канавками 5, 19 та 20, внутрішніми циліндричними поверхнями 23, внутрішніми різбовими поверхнями 34, 40, 44, 49.

Деталь кришка передня виконує своє службове призначення за допомогою поверхонь: внутрішніх циліндричних 17, 28, 30, 42, 46, 47, внутрішніх конічних 29 та 37, різбових 26, 40 та 44.



A (2:1)



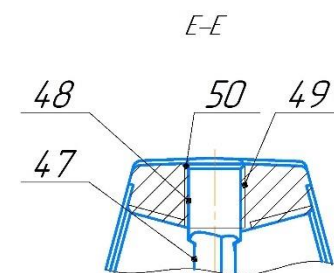
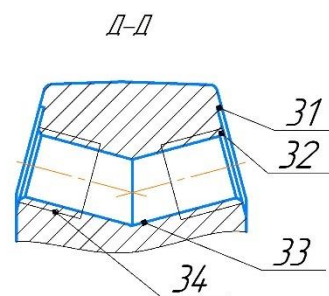
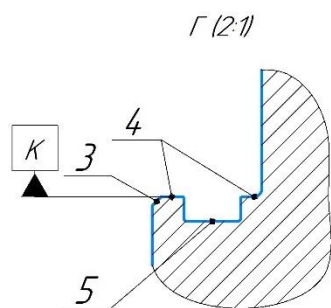
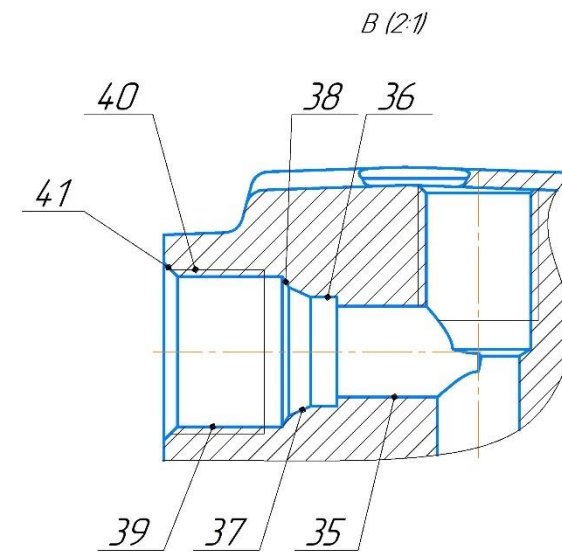
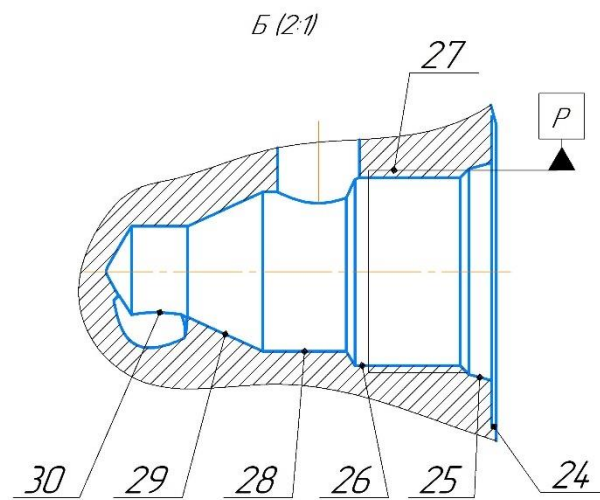
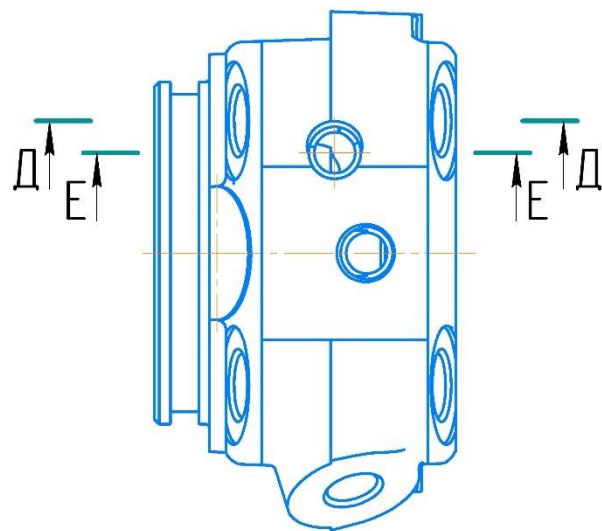


Рис. 3.3 Ескіз кришки передньої

3.3. Розробка технології виготовлення кришки передньої

Аналіз точності та технологічності

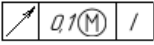
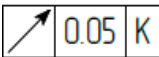
Найбільш точною поверхнею деталі кришка передня є внутрішня циліндрична поверхня 17 $\varnothing 30^{+0,021}_{-0,021}$ H7 шорсткість Ra1,25. Зовнішня циліндрична поверхня 4, що має розмір $\varnothing 75_{-0,074}$ та шорсткість Ra3,2, а також канавка 5 $\varnothing 69,6_{-0,074}$ з шорсткістю поверхні Ra1,6 виготовляються із квалітетом 9. Також, деякі поверхні такі, як зовнішня циліндрична 4 та канавки 5, 19 та 20 мають допуск биття з відхиленнями 0,05-0,1 мм. Бонка 16 та внутрішня циліндрична поверхня 24 мають допуск перпендикулярності, позиційними допусками характеризуються внутрішня циліндрична поверхня 23 та різьбова 27.

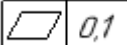
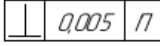
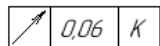
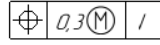
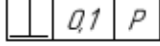
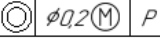
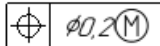
Інші поверхні деталі характеризуються невисокими квалітетами точності: H14...H12 та шорсткістю Ra 12,5-6,3.

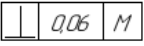
В деталі кришка передня наявні глухі та наскрізні отвори. Деякі отвори мають різьбові поверхні, що виготовлені за різними стандартами. Різьбова поверхня 27 7/8-14 UNF – дюймова різьба з дрібним кроком. Різьбова поверхня 34 K 1/2”-14, а також різьбові поверхні 44 та 49 G1/4-B – дюймова трубна різьба. Різьбова поверхня 40 M18x1,5-6H – метрична різьба.

Таблиця 3.2

Параметри точності деталі кришка передня

Номер поверхні на деталі	Найменування поверхні	Розміри	Квалітет точності	Точність відносного розміщення	Точність форми	Шорсткість
1	2	3	4	5	6	7
1, 2	Торцева	66 _{-0,74}	14			Ra12,5
3	Фаска	1x45° $\varnothing 75_{-0,074}$	14			Ra12,5
4	Зовнішня циліндрична	$\varnothing 75_{-0,074}$	h9			Ra3,2
5	Канавка	$\varnothing 69,6_{-0,074}$ 6,2				Ra1,6 Ra2,5
6, 7	Площина	54 _{-0,4}				Ra12,5
8	Торцева	R14,6 $\varnothing 89$	-			Ra12,5
9	Площина	8±0,2 19,5±0,2				Ra12,5

1	2	3	4	5	6	7
10	Площина	15 ⁰				Ra12,5
11	Площина	126				Ra2,5
12	Торцева	106; R15; 65,8; 137 17,9				Ra12,5
13, 14	Торцева	17,9				Ra1,6
15	Бонка	Ø25 2				Ra12,5
16	Бонка	Ø30	14			Ra2,5
17	Внутрішня циліндрична	Ø30 ^{+0,021}	H7			Ra1,25
18	Фаска	1x45 ⁰ Ø30 ^{+0,021}	-			Ra1,6
19	Канавка	Ø38 ^{+0,062} 6,5 ^{+0,15}	H9			Ra1,6 Ra2,5
20	Канавка	Ø40 ^{+0,1} 4 ^{+0,2}	H10			Ra1,6 Ra1,6
21	Внутрішня циліндрична	Ø38 ^{+0,16} 1	H11			Ra3,2
22	Площина	5-0,48 Ø60	15			Ra12,5
23	Внутрішня циліндрична	Ø13	14			Ra6,3
24	Внутрішня циліндрична	Ø34 0,5				Ra3,2
25	Внутрішня конічна	Ø23,9 ^{+0,13} 15 ⁰	11			Ra2,5
26	Внутрішня циліндрична	Ø20,5	-			Ra6,3
27	Різьбова	7/8-14 UNF				
28	Внутрішня циліндрична	Ø17,5 0,5				Ra2,5
29	Внутрішня конічна	Ø13,5±0,05 24,5 ⁰	13			Ra2,5
30	Внутрішня циліндрична	Ø10				Ra3,2
31	Внутрішня циліндрична	R12 ^{+0,5} 1				Ra6,3
32	Фаска	1x45 ⁰				Ra6,3
33	Внутрішня циліндрична	Ø14				Ra6,3
34	Різьбова	K 1/2"-14				-
35	Внутрішня циліндрична	Ø10				Ra6,3

1	2	3	4	5	6	7
36	Внутрішня циліндрична	Ø12				Ra3,2
37	Внутрішня конічна	Ø14,3 24 ⁰				Ra6,3
38	Внутрішня конічна	1x45 ⁰				Ra6,3
39	Внутрішня циліндрична	Ø16,5				Ra3,2
40	Внутрішня різьбова	M18x1,5-6H				-
41	Фаска	1,5x45 ⁰				Ra3,2
42	Внутрішня циліндрична	Ø9				Ra3,2
43	Внутрішня циліндрична	Ø11,5				Ra6,3
44	Різьбова	G1/4-B				-
45	Фаска	1x45 ⁰				Ra6,3
46	Внутрішня циліндрична	Ø10				Ra3,2
47	Внутрішня циліндрична	Ø9				Ra1,6
48	Внутрішня циліндрична	Ø11,5				Ra6,3
49	Різьба	G1/4-B				-
50	Фаска	1x45 ⁰				Ra6,3

Проектування технологічного процесу

Механічна обробка деталі кришка передня полягає в обробці площин, зовнішніх циліндричних поверхонь, отворів, різьб в отворах.

Оскільки, в деталі механічній обробці підлягають і деякі похилі площини, то доцільно в якості металорізального обладнання обрати верстат із поворотним столом, що має функцію нахилу. Таким чином, розмістивши деталь в горизонтальному положенні та закріпивши її в спеціальному затискному пристрої, при повороті та нахилі столу верстату на певний кут, можна отримати доступ до похилих поверхонь деталі та обробити поверхні, що знаходяться на них, а саме: внутрішні циліндричні поверхні 31, 33, 42, 43; різьбові 34, 44. Таким чином зменшити кількість операцій та застосовуваних затискних пристроїв.

Вибір заготовки

В якості методу отримання заготовки обираємо лиття під тиском у прес-форму.

Лиття в прес-форму широко використовується в багатьох галузях промисловості, включаючи автомобільну, електронну, аерокосмічну і побутову техніку. Найпоширеніші деталі, що виготовляються за цією технологією – це корпуси, кришки, деталі механізмів.

Лиття в прес-форму є надзвичайно ефективним методом для виготовлення заготовок. Сутність методу полягає у виготовленні заготовок шляхом введення під тиском рідкого сплаву в прес-форму. Процес є одним із найпоширеніших методів масового виробництва в машинобудуванні. Прес-формування має низку переваг, включаючи високу точність, швидкість виробництва та можливість виготовлення складних деталей.

Деталь кришка передня виготовляється із сірого чавуну марки СЧ 200. Сірий чавун даної марки має у своєму складі пластичний графіт. Це один із найпоширеніших видів конструкційних чавунів, який широко застосовується в машинобудуванні, приладобудуванні та інших галузях промисловості. Його маркування «СЧ 200» означає сірий чавун з мінімальною межею міцності на розтяг 200 МПа. Основними складовими цього матеріалу є залізо, вуглець (2,7–3,5%), кремній (1,2–2,5%), а також невеликі кількості марганцю, фосфору та сірки.

Наявність графіту у вигляді пластинок, що надає матеріалу характерного сірого зламу та забезпечує хороші антифрикційні властивості, зменшує вібрації під час роботи деталей і покращує оброблюваність різанням. Водночас пластинчастий графіт знижує ударну в'язкість і міцність на розтяг, через що сірі чугуни, зокрема СЧ 200, застосовуються переважно для деталей, що працюють при статичних або помірно змінних навантаженнях.

Завдяки високій ливарній здатності СЧ 200 легко заповнює форми складної конфігурації, що дозволяє виготовляти деталі без додаткової механічної обробки. Матеріал має високу зносостійкість, добру теплопровідність і демпфувальні властивості, тому часто використовується для корпусних деталей, станин верстатів, блоків циліндрів, маховиків, підшипникових вкладишів, кожухів редукторів та плит

основ. Технологічність обробки СЧ 200 є однією з його головних переваг: він легко піддається точінню, свердлінню, шліфуванню.

Його застосування є економічно доцільним у випадках, коли не потрібна висока ударна в'язкість або пластичність, а важливими є стабільність розмірів, здатність гасити вібрації та гарна оброблюваність.

Хімічний склад і механічні властивості чавуну наведені в таблицях 3.4 та 3.5 відповідно.

Таблиця 3.4

Хімічний склад матеріалу деталі кришка передня

Марка матеріалу	Вміст елементів, %				
	C	Si	Mn	P	S
СЧ 200	3,0-3,5	1,2-2,5	до 1,0	до 0,3	до 0,12

Таблиця 3.5

Механічні властивості матеріалу деталі кришка передня

Марка матеріалу	σ_B	δ	Твердість, НВ
	МПа	%	
СЧ 200	200	1,4-1,5	230

Вибір методів обробки поверхонь

Маршрут обробки внутрішньої циліндричної поверхні 17 $\varnothing 30^{+0,021}$ має бути оптимальним та забезпечувати досягнення необхідної точності.

Загальне уточнення:

$$\epsilon_z = \delta_z / \delta_d, \quad (3.1)$$

де δ_z - допуск на розмір поверхні 17 заготовки;

δ_d - допуск на розмір поверхні 17 після її обробки.

Допуск на розмір 17 заготовки $\delta_z = 0,52$ мм. Допуск на розмір поверхні 17 на деталь $\delta_d = 0,021$ мм.

Обираємо два маршрути обробки поверхні 17.

Перший маршрут:

- розсвердлювання $\delta_1 = 0,21$ мм
- зенкерування чорнове $\delta_2 = 0,084$ мм
- зенкерування чистове $\delta_3 = 0,039$ мм
- розгортання тонке $\delta_4 = 0,021$ мм

Другий маршрут:

- розфрезерування чорнове $\delta_1 = 0,13$ мм
- розфрезерування чистове $\delta_2 = 0,033$ мм
- розфрезерування тонке $\delta_3 = 0,021$ мм

Загальне уточнення $\varepsilon_3 = 24,761$.

Частинні коефіцієнти уточнення:

$$\varepsilon_i = \delta_i / \delta_{i+1} \quad (3.2)$$

Результати розрахунків для обох маршрутів обробки заносимо до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь деталі кришка передня

Позначення поверхні	Допуск на поверхню по кресленню, δ_d мм	Шорсткість поверхні, R_a мкм	Допуск на заготовку по поверхні, δ_3 мм	Загальне уточнення ε_3	Можливі технологічні маршрути обробки поверхні		Економічні допуски на проміжні методи обробки,	Частинні коефіцієнти уточнення	$\Pi \varepsilon_i = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \dots \cdot \varepsilon_i$
					№	Зміст маршруту			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	0,021	1,25	0,52	24,761	1	Розсвердлювання	0,21	2,476	24,760
						Зенкерування чорнове	0,084	2,5	
						Зенкерування чистове	0,033	2,545	
						Розгортання тонке	0,021	1,571	
					2	Розфрезерування чорнове	0,13	4	24,761
						Розфрезерування чистове	0,033	3,939	
						Розфрезерування тонке	0,021	1,571	

Як видно з розрахунків, для поверхні 17 оптимальним є маршрут №2, при якому

$$\varepsilon_{\text{зар}} = \Pi \varepsilon_i.$$

Розробка маршруту виготовлення кришки передньої

Розроблений маршрут обробки наведено в таблиці 3.7.

Таблиця технологічного маршруту обробки деталі кришка передня

Маршрутний технологічний процес
1
001 Транспортна Електрокар Транспортувати заготовки на ділянку механічної обробки
005 Фрезерна з ЧПУ НААС UMC 500 Фрезерний з ЧПУ Фрезерувати 4 бонки, фрезерувати поверхню, свердлити 4 отвори, розвернути 2 отвори, фрезерувати отвір, свердлити отвір, зенкерувати отвір, розточити отвір, розфрезерувати канавку. Поворот столу. Фрезерувати отвори, точити фаску, фрезерувати різьбу. Поворот столу. Свердлити отвір, розсвердлити отвір, точити канавку, фрезерувати різьбу.
010 Фрезерна з ЧПУ НААС UMC 500 Фрезерний з ЧПУ Фрезерувати поверхні, фрезерувати канавку, фрезерувати фаски, свердлити отвори, зенкерувати отвір, розсвердлити отвір, фрезерувати різьбу. Поворот столу. Фрезерувати отвори, точити фаску, фрезерувати різьбу. Поворот столу. Свердлити отвір, розсвердлити отвір, зенкувати фаску, фрезерувати різьбу.
015 Слюсарна Верстак слюсарний Видалити стружку з деталі після механічної обробки.
020 Контрольна Стіл контролера Перевірити розміри
025 Транспортна Електрокар Транспортувати деталі на ділянку зборки.

Вибір технологічних баз

Під час виконання технологічного процесу механічної обробки деталі кришка передня на 005 операції установчою базою є торцева площина 13, а направляючою та опорною базами є торцеві радіусні поверхні, що сформовані площинами 10, та площинами 13 і 14 (рис. 3.3). На 010 операції в якості базових обрані такі поверхні: бонки 15 та внутрішні циліндричні поверхні 23.

Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір обладнання для їх здійснення

Створюємо структуру та зміст кожної операції механічної обробки деталі кришка передня, вказуючи її номер та найменування. Цей процес ґрунтується на технологічному маршруті обробки деталі, маршрутах обробки поверхонь та аналізі визначення розмірів з урахуванням технічних вимог до окремих поверхонь.

Структуру та зміст технологічних операцій наведено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Зміст та структура технологічних операцій обробки деталі кришка передня

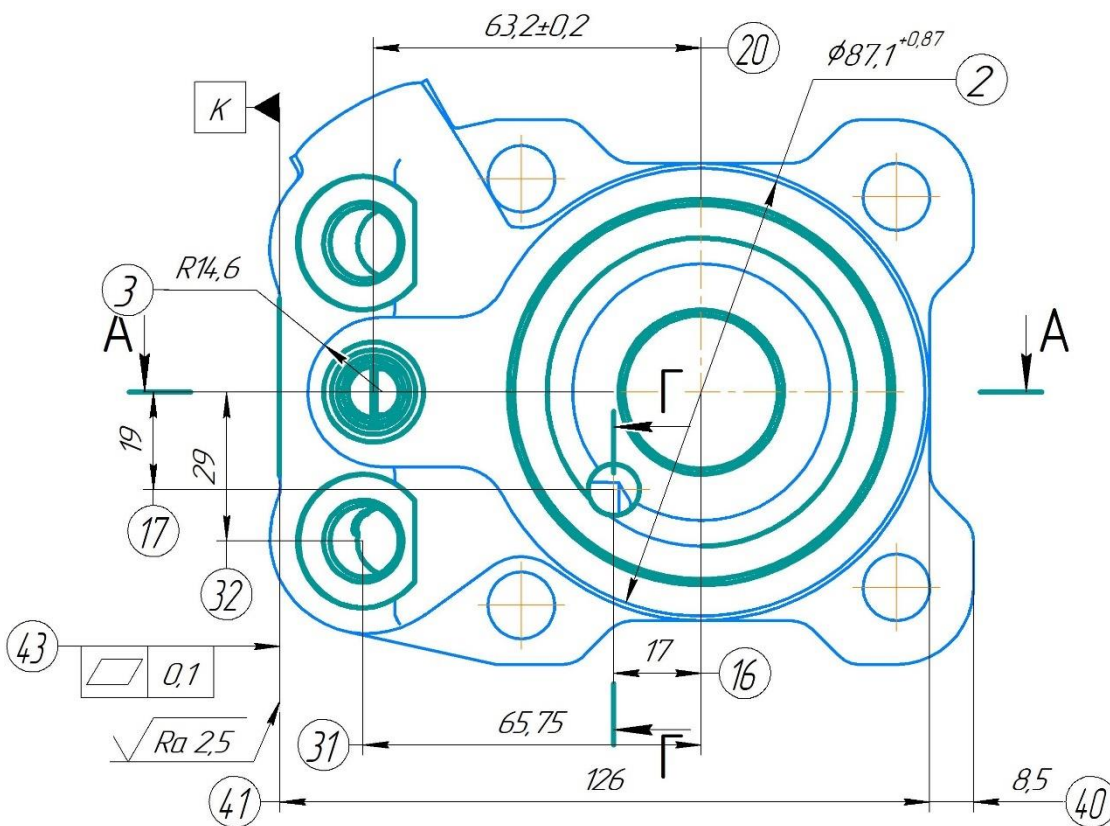
№ та назва операції	Модель верстату, назва	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
005 Фрезерна з ЧПУ	HAAS UMC 500 Фрезерний з ЧПУ		1. Встановити та закріпити заготовку. 2. Фрезерувати послідовно поверхню 4 бонок, витримуючи розміри 1-7. 3. Фрезерувати поверхню, витримуючи розмір 8. 4. Свердли 2 отвори послідовно напрохід, витримуючи розміри 4-7, 9, допуск 10. 5. Свердли 2 отвори послідовно напрохід, витримуючи розміри 1, 2, 4, 7, 11.

1	2	3	4
		Technical drawing of a mechanical part with cross-sections A-A, B-B, and C-C. The main view shows a part with a central hole and a smaller hole on the left. Dimensions include 68,4_{-0,74}^{+0,74} for the total height, 17,9 for a step height, and 2±0,07 for a small feature. Surface roughness Ra 12,5 is indicated. Cross-section B-B shows a hole with diameter φ13^{+0,018} and a step with diameter φ12,6^{+0,11}. Cross-section C-C shows a hole with diameter φ12,9^{+0,043}. Circled numbers 1, 2, 4, 7, 12, 13, 14 point to specific features.	6. Розвернути начисто 2 отвори послідовно, витримуючи розміри 1, 2, 4, 7, 12. 7. Розвернути тонко 2 отвори послідовно, витримуючи розміри 1, 2, 4, 7, 13, допуск 14.

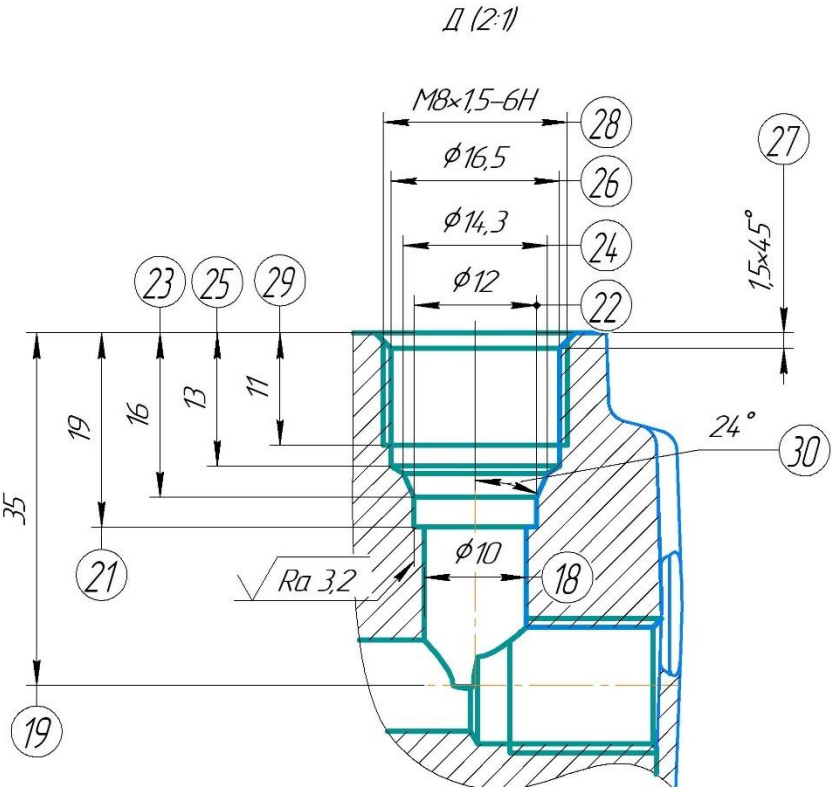
1	2	3	4
		Technical drawing of a mechanical part with dimensions and callouts. The drawing shows a cross-section of a part with a central hole. Key dimensions include: outer diameter 34, inner diameter 23.9^{+0.13}, hole diameter 20.6, and a 7/8-14 UNF thread. Surface roughness values are Ra 3.2 and Ra 2.5. Callouts 15 through 35 indicate specific features and dimensions. A scale of 1:2 is indicated at the top.	8. Фрезерувати отвір, витримуючи розміри 15, 16, 17, допуск 18. 9. Свердлити отвір, витримуючи розміри 17, 19, 20. 10. Зенкерувати отвір, витримуючи розміри 17, 21, 22, 23, 24, 25, 26. 11. Свердлити отвір, витримуючи розміри 17, 27, 28. 12. Зенкерувати отвір, витримуючи розміри 17, 29, 30, 31, допуск 32. 13. Фрезерувати різьбу в отворі, витримуючи розміри 17, 33, 34, допуск 35.

1	2	3	4
			14. Розфрезерувати начорно отвір, витримуючи розміри 8, 36. 15. Розточити отвір, витримуючи розміри 37, 38. 16. Розфрезерувати канавку, витримуючи розміри 39, 40. 17. Розфрезерувати начисто отвір, витримуючи розміри 8, 41. 18. Розфрезерувати тонко отвір, витримуючи розміри 8, 42. 19. Розфрезерувати дві канавки послідовно, витримуючи розміри 43, 44, 45, 46, 47. 20. Поворот столу на 15°.

1	2	3	4
			21. Фрезерувати послідовно два отвори, витримуючи розміри 48-54. 22. Точити фаску в двох отворах послідовно, витримуючи розміри 51-55. 23. Фрезерувати різьбу в двох отворах послідовно, витримуючи розміри 52-54, 56, 57. 24. Поворот столу. 25. Свердлити отвір, витримуючи розміри 58-61. 26. Розсвердлити отвір, витримуючи розміри 60-63. 27. Фрезерувати фаску, витримуючи розміри 60, 61, 63, 64. 28. Фрезерувати різьбу в отворі, витримуючи розміри 60, 61, 65, 66. 29. Відкріпити та зняти деталь.

010	Фрезерна з ЧПУ	НААС UMC 500 Фрезерний з ЧПУ	010
1	2		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати площину та зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри 1, 2, 3, 4, допуск 5. 3. Фрезерувати поверхню, витримуючи розміри 4, 6. 4. Фрезерувати канавку, витримуючи розміри 4, 7, 8, 9 та допуск 10.

1	2	3	4
		The drawing shows a mechanical part with several views and dimensions. The main view is a cross-section A-A. Dimensions include: outer diameter $\phi 75_{-0,074}$, inner diameter $\phi 60$, and a central hole diameter $\phi 30^{+0,021}$. Surface roughness values are $Ra 3,2$ and $Ra 12,5$. A chamfer is specified as $1 \times 45^\circ$. Section B-B shows a detail of the part with dimensions $\phi 69,9_{-0,074}$, $Ra 1,6$, and $Ra 2,5$. Section G-G shows a detail of the part with dimensions $38,5$, $\phi 10$, and $Ra 3,2$. Callouts 1 through 17 are placed around the drawing to indicate specific features.	5. Точити фаску, витримуючи розміри 4, 11. 6. Фрезерувати фаску, витримуючи розміри 12, 13. 7. Свердлити отвір, витримуючи розміри 14, 15, 16, 17.

1	2	3	4
			8. Свердлити отвір, витримуючи розміри 18, 19, 20. 9. Розфрезерувати отвір, витримуючи розміри 20, 21, 22. 10. Зенкерувати отвір, витримуючи розмір 20, 23, 24, 30. 11. Розсвердлити отвір, витримуючи розміри 20, 25, 26. 12. Фрезерувати фаску в отворі, витримуючи розміри 20, 26, 27. 13. Фрезерувати різьбу в отворі, витримуючи розміри 20, 28, 29. 14. Поворот столу на 15°. 15. Фрезерувати послідовно два отвори, витримуючи розміри 31-36.

1	2	3	4
			16. Точити фаску в двох отворах послідовно, витримуючи розміри 31-37. 17. Фрезерувати різьбу в двох отворах послідовно, витримуючи розміри 31, 32, 38, 39. 18. Поворот столу. 19. Фрезерувати поверхню, витримуючи розміри 40-42 та допуск 43. 20. Свердлити два отвори послідовно, витримуючи розміри 44-48. 21. Розсвердлити два отвори послідовно, витримуючи розміри 44-46, 50, 51. 22. Зенкувати фаску в двох отворах послідовно, витримуючи розміри 44-51. 23. Фрезерувати різьбу в двох отворах послідовно, витримуючи розміри 44-46, 52-53 та допуск 54. 24. Відкріпити та зняти деталь

Характеристика металорізального верстату, що застосовується для обробки деталі кришка передня наведено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Характеристика верстату для обробки деталі кришка передня

№ операції	Модель та найменування верстату	Стисла технічна характеристика				
		Габаритні розміри робочого столу чи макс. діаметр обробки	Ряд частот обертання (хв ⁻¹)	Ряд подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри верстату (мм)
005, 010	Фрезерний з ЧПУ HAAS UMC 500	Ø400	8100	24000	22,4	3250х 2910х 2790

Вибір пристроїв для затиску деталі

Затискні пристрої, що застосовуються для затиску деталі на операціях механічної обробки наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

Затискні пристрої для деталі кришка передня

Номер операції	Найменування пристрою	Стандарт (код)	Вид приводу
005	Пристрій затискний	Спеціальний	Пневматичний
010	Пристрій затискний	Спеціальний	Пневматичний

Вибір різальних інструментів

Правильний вибір різальних інструментів забезпечить необхідні показники якості та точності оброблюваних ними поверхонь. При обробці центрального блоку застосовується осьовий інструмент такий, як: фрези, свердла, зенкери, розточувальні головки.

При обробці ступінчастих отворів доцільно застосовувати ступінчасті розточувальні головки. Такий вибір дасть змогу зменшити кількість переходів механічної обробки та кількість задіяних різальних інструментів. Так, наприклад, розточувальна головка, що застосовується при обробці на 16 переході 010 операції також буде застосована на 41 переході 010 операції, оскільки, оброблювані отвори мають однакову геометрію та умови по досягаємій якості та точності. За тим же

принципом обирається розточувальна головка для обробки ступінчастих отворів на 17 та 42 переходах механічної обробки 010 горизонтально-фрезерної з ЧПУ операції.

Деталь центральний блок має велику кількість глухих отворів. Деякі з отворів є глибокими, тобто, їх довжина більше ніж в п'ять разів перевищує їх діаметр.

Характеристики вибраного інструменту для обробки поверхонь деталі центральний блок наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Ріжучий інструмент для механічної обробки деталі центральний блок

Номер		Найменування інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Матеріал різальної частини
Операції	Переходу			
1	3	4	5	6
005	2, 3	Фреза торцева Ø20	520-020A30-08L	AS10
	4	Свердло Ø13	1300-050A1	TT6080
	5	Свердло Ø12,6	1260-050A1	TT6080
	6	Розвертка Ø12,9	1290-040C4-13L	TT6080
	7	Розвертка Ø13	1300-040C4-13L	TT6080
	8	Фреза кінцева Ø14	R280-014A25L-11L	AS10
	9	Свердло Ø10	1000-065A1	TT6080
	10	Зенкер Ø25,6	10.267	K10
	11	Свердло Ø20,6	2060-060A1	TT6080
	12	Зенкер Ø35	10.350	K10
	13	Фреза різбова M10x1,5	Спеціальна	BK8
	14	Фреза кінцева Ø16	JS412020G16SZ2.0	AS10
	15	Розточувальна головка	BH38-40H	AS10
	16, 19	Фреза т-подібна Ø28	R280-04A	PV3030
	17, 18	Фреза кінцева Ø18	G18SZ2.2	PV3030
	21	Фреза кінцева Ø8	820G30SZ1.5	AS10
	22	Розточувальна головка	BH14-40H	TT7015
	23	Фреза різбова K 1/2-14	JS412050G2	TT7010
	25	Свердло Ø9	9-080A1	TT6080
	26	Свердло Ø11,4	11.4-080A1	TT6080
	27	Фреза фасочна Ø12	400-012A25	AS10
	28	Фреза різбова G 1/4-B	JS412040	TT7010
010	2	Фреза кінцева Ø30	G30SZ2.2	PV3030
	3	Фреза торцева Ø20	520-020A30-08L	AS10
	4	Фреза т-подібна Ø34	R280-04A	PV3030
	5	Розточувальна головка	BH30-50H	TT7015
	6	Фреза фасочна Ø24	400-024A25	AS10
	7, 8	Свердло Ø10	10-090A1	TT6080
	9	Фреза кінцева Ø8	G8SZ2.2	PV3030

1	3	4	5	6
	10	Зенкер Ø14,5	10.145	K10
	11	Свердло Ø16,5	16.5-090A1	TT6080
	12	Фреза фасочна Ø20	400-020A25	AS10
	13	Фреза різьбова M8x1,5	JS412050G2SZ2.0	TT7010
	15	Фреза кінцева Ø8	820G30SZ1.5	AS10
	16	Розточувальна головка	BH14-40H	TT7015
	17	Фреза різьбова K 1/2-14	JS412050	TT7010
	19	Фреза торцева Ø20	520-020A30-08L	AS10
	20	Свердло Ø9	-090A1	TT6080
	21	Свердло Ø11,4	11.4-090A1	TT6080
	22	Зенківка	12-35B	TT6080
	23	Фреза різьбова G 1/4-B	JS412050G2	TT7010

Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Вимірювальні інструменти є основним засобом отримання кількісної інформації про об'єкт контролю. За їх допомогою визначають лінійні, кутові, поверхневі, а також інші геометричні параметри деталей. Отримані дані використовуються для оцінки точності виготовлення та прийняття рішень щодо придатності деталей до подальшої експлуатації або складання.

Контрольні пристрої – це спеціальні технічні засоби, призначені для перевірки геометричних параметрів деталей без виконання точних вимірювань. На відміну від вимірювальних інструментів, які показують конкретні числові значення, контрольні пристрої лише фіксують факт відповідності або невідповідності деталі заданим розмірам. Вони дозволяють швидко визначити, чи знаходиться параметр у межах допуску, що суттєво скорочує час контролю при серійному та масовому виробництві.

Вимірювальний інструмент і контрольні пристрої, якими контролюються параметри деталі кришка передня наведено в таблиці 3.12.

Вимірювальний інструмент і контрольні пристрої

Номер		Параметр деталі, який контролюється	Найменування вимірювального інструменту
Операції	Переходу		
1	3	4	5
005	2	$2 \pm 0,07$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
	3	$68,4_{-0,74}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
	4	$\varnothing 13^{+0,18}$	Калібр-пробка
	7	$\varnothing 13^{+0,018}$	Калібр-пробка
	9	40^{+1}	Штангенглибиномір ШГЦ 150-0,02
	13	7/8-14 UNF	Калібри-пробка різьбова 7/8-14 UNF
	15	$\varnothing 38^{+0,16}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
	18	$\varnothing 30^{+0,021}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
	21	25	Штангенглибиномір ШГЦ 150-0,02
	23	K 1/2-14	Калібри-пробка різьбова K 1/2-14
	25	$62 \pm 0,37$	Штангенглибиномір ШГЦ 150-0,02
	28	G 1/4-B	Калібри-пробка різьбова G 1/4-B
010	2	$\varnothing 75_{-0,074}$ $54_{-0,4}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-250-0,01
	3	$66_{-0,74}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
	4	$\varnothing 69,9_{-0,074}$ $6,2^{+0,2}$	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
	7	$\varnothing 10$ 38,5	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01 Штангенглибиномір ШГЦ 150-0,02
	8	35	Штангенглибиномір ШГЦ 150-0,02
	9	19	Штангенглибиномір ШГЦ 150-0,02
	13	M8	Калібри-пробка різьбова M8
	17	K 1/2-14	Калібри-пробка різьбова K 1/2-14
	19	126	Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01
	20	65	Штангенглибиномір ШГЦ 150-0,02
	23	G 1/4-B	Калібри-пробка різьбова G 1/4-B

Визначення припусків та операційних розмірів

Розрахунок припусків виконується для внутрішньої циліндричної поверхні 17 $\varnothing 30^{+0,021}$, яка підлягає неодноразовій механічній обробці. Розрахунок виконуємо за методикою В.М. Кована.

Маршрут обробки даної поверхні: розфрезерування чорнове, розфрезерування чистове, розфрезерування тонке.

Розраховані значення припусків та допусків для внутрішньої циліндричної поверхні 17 зведено до таблиці 3.13.

Таблиця 3.13

Розрахунок припусків на обробку внутрішньої циліндричної поверхні

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, мм	Граничний розмір, мм		Граничні відхилення припусків, мм	
	R_z	T	ρ	$2z_{\min}$	d_p	δ	$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2z_{\min}^{gp}$	$2z_{\max}^{gp}$
Заготовка	200	300	800	-	25,0	0,62	25,0	25,62	-	-
Розфрезерування чорнове	50	50	84	3400	29,0	0,13	29,0	29,13	3,51	4
Розфрезерування чистове	50	50	56	368	29,88	0,033	29,8	29,833	0,703	0,8
Розфрезерування тонке	20	25	28	312	30,021	0,021	30	30,021	0,188	0,2
Всього:									4,401	5,0

Схему графічного розташування припусків і допусків для внутрішньої циліндричної поверхні $17 \varnothing 30^{+0,021}$ наведено на рисунку 3.7.

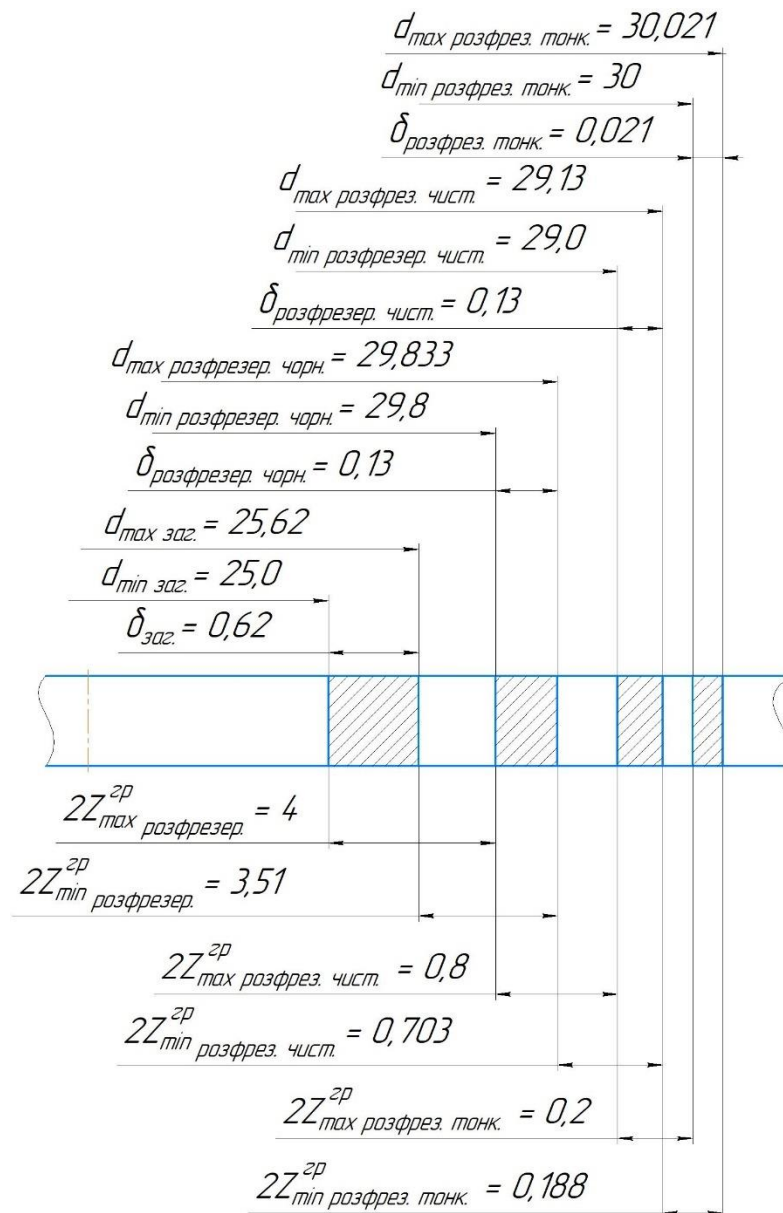


Рис. 3.7 Схема графічного розташування припусків і допусків для внутрішньої циліндричної поверхні $\varnothing 30^{+0,021}$

Припуски на всі інші поверхні, що підлягають механічній обробці деталі кришка передня наведено в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14

Таблиця припусків поверхонь деталі кришка передня

№ поверхні	Найменування поверхні	Припуск	Допуск
1	2	3	4
1, 2	Торцева	2,4; 1,6	0,74
3	Фаска	1	-
4	Зовнішня циліндрична	2,7	0,074

1	2	3	4
5	Канавка	2,7	0,074
6, 7	Площина	2,4	0,4
9	Площина	2,4	0,4
15	Бонка	1	0,14
17	Внутрішня циліндрична	2,5	0,021
18	Фаска	1	-
19	Канавка	4	0,062
20	Канавка	1,65	0,1
21	Внутрішня циліндрична	0,65	0,16
23	Внутрішня циліндрична	6,5	0,18
24	Внутрішня циліндрична	0,5	-
25	Внутрішня конічна	3,35	0,3
26	Внутрішня циліндрична	3,15	-
27	Різьбова	0,805	-
28	Внутрішня циліндрична	3,75	0,1
29	Внутрішня конічна	3,75	0,1
30	Внутрішня циліндрична	5	0,36
31	Внутрішня циліндрична	1	0,5
32	Фаска	1	-
33	Внутрішня циліндрична	7	-
34	Різьбова	1,5	-
35	Внутрішня циліндрична	5	0,36
36	Внутрішня циліндрична	1	0,43
37	Внутрішня конічна	1,05	0,13
38	Внутрішня конічна	4,5	0,13
39	Внутрішня циліндрична	4,5	0,52
40	Внутрішня різьбова	1,5	-
41	Фаска	1,5	-
42	Внутрішня циліндрична	4,5	0,36
43	Внутрішня циліндрична	1,3	0,15
44	Різьбова	0,85	-
45	Фаска	1	-
46	Внутрішня циліндрична	5	0,36
47	Внутрішня циліндрична	4,5	0,36
48	Внутрішня циліндрична	1,25	0,43
49	Різьба	0,85	-
50	Фаска	1	-

Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання є одним із найважливіших етапів під час розроблення технологічного процесу виготовлення деталі. Від правильності визначення швидкості різання, подачі та глибини залежить не лише продуктивність обробки, а й якість поверхні, точність розмірів та довговічність інструменту. Оптимальні режими дозволяють зменшити зношування різця, запобігти перегріванню заготовки та скоротити час виготовлення. Натомість неправильний вибір параметрів може призвести до браку, поломки інструменту або перевитрати матеріалу. Розрахунок режимів різання базується на властивостях оброблюваного матеріалу, типі верстата, конструкції інструменту та вимогах до готової деталі. Раціональний підхід до цього етапу забезпечує економічну ефективність виробництва, стабільну якість продукції та безпечні умови праці. Таким чином, розрахунок режимів різання є невід'ємною складовою технологічного процесу.

Результати розрахунків режимів різання на операції механічної обробки представлено в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15

Режими різання на операціях механічної обробки деталі кришка передня

Номер		t, мм	S, мм/об S, мм/зуб	V, м/хв	n, об/хв	t _о , хв
операції	переходу					
1	2	3	4	5	6	7
005	2	1	0,2	600	1900	31,4
	3	1,6	0,15	600	1900	
	4	6,5	0,25	80	1900	
	5	6,3	0,25	80	1900	
	6	0,15	0,1	30	740	
	7	0,05	0,08	30	735	
	8	0,5	0,15	500	2800	
	9	5	0,18	80	1900	
	10	3,75	0,15	90	1500	
	11	1,55	0,15	80	1900	
	12	1,65	0,15	90	1500	
	13	0,5	0,06	80	1400	
	14	2	0,2	350	3100	
	15	0,65	0,15	90	1500	
	16	1,65	0,08	350	2900	
	17	0,4	0,15	350	3000	

Продовження таблиці 3.15

1	2	3	4	5	6	7
	18	0,2	0,08	350	2900	
	19	4	0,08	350	2900	
	21	7	0,15	350	3000	
	22	1	0,15	90	1500	
	23	0,5	0,06	80	2100	
	25	4,5	0,15	80	1900	
	26	1,2	0,15	90	1500	
	27	1	0,15	90	1500	
	28	0,5	0,06	80	2100	
010	2	2,4	0,15	600	1900	36,5
	3	2,4	0,15	600	1900	
	4	2,55	0,08	350	2900	
	5	1	0,1	100	1700	
	6	1	0,1	100	1700	
	7	5	0,15	80	1900	
	8	5	0,18	80	1900	
	9	1	0,15	350	3000	
	10	1,15	0,15	90	1500	
	11	1,1	0,18	80	1900	
	12	1,5	0,1	100	1700	
	13	0,5	0,06	80	2100	
	15	7	0,15	350	3000	
	16	1	0,1	100	1700	
	17	0,5	0,06	80	2100	
	19	0,5	0,1	350	2900	
	20	4,5	0,2	80	1900	
	21	1,2	0,18	80	1900	
	22	1	0,15	90	1500	
	23	0,5	0,06	80	2100	

Технічне нормування операцій

Технологічний процес механічної обробки деталі центральний блок складається з двох операцій механічної обробки, які виконуються на горизонтально-фрезерних з ЧПУ верстатах з поворотним столом HAAS EC 400.

Технічне нормування часу на операції механічної обробки – це процес встановлення обґрунтованих нормативів часу, необхідного для виконання певної технологічної операції з урахуванням усіх факторів, що впливають на її тривалість. Основна мета нормування часу – забезпечити ефективну організацію виробництва, раціональне використання робочого часу, устаткування й інструменту, а також створити об’єктивну основу для планування, обліку й оплати праці.

При нормуванні часу в механічній обробці враховується низка чинників: складність операції, тип верстата, режими різання, матеріал деталі, стан інструменту, форма та розмір заготовки, рівень механізації, а також кваліфікація робітника. Результатом цього процесу є встановлення норми часу, тобто кількості хвилин або годин, необхідних для виконання однієї операції або виготовлення однієї деталі в нормальних виробничих умовах.

Норма часу складається з кількох елементів:

- основний час (T_o) – безпосередньо час різання;
- допоміжний час (T_d) – витрати на допоміжні дії (зміна інструменту, вимірювання, переміщення деталі);
- підготовчо-заключний час ($T_{пз}$) – витрати на налагодження верстата, отримання інструменту, очищення робочого місця;
- час на обслуговування робочого місця (T_o) і відпочинок (T_v) – додаткові регламентовані перерви.

Результати вибору та розрахунків норм часу представлено в таблиці 3.16.

Таблиця 3.16

Норми часу на обробку деталі кришка передня

Номер операції	t_o , хв.	$T_{мв}$, хв.	t_d , хв.	$t_{обсл}$, хв.		$t_{пер}$, хв.	$t_{шт}$, хв.	$T_{пз}$, хв.	$t_{шт-к}$, хв.
				$t_{т.о.}$	$t_{о.о.}$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
005	31,4	5,2	2,8	4			34,68	32	34,8
010	36,5	6,4	3	4			40,12	32	40,3

3.4. Висновки

Технологічний процес механічної обробки деталі кришка передня складається з двох операцій, що виконуються на фрезерному з ЧПУ верстаті моделі УМС 500. Даний верстат має поворотний стіл, в можливість нахилу, завдяки чому, є можливість обробки різних поверхонь деталі без її перевстановлення. Різьбові поверхні деталі обробляються різьбофрезеруванням.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ РІЗЬБОВОЇ ФРЕЗИ ДЛЯ ОБРОБКИ РІЗЬБОВИХ ПОВЕРХОНЬ КРИШКИ ПЕРЕДНЬОЇ

4.1. Вибір напрямків удосконалення конструкції різьбової фрези

Завдяки аналізу конструкційних особливостей різьбових фрез (розділ 2), що підвищують їх жорсткість та здатні зменшити або усунути конусність різьби виникаючої внаслідок відгинання інструменту, яке обумовлене впливом дії сил різання, визначено, що удосконалення геометрії різьбофрезерного інструменту здатне вирішити поставлені задачі.

Серед відомих конструктивних рішень можна виділити зворотну конусність різальної частини різьбової фрези (рис. 4.1). Тож, вирішено удосконалити різьбову фрезу шляхом внесення до її конструкції зворотного конуса, який забезпечує фрезу та процес такими перевагами та особливостями:

- зменшення опору різання завдяки тому, що кількість зубців, які контактують із заготовкою під час початкового етапу різання, буде відносно зменшена, ніж у звичайних різьбових фрез, коли кілька зубців одночасно торкаються заготовки;
- компенсує прогин інструменту, спричинений силами різання;
- зменшує знос різальних зубів, подовжуючи термін служби інструменту;
- запобігає появі конусності в оброблюваній різьбі.

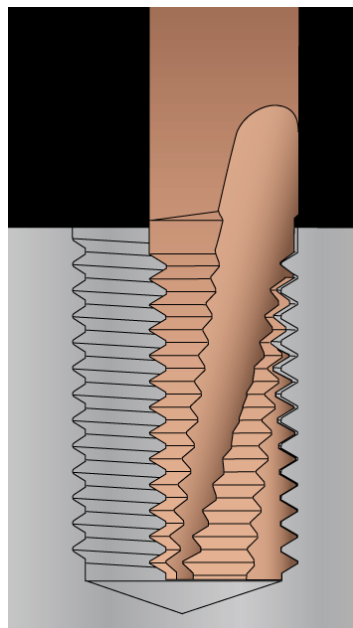


Рис. 4.1 Схема процесу фрезерування різьби інструментом зі зворотним конусом

4.2. Проектування конструкції різьбової фрези

На 13 переході 010 фрезерної з ЧПУ операції, що виконується на фрезерному з ЧПУ верстаті моделі HAAS UMC 500 виконується фрезерування внутрішньої різьби 40 (рис. 3.3) M18x1,5-6H довжиною 11 мм.

Для виконання вищезазначеного переходу потрібно розрахувати та спроектувати різьбову фрезу із визначеними в попередньому пункті особливостями її конструкції.

Матеріалом різьбової фрези обираємо твердий сплав ВК8. Гвинтова інтерполяція інструменту під час обробки забезпечує утворення різьби необхідного діаметру. Отже, діаметр інструменту необхідно обирати на основі таких факторів: для забезпечення вільного виведення стружки діаметр фрези має бути меншим за діаметр попередньо обробленого отвору; можливість побудови траєкторії колової інтерполяції; забезпечення жорсткості інструменту.

Параметри оброблюваної на переході 13 010 операції різьби:

- крок різьби - $P = 1,5$ мм;
- зовнішній діаметр - $D = 18$ мм;
- середній діаметр - $D_2 = 17,25$ мм;
- внутрішній діаметр - $D_1 = 16,5$ мм;
- кут профілю - $\alpha = 60^\circ$;
- кількість заходів різьби - $n = 1$.

Обрано різьбову фрезу M10x1,5. Зовнішній діаметр різальної частини фрези $d_0 = 8,417$ мм.

На рисунку 4.2 зображено параметри оброблюваної різьби, на рисунку 4.3 – схему, для визначення параметрів профілю різьбової фрези.

Визначаємо міжосьову відстань A_0 , що утворюється між осями отвору та фрези:

$$A_0 = R - r_0 \quad (4.1)$$

де R – радіус зовнішнього діаметра різьби, мм;

r_0 – радіус зовнішнього розміру різальної частини фрези, мм.

$$A_0 = 9 - \frac{8,417}{2} = 4,792 \text{ мм}$$

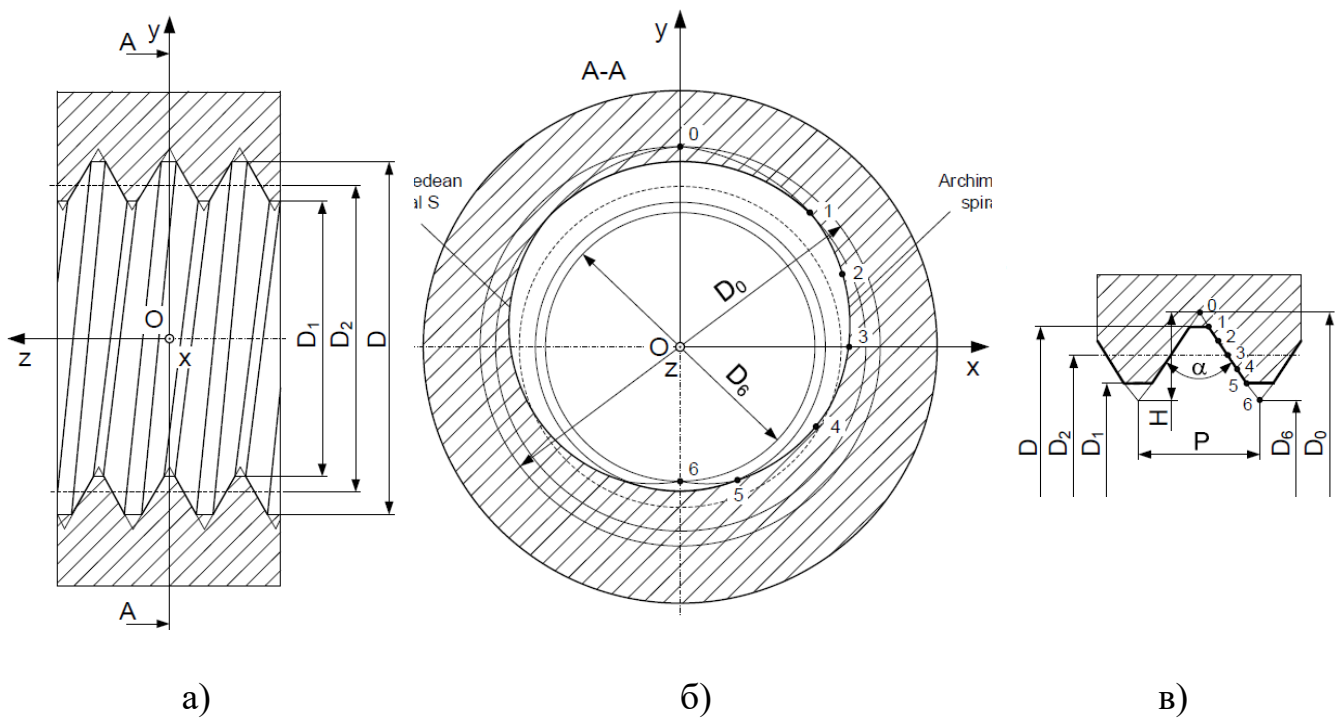


Рис. 4.2 Профіль оброблюваної різьби:

а – поперечний переріз; б – осьовий переріз; в – параметри різьби

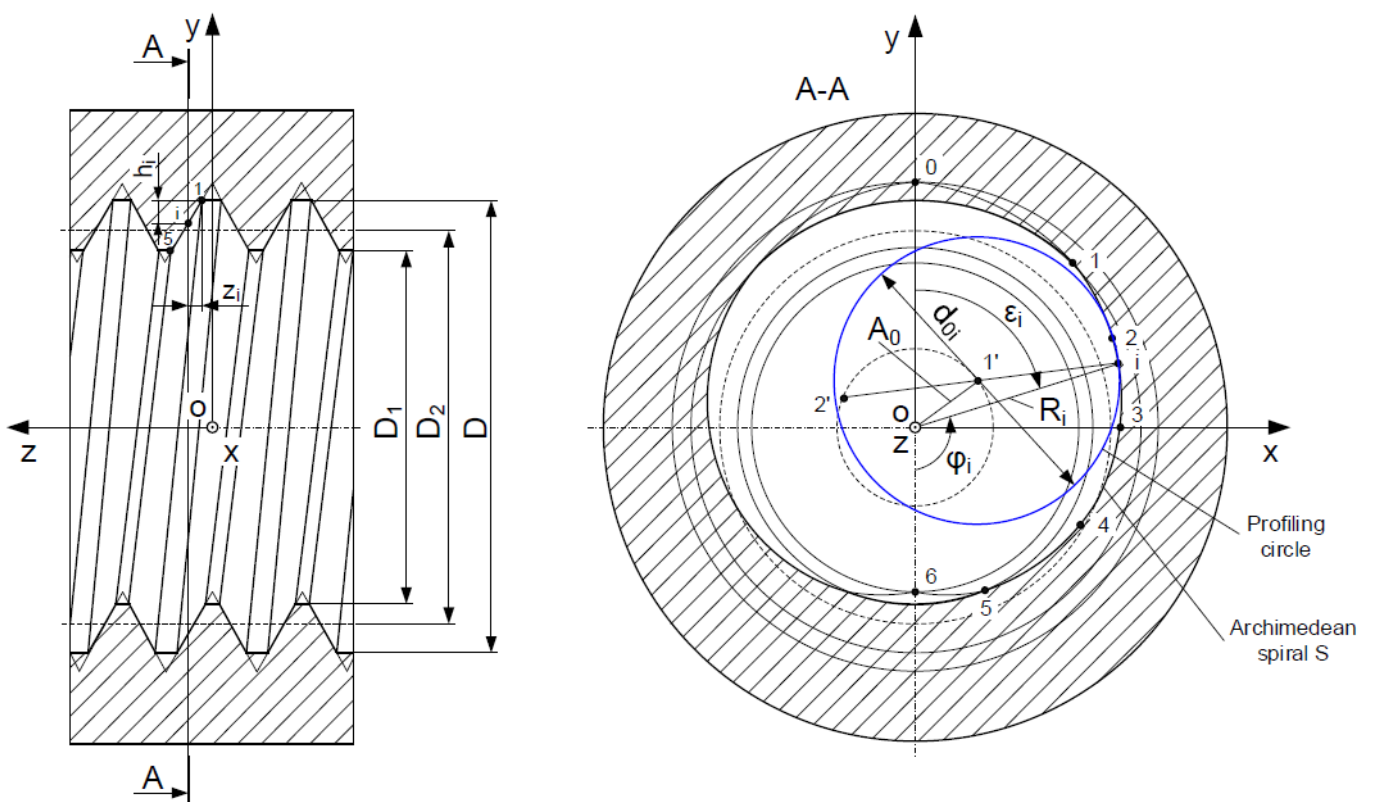


Рис. 4.3 Схема визначення профілю поверхні інструмента при фрезеруванні внутрішньої різьби

Різьба, профіль якої в осьовому перерізі є лінійним, визначається як спіральна поверхня Архімеда. Наприклад, переріз А-А (рис. 4.3), є архімедовою спіраллю з рівнянням у полярних координатах:

$$R_i = a \cdot \varphi_i \quad (4.2)$$

де R_i - радіус-вектор архімедової спіралі, мм;

a – параметр архімедової спіралі, мм/рад;

$$a = \frac{n \cdot P}{2\pi \cdot \tan \frac{\alpha}{2}} \quad (4.3)$$

$$a = \frac{1 \cdot 1,5}{2 \cdot 3,14 \cdot \tan \frac{60}{2}} = 0,41371$$

φ_i – кут повороту спіралі, рад

$$\varphi_i = \frac{R_i}{a} = \frac{D_i/2}{a} \quad (4.4)$$

$$\varphi_i = \frac{18/2}{0,41371} = 21,7544$$

Абсциса точки і:

$$x_i = R_i \cdot \cos \varphi_i \quad (4.5)$$

$$x_i = 9 \cdot \cos 21,7544 = -8,7489$$

Ордината точки і:

$$y_i = R_i \cdot \sin \varphi_i \quad (4.6)$$

$$y_i = 9 \cdot \sin 21,7544 = 2,1109$$

Кутовий коефіцієнт нормалі в точці і:

$$k = -\frac{a \cdot \cos \varphi_i - R_i \cdot \sin \varphi_i}{a \cdot \sin \varphi_i + R_i \cdot \cos \varphi_i} \quad (4.7)$$

$$k = -\frac{0,41371 \cdot \cos 21,7544 - 9 \cdot \sin 21,7544}{0,41371 \cdot \sin 21,7544 + 9 \cdot \cos 21,7544} = -0,29046$$

$$a_1 = 1 + k^2 \quad (4.8)$$

$$a_1 = 1 + (-0,29046)^2 = 1,0844$$

$$b_1 = 2 \cdot k \cdot (y_i - k \cdot x_i) \quad (4.9)$$

$$b_1 = 2 \cdot (-0,29046) \cdot (2,1109 - (-0,29046 \cdot (-8,7489))) = 0,2499$$

$$c_1 = (k \cdot x_i - y_i)^2 - A_0^2 \quad (4.10)$$

$$c_1 = (-0,29046 \cdot -8,7489 - 2,1109)^2 - 4,792^2 = -22,7781$$

Абсциса точки і':

$$x_{1'} = \frac{-b_1 + \sqrt{b_1^2 - 4 \cdot a_1 \cdot c_1}}{2 \cdot a_1} \quad (4.11)$$

$$x_{1'} = \frac{-0,2499 + \sqrt{0,2499^2 - 4 \cdot 1,0844 \cdot -22,7781}}{2 \cdot 1,0844} = 4,4694 \text{ мм}$$

$$x_{2'} = \frac{-b_1 - \sqrt{b_1^2 - 4 \cdot a_1 \cdot c_1}}{2 \cdot a_1} \quad (4.12)$$

$$x_{2'} = \frac{-0,2499 - \sqrt{0,2499^2 - 4 \cdot 1,0844 \cdot -22,7781}}{2 \cdot 1,0844} = -4,6998 \text{ мм}$$

Ордината точки і':

$$y_{1'} = k \cdot (x_{1'} - x_1) + y_i \quad (4.13)$$

$$y_{1'} = -0,29046 \cdot (4,4694 - (-8,7489)) + 2,1109 = -1,7285 \text{ мм}$$

$$y_{2'} = k \cdot (x_{2'} - x_1) + y_i \quad (4.14)$$

$$y_{2'} = -0,29046 \cdot (-4,6998 - (-8,7489)) + 2,1109 = 0,934 \text{ мм}$$

Відстань між точками $l_{1'}$, $l_{2'}$ та точкою «і»:

$$l_{1'} = \sqrt{(x_{1'} - x_i)^2 + (y_{1'} - y_i)^2} \quad (4.15)$$

$$l_{1'} = \sqrt{(4,4694 - (-8,7489))^2 + (-1,7285 - 2,1109)^2} = 5,5799 \text{ мм}$$

$$l_{2'} = \sqrt{(x_{2'} - x_i)^2 + (y_{2'} - y_i)^2} \quad (4.16)$$

$$l_{2'} = \sqrt{(-4,6998 - (-8,7489))^2 + (0,934 - 2,1109)^2} = 4,2166 \text{ мм}$$

Радіус профільованого кола:

$$r_{oi} = \min(l_{1i}, l_{2i}) = l_{2i} = 4,2166 \text{ мм}$$

Деякий параметра спіралі «а» та задані радіус-вектори R_i в різних точках в діапазоні $R_1 \div R_6$ визначають кут повороту спіралі φ_i . Для кожного значення φ_i положення січної площини z_i (рис. 4.4) в системі координат «Охуз» розраховується:

$$z_i = \frac{P}{4} - (R_i - R_2) \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \quad (4.17)$$

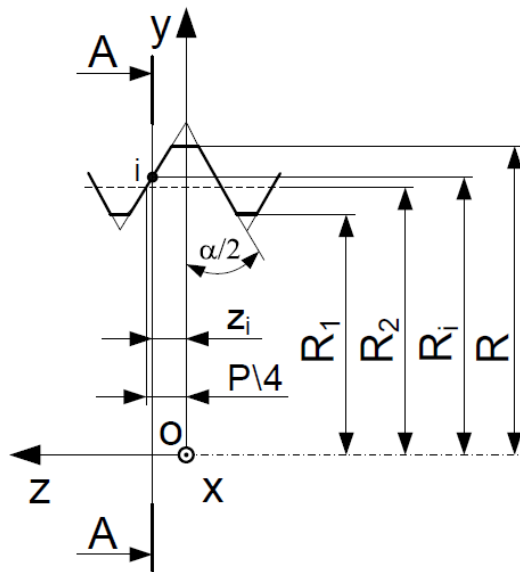


Рис. 4.4 Схема визначення координати z_i поверхні інструменту

$$z_i = \frac{1,5}{4} - (9 - 8,625) \cdot \tan \frac{60}{2} = 0,1585 \text{ мм}$$

Відстань між точкою 1' та точкою і вздовж осі «у» профільованого кола:

$$h_{0i} = r_{oi \max} - r_{oi} \quad (4.18)$$

де r_{oi} - радіус профільованого кола в точках профілю середнього та внутрішнього діаметрів (рис. 4.5)

$$h_{01} = 4,2166 - 4,2166 = 0$$

$$h_{03} = 4,2166 - 3,8406 = 0,376$$

$$h_{05} = 4,2166 - 3,4646 = 0,752$$

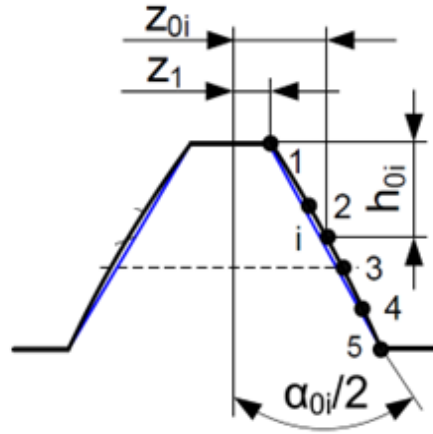


Рис. 4.5 Профіль інструменту

Відстань між точкою 1' та точкою і вздовж осі «z» профільованого кола:

$$z_{0i} = z_i - z_1 \quad (4.19)$$

$$z_{01} = 0,1585 - 0,1585 = 0$$

$$z_{03} = 0,1585 - 0,25 = 0,0915$$

$$z_{05} = 0,1585 - 0,375 = 0,2165$$

Відстань між точкою 1' і точкою і вздовж осі «у» різьби:

$$h_i = R_{i \max} - R_i \quad (4.20)$$

$$h_1 = 9 - 9 = 0$$

$$h_3 = 9 - 8,625 = 0,375 \text{ мм}$$

$$h_5 = 9 - 8,25 = 0,75 \text{ мм}$$

Різниця висоти профілю:

$$\Delta h_{0i} = h_{0i} - h_i \quad (4.21)$$

$$\Delta h_{01} = 0$$

$$\Delta h_{03} = 0,376 - 0,375 = 0,001$$

$$\Delta h_{05} = 0,752 - 0,75 = 0,002$$

Кут профілю інструменту:

$$\alpha_{0i} = 2 \cdot \arctg \left(\frac{z_{0i}}{h_{0i}} \right) \quad (4.22)$$

$$\alpha_{01} = 0$$

$$\alpha_{03} = 2 \cdot \arctg \left(\frac{0,0915}{0,376} \right) = 59,985^\circ$$

$$\alpha_{05} = 2 \cdot \arctg\left(\frac{0,2165}{0,752}\right) = 59,981^\circ$$

Відхилення кута профілю:

$$\Delta\alpha_{0i} = \alpha - \alpha_{0i} \quad (4.23)$$

$$\Delta\alpha_{01} = 60 - 60 = 0$$

$$\Delta\alpha_{03} = 60 - 59,985 = 0,015^\circ$$

$$\Delta\alpha_{05} = 60 - 59,981 = 0,019^\circ$$

На основі виконаного у розділі 2 аналізу, можна зробити висновок, що значення конусності зворотного конуса різальної частини різьбової фрези можна задавати в межах від 0,01/100 до 1,2/100. Значення конусності характеризує зміну величини діаметру на 100 мм довжини:

$$C = \frac{D - d}{100} \quad (4.24)$$

Для проєктування різьбової фрези приймаємо значення конусності рівним 0,4/100 мм.

Довжина робочої частини різьбової фрези складає 8,75 мм. Зовнішній діаметр першої різьбової нитки фрези складає 8,417 мм, а останньої шостої – 8,264 мм. Таким чином, різниця діаметрів між першою та шостою ниткою для спроектованої фрези становить:

$$8,417 - 8,264 = 0,153 \text{ мм}$$

Тобто, конусність 0,4/100 на довжині 8,75 мм складає 0,153 м на діаметрі, або 0,0765 мм на радіусі.

Приймаємо значення кутів:

- передній кут $\alpha = 5^\circ$;

- задній кут $\beta = 6^\circ$;

- кут спіралі $\gamma = 8^\circ$.

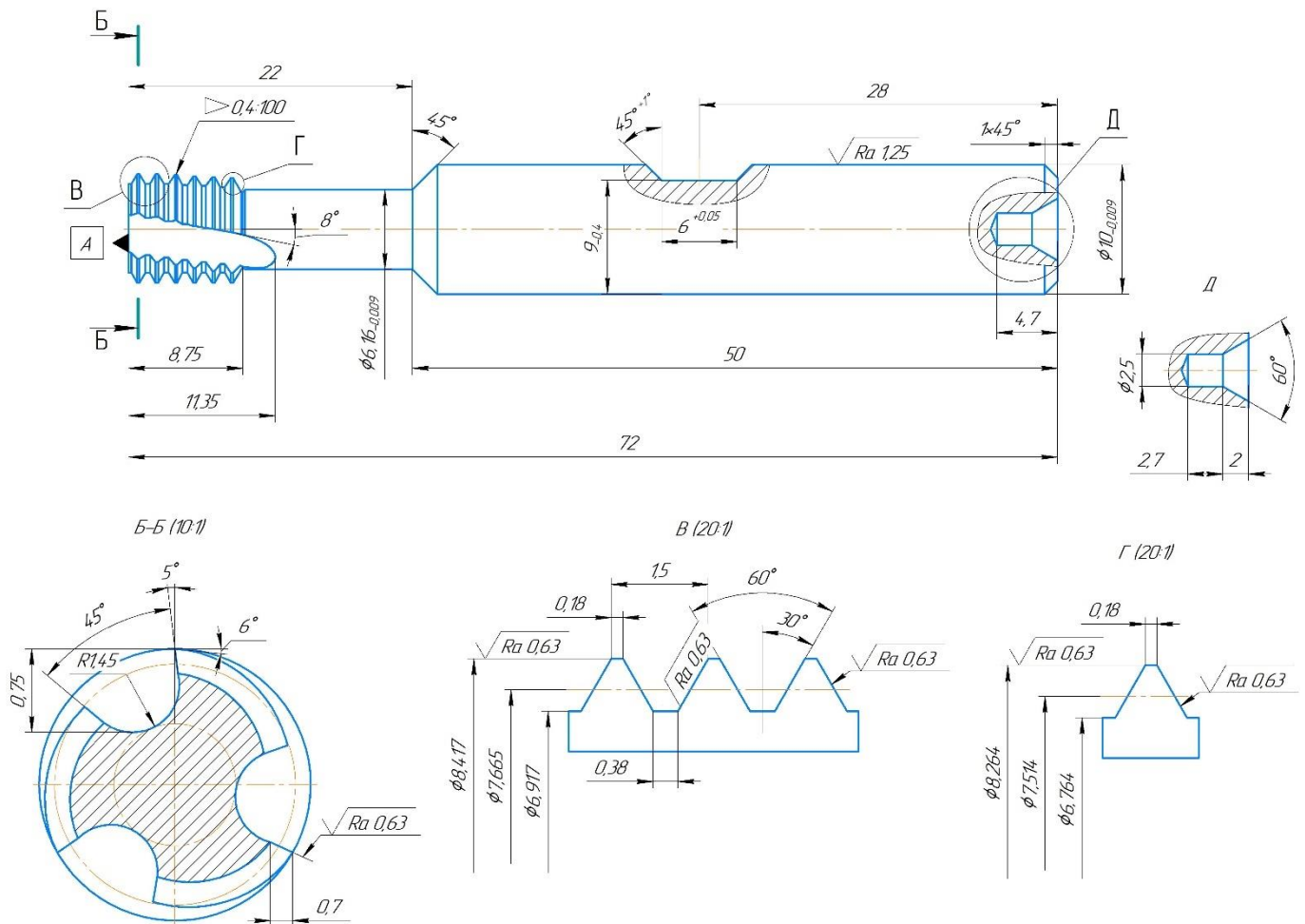


Рис. 4.6. Креслення різьбової фрези

4.3. Висновки

Виконано аналіз конструктивних особливостей різьбових фрез для усунення або зменшення відгинання інструменту спричиненого дією сил різання під час обробки. Запропоновано, розраховано та спроектовано різьбову фрезу для обробки різьби в отворах, що має зворотний конус різальної частини конусність якого складає 0,4/100. Різьбова фреза має три різальних леза розділених гвинтовими стружковими канавками. Кожне лезо має 6 різьбових ниток.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ РІЗЬБОВОЇ ФРЕЗИ

5.1. Загальні вихідні дані

Для вирішення питання про економічну ефективність нової конструкції різьбової фрези в якості бази для порівняння приймаємо спосіб фрезерування різьби в отворі на 5-ти осьовому фрезерному верстаті з ЧПУ.

Розроблена конструкція різьбової фрези відрізняється від стандартної наявністю зворотного конуса на різальній частині.

За рахунок необхідності спеціального заточування інструменту трудомісткість його виготовлення збільшується. Але, завдяки зворотному конусу відбувається більш рівномірне зношування інструменту. Таким чином, іще однією перевагою конструкції проектної різьбової фрези є зростання її стійкості порівняно з базовим інструментом, що вплинуло на зменшення експлуатаційних витрат у споживача.

Розрахунок проведемо для цільної різьбової фрези M10x1,5 Ø8,417 мм, загальною довжиною 72 мм і довжиною робочої частини 8,75 мм. Матеріал різьбової фрези – твердий сплав ВК8, маса – 0,082 кг.

Загальні техніко-економічні показники базового та проектного варіантів зведено до табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Загальні вихідні техніко-економічні показники базового та нового варіантів

№ п/ п	Показник	Одиниця	Варіанти	
			базовий	проект
1.	Програма випуску деталей	шт./рік	7500	7500
2.	Штучний час обробки	хв.	1,7	1,7
3.	Економічна стійкість інструменту	хв.	45	60
4.	Оптова ціна різьбової фрези	грн.	2870,0	-

5.2 Визначення витрат на підготовку виробництва

5.2.1 Витрати на проектування різьбової фрези визначаємо за формулою:

$$B_{пк} = H_{оп} \cdot T_{кон} \cdot Z_{сг}^к \cdot \left(1 + \frac{\kappa_d}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{B_c}{100}\right) + H_{\epsilon}, \quad (5.1)$$

де $H_{оп}$ – кількість найменувань оригінальних деталей, які входять до конструкції інструменту (конструкція є монолітною, тобто $H_{оп}=1$ шт.);

$T_{кон}$ – сумарна кількість годин на розробку усіх видів конструкторської документації, яка в середньому припадає на одне найменування оригінальних деталей, нормо-год.;

$Z_{сг}^к$ – середньогодинна заробітна плата конструктора, грн/год.;

κ_d – додаткова заробітна плата конструктора, %;

B_c – відрахування на соціальні потреби (ЄСВ) від заробітної плати конструкторів, %;

H_{ϵ} – накладні витрати, грн. (визначаються в процентах від основної заробітної плати конструктора).

$$B_{пк} = 1 \cdot 18,9 \cdot 86,632 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22,0}{100}\right) + 1 \cdot 18,9 \cdot 86,632 \cdot \frac{45}{100} = 3104,77 \text{ грн.}$$

5.2.2 Витрати на технологічну підготовку виробництва інструменту:

$$B_m = H_{оп} \cdot T_{тех} \cdot Z_{сг}^м \cdot \left(1 + \frac{\kappa_d}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{B_c}{100}\right) + H_{\epsilon}, \quad (5.2)$$

де $T_{тех}$ – сумарна трудомісткість технологічних робіт, які припадають на одне найменування оригінальних деталей, нормо-год.;

$Z_{сг}^м$ – середньогодинна заробітна плата технолога, грн/год.

$$B_{\tau} = 1 \cdot 21,2 \cdot 83,513 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22,0}{100}\right) + 1 \cdot 21,2 \cdot 83,513 \cdot \frac{55}{100} = 3349,72 \text{ грн.}$$

5.3 Визначення собівартості та оптової ціни інструменту

5.3.1 Після визначення трудомісткості виготовлення проектної різьбової фрези розраховуємо:

а) основну заробітну плату виробничих робітників:

$$З_{\text{ор}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{т}} \cdot T_i, \quad (5.3)$$

де n – кількість i -тих видів робіт;

$C_{\text{т}}$ – середньогодинна тарифна ставка робітників, які виконують i -й вид робіт з урахуванням умов праці, грн.

Так, основна заробітна плата виробничих робітників на механічних роботах:

$$З_{\text{ор}} = 1,8 \cdot 92,935 = 167,28 \text{ грн.}$$

б) витрати на утримання та експлуатацію обладнання:

$$B_{\text{o}} = \sum_{i=1}^n З_{\text{ор}_i} \cdot \frac{\Pi_{\text{пр}_i}}{100}, \quad (5.4)$$

де $\Pi_{\text{пр}_i}$ – процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання по кожному i -му виду робіт за заводською калькуляцією.

в) цехові витрати:

$$B_{\text{цех}} = \sum_{i=1}^n З_{\text{ор}_i} \cdot \frac{\Pi_{\text{цр}_i}}{100}, \quad (5.5)$$

де $\Pi_{\text{цр}}$ – процент цехових витрат по кожному i -му виду робіт за заводською калькуляцією.

Для механічних робіт:

$$B_{\text{o}} = 167,28 \cdot \frac{320}{100} = 535,31 \text{ грн.};$$

$$B_{\text{цех}} = 167,28 \cdot \frac{240}{100} = 401,48 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконуємо розрахунки даних статей на інших роботах, результати заносимо до табл. 5.2.

Трудомісткість виготовлення та окремі види витрат на виготовлення різьбової фрези

Види робіт	Трудомісткість робіт н-год	Середній розряд	Середньогодинна тарифна ставка робітників, грн/год	Основна заробітна плата робітників $З_{ор}$, грн.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання, B_o , грн.		Загально- цехові витрати $K_{цех}$, грн.	
					%	грн.	%	грн.
Механічні	1,8	4	92,935	167,28	320	535,31	240	401,48
Термічні	0,7	3	103,744	72,62	385	279,59	282	204,79
Всього	2,5	-	-	239,90	-	814,90	-	606,27

Повну собівартість різьбової фрези розраховуємо за статтями витрат за допомогою отриманих на підприємстві кошторисних та звітних калькуляцій базових конструкцій за формулою:

$$C_{пов} = M_o + M_d + E_{тех} + T_p + П_{тех} + З_{ор} + З_{др} + B_c + З_{цп} + B_o + B_{цех} + B_{зав} + B_{ін} + B_{пв}, \quad (5.8)$$

де M_o – витрати на основні матеріали, грн. Розраховуємо за формулою:

$$B_{mo} = B_{чор} \cdot Ц_m - B_{відх} \cdot Ц_{відх}, \quad (5.6)$$

де $B_{чор}$ – чорнова маса деталі, кг;

$Ц_m, Ц_{відх}$ – відповідно ціна матеріалу (сталь ВК8) та відходів, грн./кг;

$$B_{mo} = 0,082 \cdot 2250,0 - (0,082 - 0,041) \cdot 950,0 = 145,55 \text{ грн.}$$

M_d – витрати на допоміжні матеріали, грн.;

T_p – транспортно-заготівельні витрати, грн.;

$E_{тех}, П_{тех}$ – енергія та паливо на технологічні цілі, грн.;

$З_{др}$ – допоміжна заробітна плата виробничих робітників, грн.;

B_c – єдиний соціальний внесок, грн.;

$З_{цп}$ – відшкодування зносу інструменту та пристосувань цільового призначення та інші спеціальні витрати, грн.;

$K_{зав}$ – загальнозаводські витрати, грн.;

$B_{ін}$ – інші виробничі витрати, грн.;

$K_{пв}$ – позавиробничі витрати, грн.

Розрахунок собівартості інструменту зводимо до табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Повна собівартість та оптова ціна різьбової фрези

№ з/п	Стаття калькуляції	Коротке позначення	Метод розрахунку, джерело інформації	Результат, сума, грн.
1.	Матеріали основні	M_o		145,55
2.	Матеріали допоміжні	M_d	6,0% від M_o	8,73
3.	Транспортно-заготівельні витрати	T_b	5% від $(M_o + M_d)$	7,71
3.	Паливо та енергія на технологічні цілі	P_{tex}, E_{tex}	75,8% від $З_{op}$	181,84
5.	Всього матеріальні витрати			343,83
6.	Основна заробітна плата виробничих робітників	$З_{op}$	табл. 5.2	239,90
7.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	$З_{др}$	10% від $З_{op}$	23,99
8.	Відрахування в фонд соціального страхування	B_{cc}	22% від $(З_{op} + З_{др})$	58,05
9.	Відшкодування зносу інструменту та пристосувань цільового призначення	$З_{уп}$	8,4% від $З_{op}$	20,15
10.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	B_o	табл. 5.2	814,90
11.	Цехові витрати	$K_{цех}$	табл. 5.2	606,27
12.	Загальнозаводські витрати	$K_{зав}$	180% від $З_{op}$	431,82
13.	Інші виробничі витрати	$B_{ін}$	1,4% від $З_{op}$	3,36
14.	Виробнича собівартість	$C_{вир}$	$\Sigma(7 \div 15)$	2542,27
15.	Позавиробничі витрати	$K_{пв}$	1,8% від $C_{вир}$	45,76
16.	Повна собівартість	$C_{нов}$	$C_{вир} + K_{пв}$	2588,03
17.	Прибуток	Π_n	20% від $C_{нов}$	517,61
18.	Оптова ціна підприємства	Π	$C_{нов} + \Pi_n$	3106,00

5.3.2 Оптову ціну інструменту розраховуємо за формулою:

$$\Pi_{opt} = C_{нов} + \Pi_n, \quad (5.7)$$

де Π_n – нормативний прибуток, грн.

$$\Pi_n = \frac{P_c \cdot C_{нов}}{100}, \quad (5.8)$$

P_c – встановлений рівень рентабельності виробу, %.

$$\Pi_{\text{н}} = \frac{20 \cdot 2588,03}{100} = 517,61 \text{ грн.}$$

$$\Pi_{\text{онт}} = 2588,03 + 517,61 = 3106,0 \text{ грн.}$$

5.4 Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки)

Оскільки штучний час обробки отвору у порівнюваних варіантах співпадає, розрахунок експлуатаційних витрат виконуємо для статті «Витрати на експлуатацію ріжучого інструменту» за формулою:

$$B_{ip} = \frac{(S_u + p \cdot S_{\text{пер}}) \cdot \gamma \cdot T_{\text{нор}}}{t_e (p + 1)} K_{\text{ет}}, \quad (5.9)$$

де S_u – первісна вартість ріжучого інструменту, грн.;

p – кількість переточувань ріжучого інструменту до повного зносу по лімітуючому розміру ріжучої грані;

$S_{\text{пер}}$ – вартість однієї переточувань, грн.;

γ – питома значення машинного часу роботи обладнання в загальному варіанті його роботи;

t_e – економічна стійкість інструменту, хв.;

$K_{\text{ет}}$ – коефіцієнт обліку втрат інструменту.

$$B_{ip}^{\delta} = \frac{(2870,0 + 60 \cdot 21,8) \cdot 0,6 \cdot 1,7}{45 \cdot (60 + 1)} \cdot 1,25 = 1,9406 \text{ грн.};$$

$$B_{ip}^{np} = \frac{(3106,0 + 60 \cdot 22,5) \cdot 0,6 \cdot 1,7}{60 \cdot (60 + 1)} \cdot 1,25 = 1,5523 \text{ грн.}$$

5.5 Розрахунок показників економічної ефективності

5.5.1 Річний економічний ефект, який отримує виробник різьбової фрези удосконаленої конструкції розраховуємо за формулою:

$$E_{pe} = (\Pi_{\text{онт.нр}} - C_{\text{нов.нр}}) \cdot \Pi_{\text{е}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{е}}, \quad (5.10)$$

де $\Pi_{\text{онт.нр}}$, $C_{\text{нов.нр}}$ – відповідно оптова ціна та повна собівартість проектного інструменту, грн.;

P_g – програма виробництва інструменту, шт./рік;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

K_g – додаткові капітальні витрати у виробника, грн.

$$K_g = B_{нк} + B_m = 3104,77 + 3349,72 = 6454,49 \text{ грн.}, \quad (5.11)$$

де $B_{нк}$, B_m – відповідно, вартість конструкторської та технологічної підготовки виробництва, грн.

$$E_{pv} = (3106,0 - 2588,0) \cdot 50 - 0,16 \cdot 7593,52 = 24870 \text{ грн.}$$

5.5.2 Річний економічний ефект, який отримує підприємство-споживач, розрахуємо за формулою:

$$E_{p.cn} = (B_e^{\bar{}} - B_e^{np}) \cdot N_{\bar{o}} - E_n \cdot K_{cn}, \quad (5.12)$$

де K_{cn} – додаткові капітальні витрати у споживача, грн.

$$K_{cn} = U_{in}^{np} \cdot K_{in}^{np} - U_{in}^{баз} \cdot K_{in}^{баз}, \quad (5.13)$$

де U_{in}^{np} , $U_{in}^{баз}$ – вартість інструменту відповідно в проектному та базовому варіантах, грн;

K_{in}^{np} , $K_{in}^{баз}$ – потреба в інструменті відповідно в проектному та базовому варіантах.

Розрахуємо річну потребу в інструменті за формулою:

$$K_i = \frac{N_{\bar{o}} \cdot T_{нор} \cdot \gamma \cdot \kappa_{вт}}{t_e \cdot (1 + p)}, \quad (5.14)$$

Потреба у базовому інструменті:

$$K_{in}^{баз} = \frac{7500 \cdot 1,7 \cdot 0,6 \cdot 1,25}{45 \cdot (60 + 1)} = 4 \text{ шт.}$$

Потреба у різбових фрезах в проектному варіанті:

$$K_{in}^{np} = \frac{7500 \cdot 1,7 \cdot 0,6 \cdot 1,25}{60 \cdot (60 + 1)} = 3 \text{ шт.}$$

$$K_{cn} = 3106 \cdot 3 - 2870 \cdot 4 = -2162 \text{ грн.}$$

$$E_{p.cn} = (1,9406 - 1,5523) \cdot 7500 - 0,16 \cdot (-2162) = 3300 \text{ грн.}$$

5.5.3 Строк окупності додаткових капітальних вкладень у виробника різьбової фрези:

$$T_{\text{ок.в}} = \frac{K_{\text{в}}}{(\Pi_{\text{опт.пр}} - C_{\text{пов.пр}}) \cdot \Pi_{\text{в}}} = \frac{6454,49}{(3106,0 - 2588,0) \cdot 50} = 0,25 \text{ року} = 3 \text{ міс.} \quad (5.15)$$

У підсумку складаємо зведену таблицю техніко-економічних показників проекту (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Підсумкові техніко-економічні показники базового та проектного варіантів

№ п/п	Показники	Одини ця	Базовий варіант	Проект	Зміна, % (+,-)
1.	Потреба в інструменті:	шт./рік	4	3	-25,0
2.	Програма виробництва деталей	шт./рік	7500	7500	—
3.	Штучний час обробки деталі	хв.	1,7	1,7	—
4.	Повна собівартість різьбової фрези	грн	—	2588,0	—
5.	Оптова ціна різьбової фрези	грн	2870	3106	+8,2
6.	Витрати на експлуатацію ріжучого інструменту	грн.	1,941	1,552	-20,0
9.	Капітальні витрати на підготовку виробництва	грн.	—	6454,5	—
10.	Річний економічний ефект:				
	- у виробника	грн.	—	24870	—
	- у споживача	грн.	—	3300	—
11	Строк окупності додаткових капітальних витрат у виробника	міс.	—	3	—

5.6. Висновки

З проведених розрахунків видно, що річний економічний ефект удосконаленої конструкції різьбової фрези склав: для виробника 24870 грн, для споживача 3300 грн. Термін окупності додаткових капітальних вкладень складає 3 місяці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі на тему: «Розробка технології виготовлення кришки передньої з дослідженням обробки внутрішніх різьбових поверхонь» виконано аналіз методів обробки внутрішніх різьбових поверхонь та особливо зосереджено увагу на фрезеруванні різьби. Під час різьбофрезерування виникає негативне явище відгинання інструменту від осі оброблюваного отвору, що обумовлено силами різання, яке спричинює конусність обробленої різьби.

В роботі виконано аналіз способів підвищення жорсткості різьбових фрез для запобігання або зменшення їх відгинання під час обробки. Виконано пошук конструкторських рішень щодо удосконалення геометрії різьбофрезерного інструменту з метою підвищення його жорсткості.

Виконано розробку технології обробки кришки передньої в якій обрано металорізальне обладнання, різальні та вимірювальні інструменти та пристрої, виконано всі необхідні розрахунки.

Визначено конструктивні особливості різьбофрезерного інструменту, що підвищать його жорсткість та будуть здатні зменшити або усунути конусність різьби виникаючої внаслідок відгинання інструменту під час фрезерування.

Запропоновано, розраховано та спроектовано різьбову фрезу для обробки різьби в отворах, що має зворотний конус різальної частини конусність якого складає 0,4/100. Дана конструкція фрези має більшу жорсткість у порівнянні зі стандартною.

В роботі виконано необхідні економічні розрахунки.

Всі прийняті технічні рішення підтверджено відповідними розрахунками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Huang Ch.-Y. Tool deflection investigation and deflection compensation of drill thread milling / Ch.-Y. Huang, Z. Dzulfikri, J.-T. Lin // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2024.
2. Thread milling tool. Richard D. Kienzle. United States Patent Application Publication. US 2003/0231934 A1, 2003. – 7 p.
3. Thread processing milling cutter. Sun Zhenmei, Zhou Lei. Patent of China. CN203018865U, 2013. – 7 p.
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.
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.
6. Araujo A. C. Investigation of tool deflection during milling of thread in Cr-Co dental implant / A. C. Araujo, G. Fromentin // International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018. – Vol. 99. – P. 531-541.
7. Stankov N. Analytical and Graphical Profiling of Thread-Milling Cutters for forming Internal Threads / N. Stankov, A. Ivanov // Appl. Sci. – 2025. – Vol. 15. – 33 p.
8. 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.
9. Matsui Sh. Investigation of Internal Thread Cutting Phenomena in Three Axes by Controlling Helical Interpolate Motion Considering Tool Position Information from Servo-Drive / Sh. Matsui N. Ozaki, T. Hirogaki, E. Aoyama, T. Yamamoto // International journal of Automation Technology. – Fuji Technology Press Ltd, 2020. – Vol. 14. – No.3. – P. 467-474.
10. Jun M. B.G. Modeling and analysis of the thread milling operation in the combined drilling/thread milling process / M. B.G. Jun, A. C. Araujo // Thread milling

- process. 2008 International Manufacturing Science and Engineering Conference MSEC2008. – Evanston, Illinois, United States: 2008. hal-03212836.
- 11.Dzulfikri Z. Experimental investigation of novel internal thread fabrication: A drill thread milling / Z. Dzulfikri, Ch.-Y. Huang, J.-T. Lin, Y.-J. Chien // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2023. – Vol. 44. – P. 126–137.
 - 12.Sharma V. S. Investigation of tool geometry effect and penetration strategies on cutting forces during thread milling / V. S. Sharma, G. Fromentin, G. Poulachon, R. Brendlen // International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014. – Vol. 74. - P. 913-924.
 - 13.Araujo A. C. Analytical and experimental investigations on thread milling forces in Titanium Alloy / A. C. Araujo, G. Fromentin. G. Poulachon // International Journal of Machine Tools and Manufacture. University of Nottingham, Nottingham, United Kingdom, 2013. – Vol. 67. – P. 28-34.
 - 14.Araujo A. C. Force Prediction in Thread Milling / A. C. Araujo, J. L. Silveira, S. Kapoor // Force Prediction in Thread Milling. – Vol. XXVI. – No. 1. 2004. – P. 82-88.
 - 15.Denkena B. Tool deflection compensation by drive signal-based force reconstruction and process control / B. Denkena, B. Bergmann, D. Stoppel // Procedia 54th CIRP Conference on Manufacturing Systems. – Vol. 104. – 2021. - P. 571–575.
 - 16.Fromentin, G., Poulachon, G. Geometrical analysis of thread milling—part 1: evaluation of tool angles. *Int J Adv Manuf Technol* 49, 73–80 (2010).
 - 17.Fromentin, G., Poulachon, G. Modeling of interferences during thread milling operation. *Int J Adv Manuf Technol* 49, 41–51 (2010).
 - 18.Leea S. W. Simulation-aided Design of Thread Milling Cutter / S. W. Leea, A. Nestlera // Procedia 5th CIRP Conference on High Performance Cutting. – 2012. – Vol. 1. – P. 120-125.
 - 19.Fan, Y., Ren, J., Hu, Z. et al. Machining error model for full machining process of thread milling. *Int J Adv Manuf Technol* 123, 511–526 (2022).
 - 20.Jia, J., Song, W., Huang, M. *et al.* Error control method using crossed axes strategy in the five-axis thread milling process. *Sci Rep* 15, 11165 (2025).

- 21.Dzulfikri, Z., Huang, CY. Analysis of tool wear mechanism and wear effect of drill thread mill machining. *Int J Adv Manuf Technol* 135, 5615–5629 (2024).
- 22.DOGRUSADIK, A. Effect of cutting conditions and thread mill diameter on cutting temperature in internal thread milling of Al7075-T6. *Sādhana* 47, 157 (2022).
- 23.Huang, CY., Dzulfikri, Z. & Lin, JT. Tool deflection investigation and deflection compensation of drill thread milling. *Int J Adv Manuf Technol* 135, 4803–4822 (2024).
- 24.Omirou, S., Charalambides, M. & Chasos, C. Advanced CNC thread milling: a comprehensive canned cycle for efficient cutting of threads with fixed or variable pitch and radius. *Int J Adv Manuf Technol* 133, 2219–2233 (2024).
- 25.Yeh S.-S. Development of Pitch Cycle-Based Iterative Learning Contour Control for Thread Milling Operations in CNC Machine Tools / S.-S. Yeh, W.-J. Jiang// *Appl. Sci.* 2023, 13(11).
- 26.Ropyak L. Ya. Study on grinding mode effect on external conical thread quality / L. Ya. Ropyak, V. S. Vytvytskyi, A. S. Velychkovych, T. O. Pryhorovska, M. V. Shovkoplias // 11th International Conference on Advanced Manufacturing Technologies (ICAMaT 2020). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, (29th-30th October 2020, Bucharest, Romania). – 2020. – Volume 1018.
- 27.Maciel, D.T., Filho, S.L.M.R., Lauro, C.H. et al. Characteristics of machined and formed external threads in titanium alloy. *Int J Adv Manuf Technol* 79, 779–792 (2015).
- 28.Prospects for development of education and science: Collection of scientific articles. - Academic Publishing House of the Agricultural University Plovdiv, Bulgaria, 2016.- 372 p.
- 29.T, Wada Tool wear of aluminum/chromium/tungsten/silicon-based-coated solid carbide thread milling cutters in thread tapping of chromium-molybdenum steel, 7th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE) (18-20 July 2016), - London, UK, 2016,

30. Matsu S. i Influence of Pilot Hole and Work Material Hardness on Thread Milling with a Wireless Holder System / S. Matsui, N. Ozaki, T. Hirogaki, E. Aoyama, R. Matsuda // International Journal of Automation Technology. – 2024. – Vol. 35. – Issue 18. – P. 472-482.
31. DING H. APPLICATION AND ANALYSIS OF THREAD MILLING IN NC MACHININ / H. Ding, F. Gu, J. Yang // Application and Analysis of Thread Milling in NC Machining School of Mechanical Engineering Nantong Vocational University Nantong. – 3 p.
32. Rysavaa Z. Micro-drilling and threading of the Ti6Al4V titanium alloy produced through Additive Manufacturing / Z. Rysavaa, S. Bruschia, S. Carmignatob, F. Medeossia, E. Savioa, F. Zaninia // Procedia 7th HPC 2016 – CIRP Conference on High Performance Cutting. – 2016. – Vol. 46. – P. 583–586.
33. Ghogha H. Experimental investigation of the infeed method and machining parameters on the tool wear during thread milling / H. Ghogha, S. A. Mosavi, M. Farahnakian // Amirkabir journal of mechanical engineering. - 2021. – Vol. 53. – Issue 2. – P. 1345-1356.
34. Bu Q. Vibration Experiment and Analysis of Large Diameter Internal Thread in Milling / Q. Bu, Ch. Jin, D. Pang // School of Mechanical Engineering, Shenyang Ligong University. – Shenyang Liaoning Received: 2020. – P. 263-268.