

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

ІН Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра конструювання машин

До захисту допущено:

Завідувач кафедрою

_____ **Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО**

« ____ » _____ 2023 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Інструментальні системи
інженерного дизайну»**

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

**на тему: «Фреза черв'ячна для оброблення валу з прямобічними
шліцями»**

Виконав:

студент IV курсу, групи МІ – 91

Любарчук Денис Русланович

Керівник:

Доц., к.т.н.

Бесарабець Юрій Йосипович

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2023

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Інститут (факультет) Механіко-машинобудівний
Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Напрямок підготовки Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО**

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Любарчукові Денисові Руслановичу

1. Тема проєкту: Фреза черв'ячна для оброблення шліцьового валу з прямобічними шліцями,
керівник проєкту: Бесарабець Юрій Йосипович,
затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту: 30.05.2023
3. Вихідні дані до проєкту: Оброблюваний матеріал Сталь 40Х, параметри оброблюваного валу $D - 8 \times 42 \times 48g6 \times 8f7$.
4. Зміст пояснювальної записки: Аналіз шліцьових з'єднань, засобів виготовлення шліців на валу та конструкції фрези; Розрахунок та конструювання черв'ячної фрези; Технологія виготовлення черв'ячної фрези;

Конструювання технологічного пристосування; Розрахунок припусків на оброблення для технологічних операцій виготовлення фрези.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): 1. Аналіз методів утворення шліців на валу. 2. Кресленик фрези. 3. Графічне профілювання фрези. 4. Технологічні операції виготовлення фрези. 5. Технологічне пристосування. 6. Розташування припусків та міжперехідних розмірів.

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд конструкції інструмента	01.03.2023	
2	Профілювання фрези	18.03.2023	
3	Конструювання фрези	01.04.2023	
4	Розробка технології виготовлення	15.04.2023	
5	Розрахунок припусків та міжперехідних розмірів	02.05.2023	
6	Конструювання технологічного пристосування	04.05.2023	

Студент _____

Денис ЛЮБАРЧУК

Керівник проєкту _____

Юрій БЕСАРАБЕЦЬ

ЗАТВЕРДЖУЮ

_____ Юрій ДАНИЛЬЧЕНКО

« ____ » _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ ДО ПРОЕКТУ	
Тема проекту	Черв'ячна фреза для оброблення шліцьового валу з прямобічними шліцями
Зміст проекту	Розробити черв'ячну фрезу для створення валу з прямобічними шліцями, навести методику розрахунку черв'ячної фрези.
Технічні вимоги	1. Матеріал заготовки – сталь 45 2. Різальна частина свердла – сталь інструментальна марки Р6М5 3. Параметри оброблюваного валу $D - 8 \times 42 \times 48g6 \times 8f7$ 4. Конструкція фрези – цільна 5. Стружкові канавки фрези – гвинтові
Особливі вимоги	Методика розрахунку параметрів черв'ячної фрези для оброблення валу з прямобічними шліцями

ЛИСТ	ЗМІСТ ІЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРІАЛУ
СП	Аналіз способів утворення валів з шліцями різними методами та порівняння цих методів
ОП	Профілювання фрези Робочий кресленик черв'ячної фрези
ТС	1. Ескіз технологічних операцій: - Токарне оброблення - Протягування посадкового отвору - Затилування зубів - Шліфування посадкового отвору 2. Графічне профілювання фрези
КС	1. Кресленик пристосування для фіксації фрези під час операції шліфування посадкового отвору 2. Розташування припусків та міжперехідних розмірів
СС	Розташування та вид стружкороздільних канавок
ДС	
Студент Денис ЛЮБАРЧУК « ____ » _____ 2023 р.	
Керівник Юрій БЕСАРАБЕЦЬ « ____ » _____ 2023 р	

СП – стан питання

ОП – об'єкт проектування

ТС – технологічна складова

КС – конструкторська складова

СС – спеціальна складова

ДС – дослідницька складова

АНОТАЦІЯ

Об'єктом дослідження та проєктування при виконанні дипломного проєкту є черв'ячна фреза для утворення валу з прямобічними шліцями з параметрами профілю $D - 8 \times 42 \times 48g6 \times 8f7$. Мета проєкту полягала в розробці різального інструмента, який би забезпечив необхідні параметри оброблюваного валу з необхідною точністю оброблення на основі аналізу та модернізації існуючих конструкцій черв'ячних фрез, розробка технологічного процесу виготовлення фрези, розрахунки всіх потрібних значень та параметрів оброблення фрези. До дипломного проєкту входить аналіз створення шліців на валу, розрахунок та конструювання черв'ячної фрези, розроблення технології виготовлення черв'ячної фрези, аналіз та модернізація технологічного пристосування.

Ключові слова – фреза, черв'ячна фреза, шліцьовий вал, інструмент, інструмент для обробки шліцьового валу, профілювання черв'ячної фрези, ділення стружки, стружкороздільні канавки, модернізація черв'ячної фрези.

Мова – uk

Автор: ст. гр. МІ-91 ЛЮБАРЧУК Д.Р., під керівництвом доц. к.т.н. БЕСАРАБЕЦЬ Ю.Й.

ANNOTATION

The object of research and design during the completion of the diploma project is a worm cutter for the formation of a shaft with rectangular slots with profile parameters $D-8 \times 42 \times 48g6 \times 8f7$. The goal of the project was to develop a cutting tool that would provide the necessary parameters of the processed shaft with the necessary processing accuracy based on the analysis and modernization of existing designs of worm cutters, development of the technological process of the cutter, calculations of all the necessary values and parameters of the cutter. The diploma project includes the analysis of the creation of slots on the shaft, the calculation and design of the worm cutter, the development of the technology for the manufacture of the worm cutter, the analysis and modernization of the technological devices.

Keywords – cutter, worm cutter, slotted cutter, tool for processing of slotted shaft, restoration of worm cutter, grooves for chip separation, modernization of the worm cutter.

Language – en

Author: st. gr. MI-91, LIUBARCHUK D.R., doc., c.t.s. BESSARABEC J.J.

ЗМІСТ

1. Аналіз об'єкта проектування	11
1.1 Аналіз шліцьових з'єднань.....	11
1.2 Вихідні дані до аналізу	12
1.3 Аналіз засобів виготовлення шліцьових валів	13
1.3 Аналіз конструкції черв'ячної фрези	21
2. Профілювання черв'ячної фрези	33
2.1. Характеристики обраного валу.....	33
2.2. Розрахункові параметри валу	33
2.3. Розрахунок профіля фрези	34
2.3.1 Аналітичний метод	34
2.3.2 Графічний метод	39
2.3.3 Порівняння отриманих даних	43
2.4. Розрахунок конструктивних параметрів фрези	44
3. Технологія виготовлення.....	52
3.1 Вибір матеріалу	52
3.2 Підготовка заготовки	53
3.3 Токарне оброблення заготовки.....	54
3.4 Шліфування торців заготовки.....	55
3.5 Фрезерні операції	55
3.6 Заточування поверхонь зубів перед затилюванням.....	57
3.7 Затилювання	57
3.8 Гартування і відпуск	60
3.7 Операції шліфування	61
3.8 Заточування фрези	63
3.8 Маркування.....	65
3.9 Маршрутно – операційний процес виготовлення.....	65
3.9 Розрахунок припусків	68
3.9.1 Зовнішня поверхня заготовки.....	68
3.9.2 Посадковий отвір	72
4 Розробка пристосування для шліфування отвору.....	76
4.1 Проектування оснащення	76
4.2 Розрахунок потужності та сил різання	83

ВСТУП

Дипломний проєкт належить до галузі машинобудування, а саме до інструментального виробництва. Виробництво різального інструмента являє собою визначення геометричних та фізичних параметрів об'єкта проєктування, способів його виготовлення, обслуговування та застосування. Саме це і буде визначено в даному проєкті.

Проєктований інструмент повинний забезпечувати певні параметри оброблення, такі як достатню продуктивність, точність та якість оброблення. В залежності від умов оброблення та характеристик оброблюваної деталі, деяким з цих параметрів може віддаватися більша пріоритетність.

Метод даного проєкту є розробка черв'ячної фрези, здатну обробляти шліцьовий вал з параметрами $D - 8 \times 42 \times 48g6 \times 8f7$, з матеріалу сталь 40X.

Для цього досягнення цього, в проєкті вирішуються наступні задачі:

1. Аналіз методів утворення щіців на валу;
2. Актуальність розроблення черв'ячної фрези саме для оброблення шліцьового валу; Актуальність подальшого застосування шліцьових з'єднань;
3. Профілювання та конструювання черв'ячної фрези;
4. Розробка процесу виготовлення інструменту;
5. Проєктування спеціального пристосування для оброблення посадкового отвору інструменту;

1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Аналіз шліцьових з'єднань

Шліцьові з'єднання класифікують за:

- профілем шліців
- способом центрування
- за навантажувальною здатністю
- за призначенням

Профіль шліців буває прямобічний, евольвентний та трикутний.

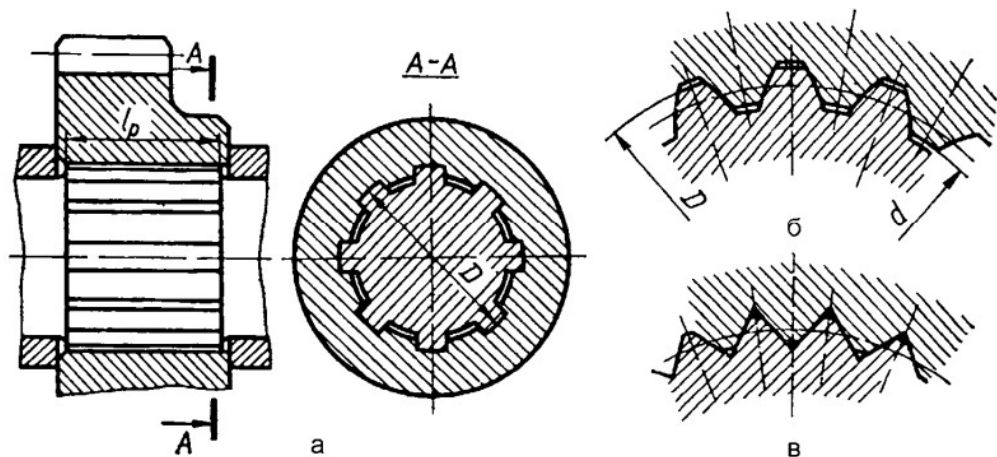


Рисунок 1.1 – Шліцьові з'єднання [1, 21.1, рис. 21.1]:

а – прямокутні; б – евольвентні; в – трикутні

Прямобічні з'єднання є найбільш поширеними через їх простоту виготовлення, легкість контролю та універсальністю. Вони центруються за зовнішнім, внутрішнім діаметром та за бічними гранями валу.

Евольвентні з'єднання в свою чергу мають певні переваги над прямобічними. Вони мають підвищену несучу здатність за рахунок потовщення ніжки зубу. Також вони мають більшу точність центрування. Проте фрезерування таких з'єднань є складнішим. Шліфування евольвентного валу є трудомістким, а оброблення втулки вимагає використання спеціальної евольвентної протяжки, яка є значно дорожчою за звичайні. Тобто такі з'єднання є значно дорожчими, проте і вони знаходять своє місце у машинобудуванні.

Трикутні з'єднання застосовуються переважно для передачі незначних крутних моментів тонкостінних втулок. Вони є альтернативою для посадок з натягом.

За навантажувальною здатністю розділяються переважно прямобічні вали. Вони бувають трьох серій: важкої, середньої та легкої. Головні

відмінності між трьома серіями полягають у кількості зубців (шліців) та їх висотою. Так, вали важкої серії розраховані на передачу значних знакозмінних ударних навантажень. А вали легкої серії можуть передавати незначний крутний момент.

За способом центрування прямобічні вали поділяються: за зовнішнім діаметром, за внутрішнім діаметром та за боковими гранями. При центруванні за зовнішнім діаметром забезпечується висока співвісність з'єднання. Оброблення втулки відбувається протягуванням, що є економічним способом виготовлення деталі. Центрування за внутрішнім діаметром виконують при неможливості обробленням протягуванням. Центрування за боковими гранями виконується коли точність центрування не має вагомого значення.

За призначенням шліцьові з'єднання бувають рухомі та нерухомі. Бажаними до застосування є рухомі з'єднання. Тоді такі з'єднання є більш ремонтпридатними за рахунок забезпечення зазору між втулкою та валом, їх легше розбирати та замінювати деталі. Особливо така перевага важлива для деталей з довгим строком експлуатації, бо нерухомі деталі можуть зчіплюватись між собою внаслідок адгезії. Це може ускладнити розбирання деталі під час ремонту, і прикладання зусиль для роз'єднання деталей може пошкодити конструкцію.

1.2 Вихідні дані до аналізу

Так як мета проекту – розробити інструмент, який буде широко використовуватися в промисловості для виготовлення шліцьового валу, необхідно обрати критерії його вибору. Проаналізувавши деякі типи шліцьових з'єднань, варто обрати таке з'єднання, яке забезпечить кращі експлуатаційні та економічні характеристики, достатню вантажопідйомність та точність центрування інших деталей на валу.

Профіль шліців обраного для оброблення валу буде виконуватись прямобічним, так як він є технологічним та дешевшим виготовленні. Центрування валу буде здійснюватися за зовнішнім діаметром, що забезпечить високу співвісність з'єднання та економічність з'єднання (отвір буде оброблений протягуванням, а вал різанням). З'єднання буде виконуватись рухомим, із незначним зазором. Це сприятиме нормальному збиранню – розбиранню з'єднання, і наявність невеликого зазору буде не критичним для ударних навантажень. Обирається вал середньої серії, здатний нести помірні навантаження. За рекомендаціями ГОСТ 1139-80 приймається

вал середньої серії діаметром 48 мм. Умовне позначення з'єднання: $D - 8 \times 42 \times 48 \frac{H7}{g6} \times 8 \frac{F8}{f7}$. Матеріал оброблюваної деталі: сталь 40Х.

З'єднання з такими характеристиками матиме широке застосування, а отже буде і попит на проектувану черв'ячну фрезу.

1.3 Аналіз способів оброблення шліців на валах

В залежності від типу валу, його оброблення може здійснюватися різними способами та різними зуборізними інструментами. Зуборізні інструменти застосовуються для виготовлення шліцьового валу, так як шліці на валу можна розглядати як зубці. Основна відмінність їх полягає у формі вихідної поверхні. Сам процес оброблення полягає або у повздовжньому фрезеруванні, струганні, довбанні.

Процес нарізання зубів може здійснюватися двома методами: методом копіювання та методом обкочування.

Метод копіювання полягає в принципі повторення формою впадини шліца форми ріжучої кромки інструмента. За таким методом працюють дискові фрези, кінцеві фрези та зубодовбальні головки.

Дискова фреза являє собою багатолезовий інструмент, із зубами на її циліндричній поверхні, переважно з затилованими задніми поверхнями. На рисунку 1.2 приведений приклад типової дискової фасонної фрези.

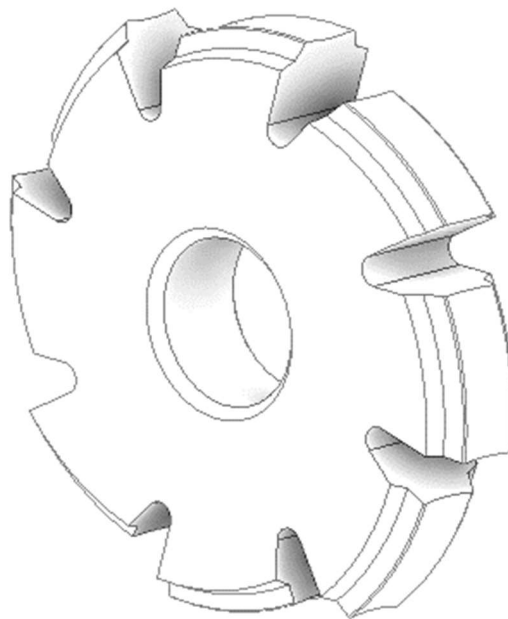


Рисунок 1.2 – Типова дискова фасонна фреза

Типова дискова фасонна фреза має різальну кромку, яка повторює профіль нарізуваних зубців/шліців. Проте її різальна кромка потребує певних технологічних зусиль та інструментів при заточуванні та переточуванні.

Дискові фрези бувають цільними, модульними, з напайними або змінними пластинами з твердого сплаву.

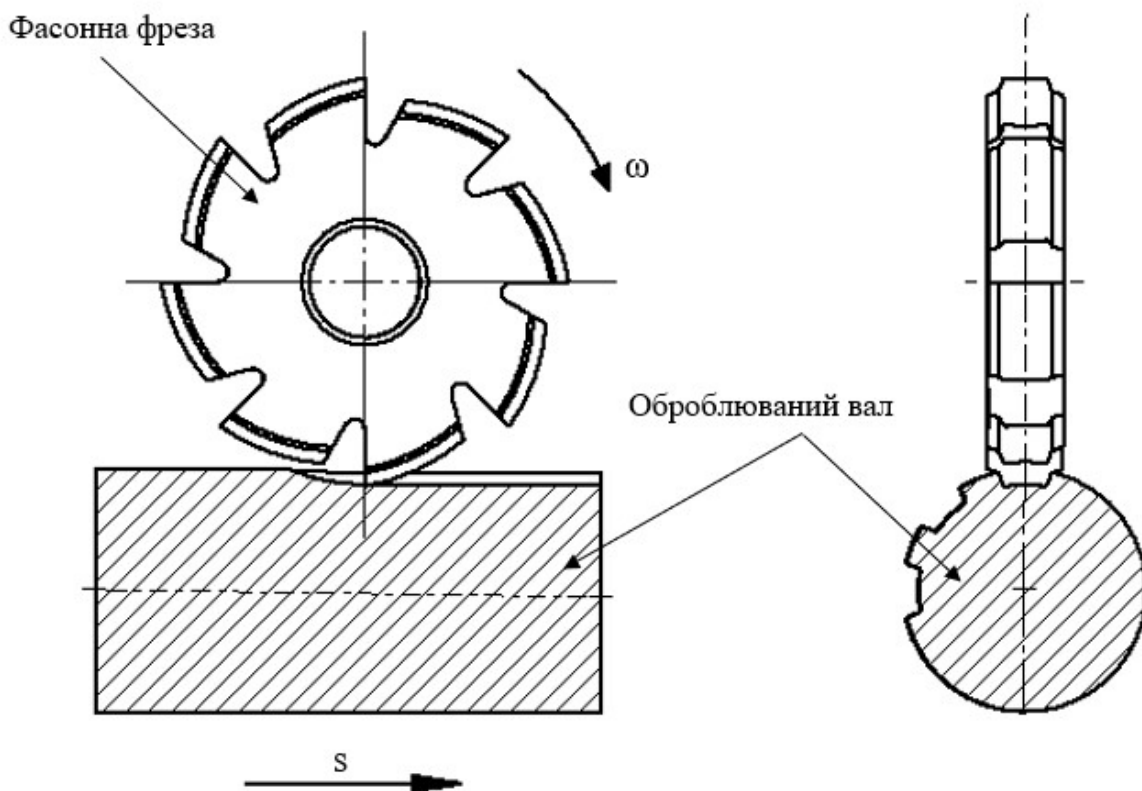


Рисунок 1.3 – Оброблення зубчатого колеса дисковою цільною фасонною фрезою

Ефективність збірних фрез, певним чином залежить від верстату, на якому оброблюється деталь. При використанні збірних нефасонних фрез на звичайному різьбофрезерному верстаті вдається виконати лише чорнову обробку. Це пов'язано з необхідністю повороту фрези на певні кути так, щоб можна було обробити весь профіль шліца. Чистова обробка має виконуватись на іншому верстаті та іншим інструментом, що значно сповільнює процес виробництва та збільшує вартість виготовлення. При обробленні на верстаті з ЧПК така фреза здатна повертатися так, щоб обробити весь профіль деталі, при чому оброблення буде набагато ефективнішим за оброблення на звичайному верстаті. Вона здатна виконувати обробку різних типів шліців/зубів, і може використовуватися для широкого ряду деталей. Яскравим прикладом є фреза CoroMill 161 та CoroMill 162 від виробника SANDVIK

Coromant. Використовуючи такі фрези на верстаті з ЧПК, можна досягти повної обробки деталі за один установ.



Рисунок 1.4 – Оброблення дисковою фрезою CoroMill 161 [3]



Рисунок 1.5 – Фреза CoroMill 162 [3]

При цьому такі фрези є інструментом для оброблення шліців у широкому діапазоні розмірів. Якщо виробництво було налаштоване на виробництво певного продукту, але раптом необхідно виробити якусь іншу деталь, то можна відразу приступити до виготовлення, не чекаючи на спеціалізовані інструменти. Маючи невелику номенклатуру інструментів, можна виготовляти різні деталі. Це ідеально підходить для малосерійного виробництва.

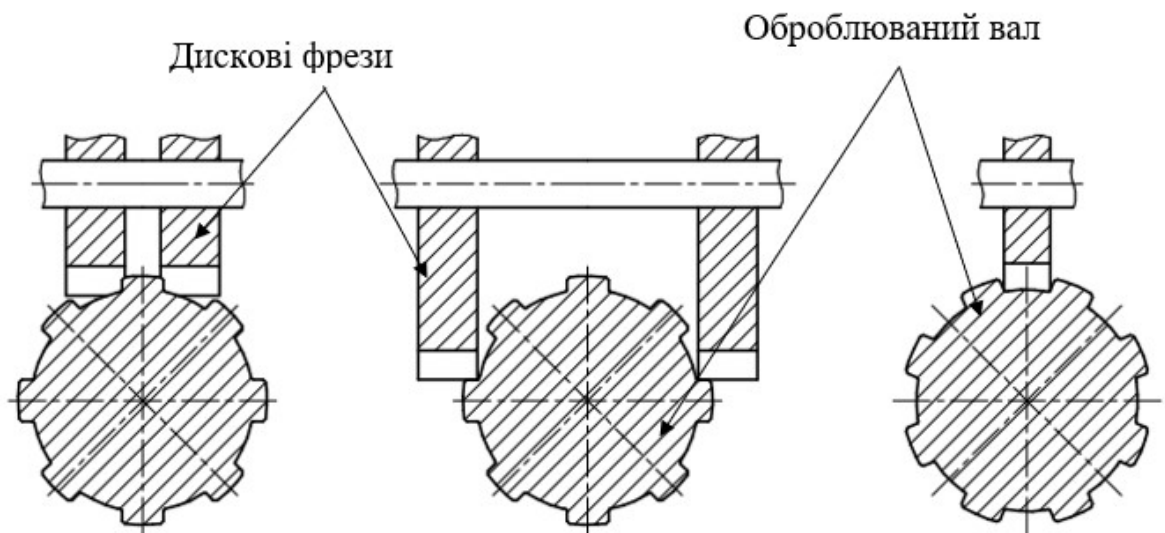


Рисунок 1.6 – Фрезерування шліців дисковими фрезами

Проте такі фрези вимагають наявності верстату з ЧПК, що є занадто коштовним для невеликих підприємств. Тому варто мати альтернативу. Наприклад, дискова фасонна фреза, різальна кромка якої повторює профіль зубів/шліців, може обробити деталь за один прохід. Фреза CoroMill 172 або CoroMill 171.4 за своєї спеціальної форми різальної кромки здатні оброблювати деталь на звичайному зубофрезерному верстаті. Вони та інші подібні фрези зображені на рисунках 1.7 – 1.9.



Рисунок 1.7 – Оброблення дисковою фасонною фрезою CoroMill [3]



Рисунок 1.8 – Фреза CoroMill 171.4 [3]



Рисунок 1.9 – Фреза CoroMill 172 [3]

Такі інструменти є економічнішими за звичайні дискові нефасонні фрези, особливо для малих та середніх партій деталей.

Метод копіювання має недолік у вигляді похибки, яка виникає при обробленні канавок за рахунок повороту заготовки на певний кут (ділення). Тому частіше застосовується шліценарізання методом обкочування.

Суть методу полягає в обробці інструментом шліца, коли профіль зубів являє собою профіль спряженого колеса, а профіль інструмента – профіль

спряженої рейки. Оброблення можна представити у вигляді кочення спряженого колеса по спряженій рейці. Тоді під час обробки інструмент та деталь утворюють зчеплену зубчасту пару. В результаті профіль зубів/шліців отримується як огибаюча різних послідовних положень ріжучих кромek інструмента. Також для забезпечення різання необхідний рух різання. Він створюється за рахунок відносного руху інструмента (обертання черв'ячної фрези, обернено-поступальним рухом довбача), або відносним рухом деталі (обертання деталі при обробці різцем).

За таким методом працюють прямозубі зуборізні гребінки, черв'ячні фрези, довбачі. Оброблення виконується на довбальних, токарних та спеціальних фрезерних верстатах. Метод обкочування застосовується для виготовлення зубчатих коліс евольвентного профіля, обробки деталей з прямими або гвинтовими направляючими, таких як шліцьові вали, багатогранники, кулачки, зубчаті колеса циклоїдального профіля.

Шліцерізний довбач, спеціальний інструмент, який виконаний у формі евольвентного колеса, з нарізаними ріжучими кромками на зубцях цього колеса. Застосовується для нарізання різних видів шліцьових валів, зубчатих коліс, таких як прямозубі, косозубі, шевронні, внутрішнього чи зовнішнього зачеплення. Для нарізання шліців довбач може мати спеціальну спрофільовану для цього форму.

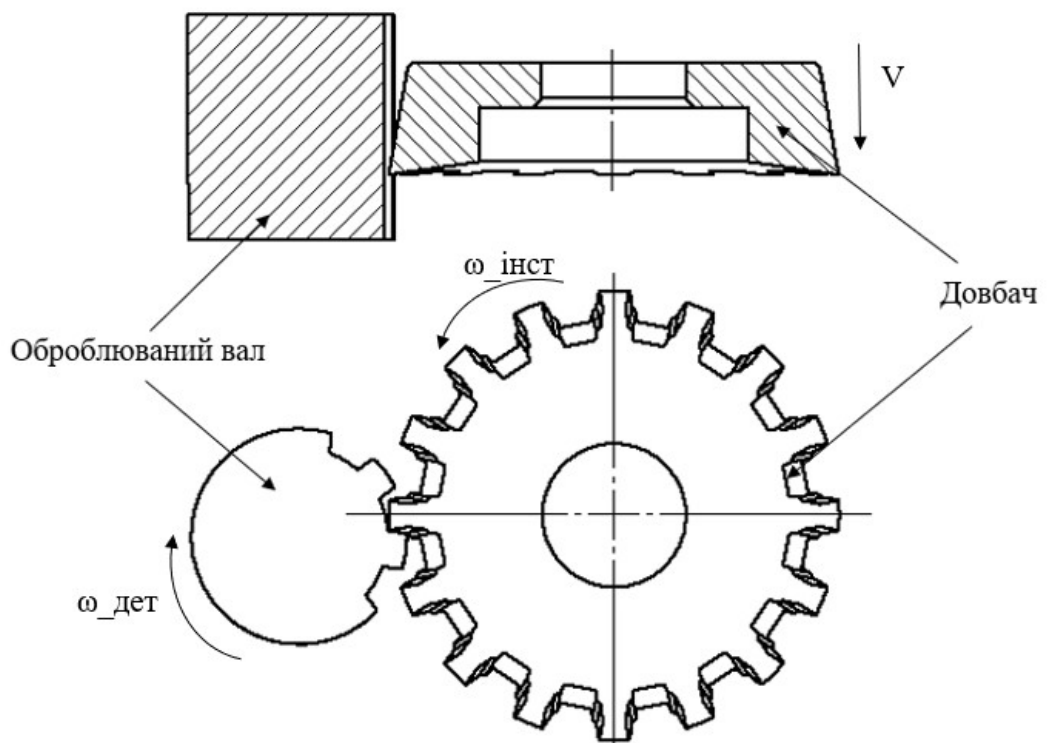


Рисунок 1.10 – Нарізання зуборізним довбачем зубчатого колеса

Принцип обробки полягає в сполученні декількох рухів довбача та заготовки. Довбачу, для забезпечення різання, задається прямолінійний обернено – поступальний рух. Рух донизу є головним рухом різання, рух догори є рухом холостим, під час якого довбач відводиться від заготовки та повертається в своє початкове положення. Під час руху донизу, довбач знову підводиться до заготовки. Рух подачі здійснюється шляхом обертання заготовки та довбача відносно власних осей. Цей рух є рухом обкочування, коли довбач, який являє собою шестерню, обкочується по початковому колу оброблюваного колеса/валу. Для помірного зняття матеріалу, довбачу задається радіальний рух до осі заготовки. Щоб попередити тертя задньої поверхні довбача та заготовки, здійснюється відведення довбача від заготовки при оберненому русі інструмента. Приклад оброблення наведений на рисунку 1.10.

Довбачі є універсальним інструментом для нарізання шліців або зубчастих коліс та деталей, які утворюються методом обкочування. Вони мають високу точність, в деяких випадках можуть бути точніші за черв'ячні фрези (наприклад за великої кількості зубів, при виготовленні колеса з малим ободом). Проте продуктивність такого інструмента є невисокою. Зазвичай хід довбальних верстатів не перевищує 60 мм, чого недостатньо для обробки довгих валів. Рух різання займає лише частину від всіх рухів, які здійснює довбач впродовж своєї роботи. При цьому підвищуються сили різання та робота, яка вимагає постійного прискорення та зупинки довбача в крайніх точках (вгорі, після холостого ходу довбача та знизу, після руху різання). Це вимагає додаткових витрат енергії, що невигідно при використанні цього інструмента. Також при роботі спостерігається значний шум. Це може негативно вплинути на здоров'я робітників та це погіршує комунікацію в робочому просторі між робітниками.

Ще одним способом утворення шліців є накатування шліців на валу. Цей процес включає холодне пластичне деформування металу за допомогою обкочування інструментом оброблюваного валу.

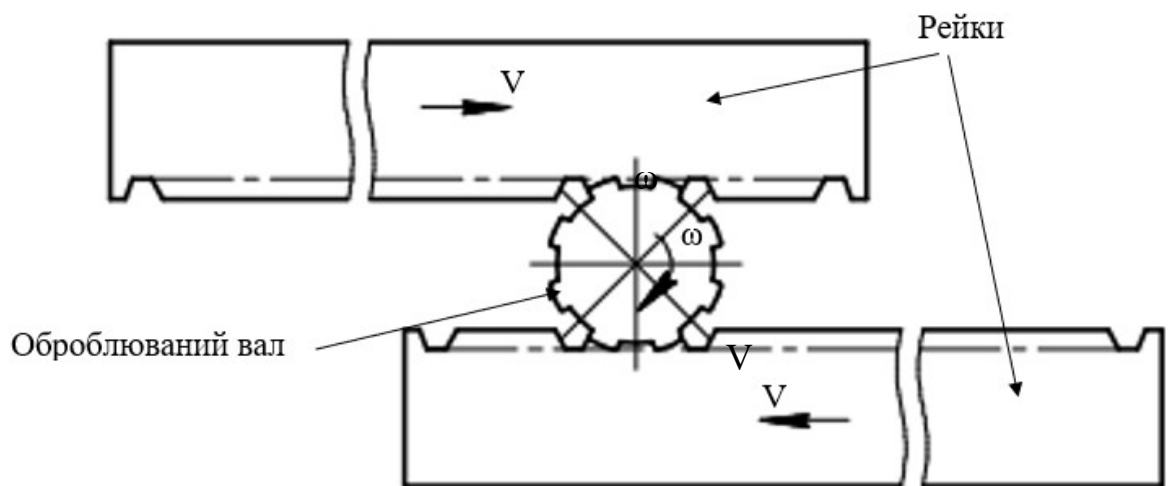


Рисунок 1.11 – Накатування шліців [2]

Інструмент встановлюється поміж рейок, яким надається поступальний рух. За рахунок контакту рейок та валу, останній починає прокручуватися поміж ними. Рух рейок можна розглядати як головний рух, а рух валу як рух подачі, хоч при виготовленні від забезпечується за рахунок головного руху.

Також до обкочування можна віднести утворення шліців круглими роликами. В такому випадку круглі ролики обкочуються навколо валу, деформуючи його та утворюючи шліци. Таке оброблення може відбуватися або парою роликів, або багатьма роликами, встановленими на спеціальній головці. Схема оброблення наведена на рисунках 1.12 – 1.13.

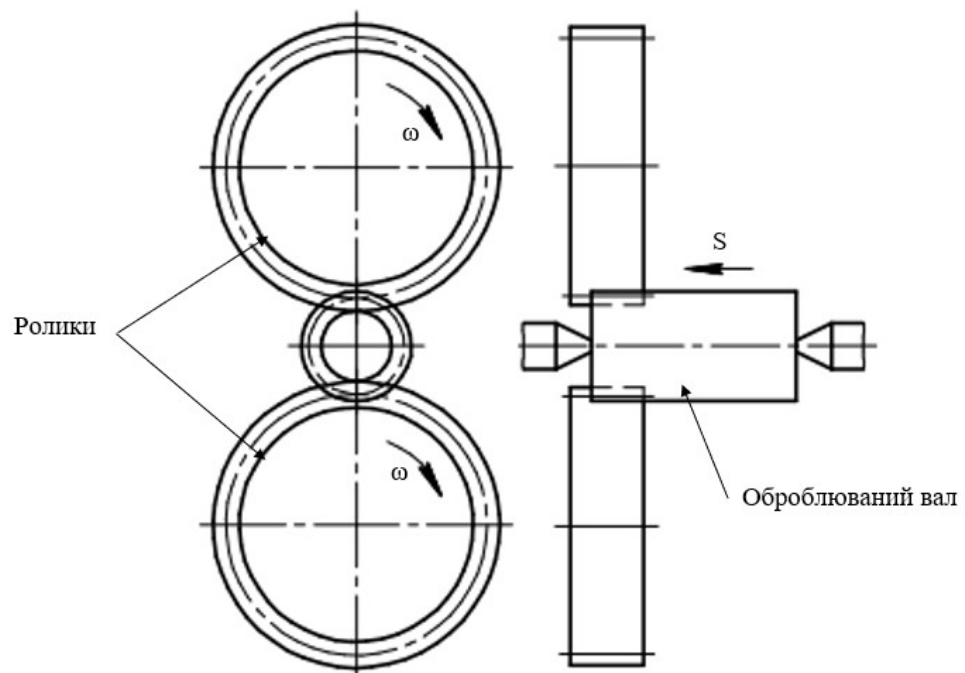


Рисунок 1.12 – Оброблення роликами

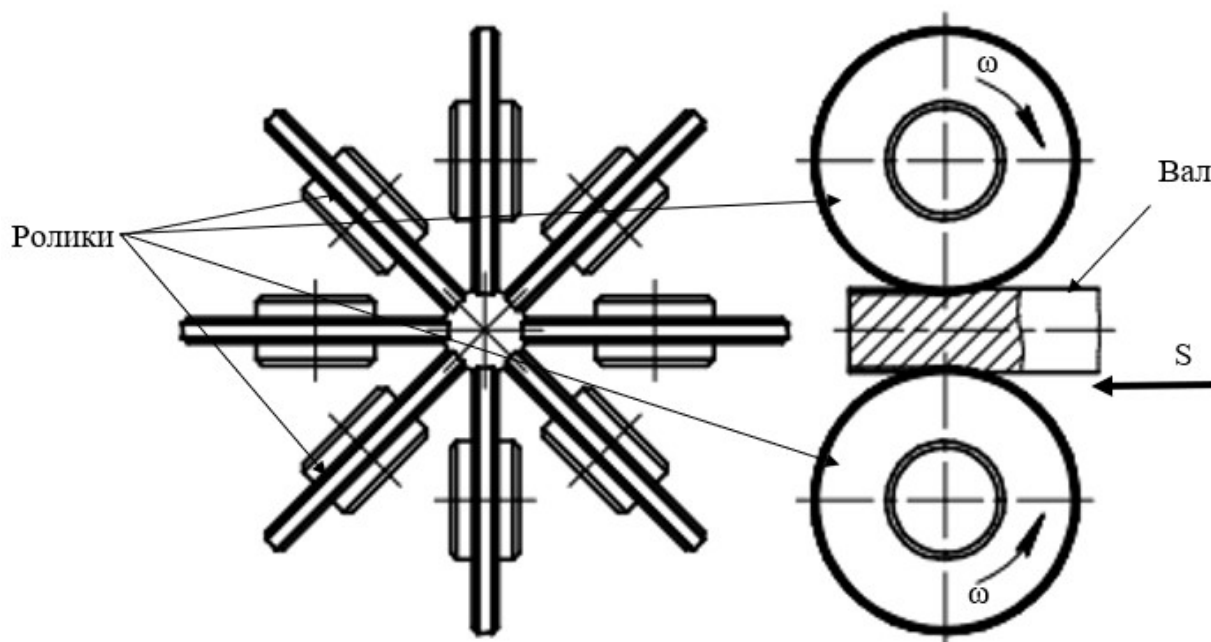


Рисунок 1.13 – Оброблення багатороликовою головою

Накатування шліців має значні переваги в порівнянні з обробкою різанням. При накатуванні матеріал деталі не відділяється, а пластично деформується (переважно стискається). В такому випадку метал зміцнюється за рахунок пластичної деформації та явища наклепу. Це дозволяє позбутися від необхідності застосування термічної обробки після утворення шліців. При накатуванні рейками значно підвищується продуктивність обробки.

Проте накатування має певні недоліки. Спосіб накатування рейками має обмеження по довжині валу, оброблюються вали довжиною переважно 80...100 мм. При накатуванні за рахунок стиску валу метал практично не змінює своєї густини, а змінюється форма деталі. Тому довжина валі трохи збільшується після накатування. Також метал частково витісняється назовні, збільшуючи зовнішній діаметр заготовки. Це ускладнює виробництво та потребує додаткових розрахунків. Обтискання валу відбувається поступово, шліци утворюються за декілька проходів. Це сильно ускладнює виробництво.

1.4 Аналіз конструкції черв'ячної фрези

Черв'ячні фрези – інструмент, який отримав найширше застосування в обробці деталей методом огинання. Вони використовуються для створення різноманітних зубчатих коліс, шліцьових валів, гранних валів, черв'ячних коліс, для нарізання евольвентних зубчастих коліс внутрішнього зачеплення. Це багатолезовий інструмент, різальні кромки якого розташовані на гвинтовій

поверхні основного черв'яка (гвинтової поверхні фрези), що є характерною особливістю даного типу інструмента. Приклад конструкції фрези наведено на рисунку 1.14.

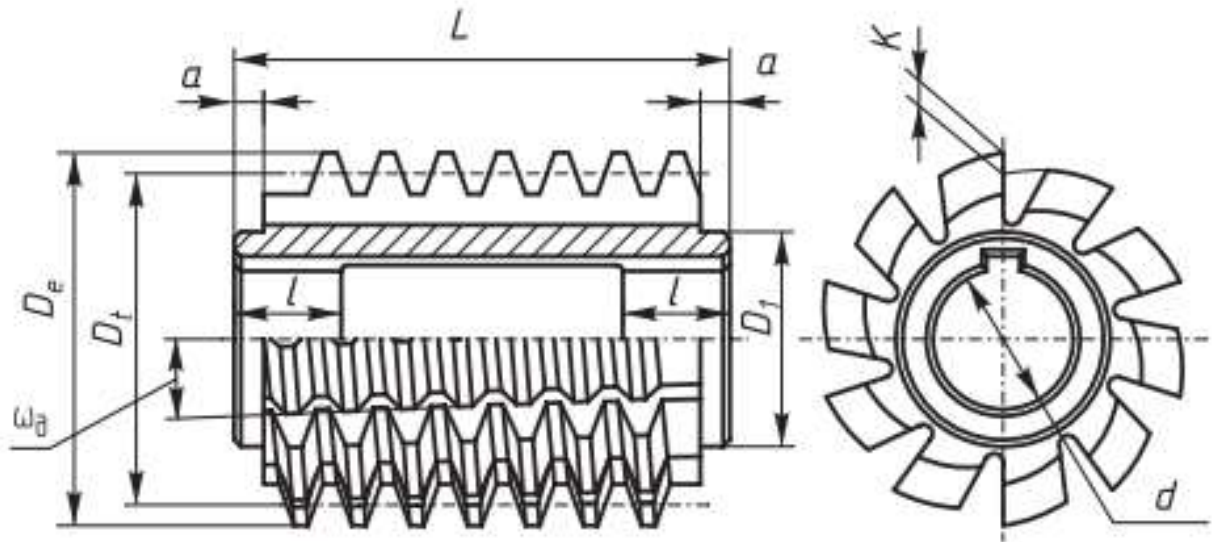


Рисунок 1.14 – Конструкція черв'ячної фрези [4]

Проектування черв'ячної фрези можна умовно розділити на профілювання та розрахунок конструктивних параметрів. Профілювання залежить від вихідного контуру деталі і від типу основного черв'яка. Конструктивні параметри можуть обиратися довільно, незалежно від оброблюваного профіля. Проте їх вибір має значний вплив на умови роботи фрези та точність оброблення. Тому важливо врахувати при проектуванні вплив конструктивних параметрів на якість роботи інструмента.

Основний черв'як.

Різальні кромки утворені перетином основного черв'яка та стружкових канавок. Основний черв'як може мати декілька типів конструкцій. Параметри оброблюваної фрезою деталі будуть визначатись переважно геометричними характеристиками форми поверхні цього черв'яка.

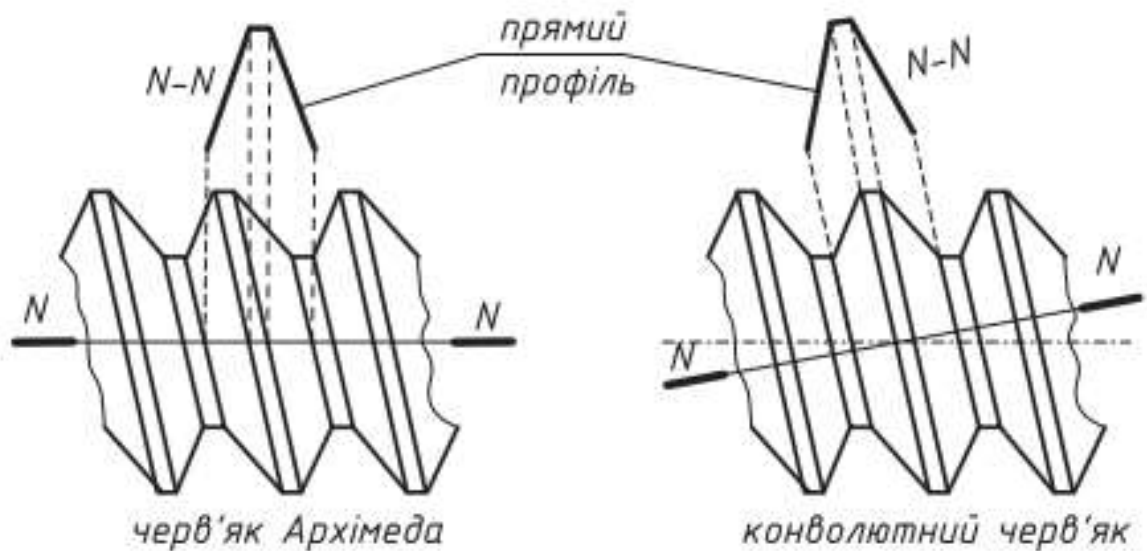


Рисунок 1.15 – Типи основних черв'яків [4]:

Евольвентний черв'як найбільш точно повторює зачеплення його з евольвентним колесом. Вони використовуються лише для виготовлення евольвентних зубчатих коліс високої точності. Це пояснюється складністю виготовлення такого черв'яка та складністю контролю його розмірів.

Конволютний черв'як має прямолінійний профіль в нормальному перетині по витку/впадині його гвинтової поверхні. Простий у виготовленні, на його основі виготовляються переважно чорнові фрези.

Архімедовий черв'як має прямолінійний профіль в осьовому перерізі. До того ж, він максимально приближений до евольвентного черв'яка.

Стружкові канавки.

Стружкові канавки, які фрезеруються після створення основного черв'яка, утворюють зубці фрези. Ці канавки можуть бути осьові та гвинтові. Осьові канавки виконуються переважно для збірних фрез з пластинами з твердого сплаву або з швидкорізальної сталі. Осьові канавки можуть виконуватись і для цільних фрез. Проте кути різання для бокових ріжучих кромek будуть різні, що створює різні умови роботи частин зуба та різне зношення зуба. При переточуванні фрези, через різність передніх кутів, профіль фрези буде змінений, а отже і оброблювана деталь буде мати інший, відмінний від заданого, профіль. Це головна причина використання гвинтових стружкових канавок.

Фрези з гвинтовими канавками утворюють передню поверхню зуба фрези у вигляді архімедової гвинтової поверхні. Якщо основний черв'як має правозахідну траєкторію, то стружкові канавки мають в сою чергу лівозахідну траєкторію. Стружкові канавки можуть мати різний напрям, проте щоб

утворити на передній поверхні зуба фрези заданий передній кут, напрямок канавок повинний бути протилежним напрямку основного черв'яка.

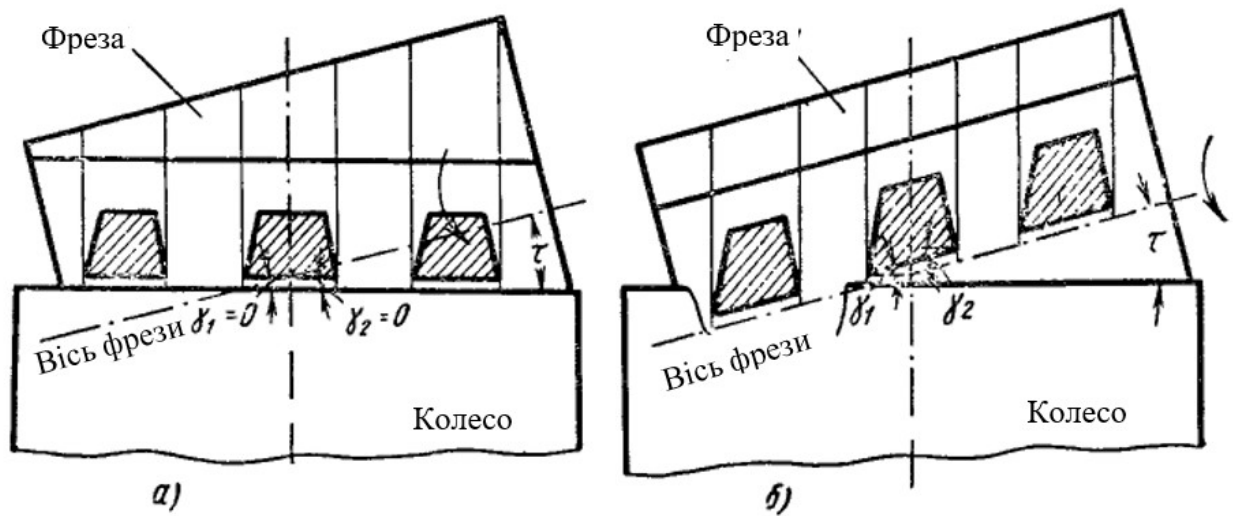


Рисунок 1.16 – Фреза з гвинтовими (а) та осьовими (б) канавками

Кількість заходів фрези.

Фрези відрізняються кількістю заходів основного черв'яка. При створенні черв'яка нарізується гвинтова канавка. Кількість таких канавок рівна числу заходів черв'яка. Приклад черв'яків наведено на рисунку 1.17.

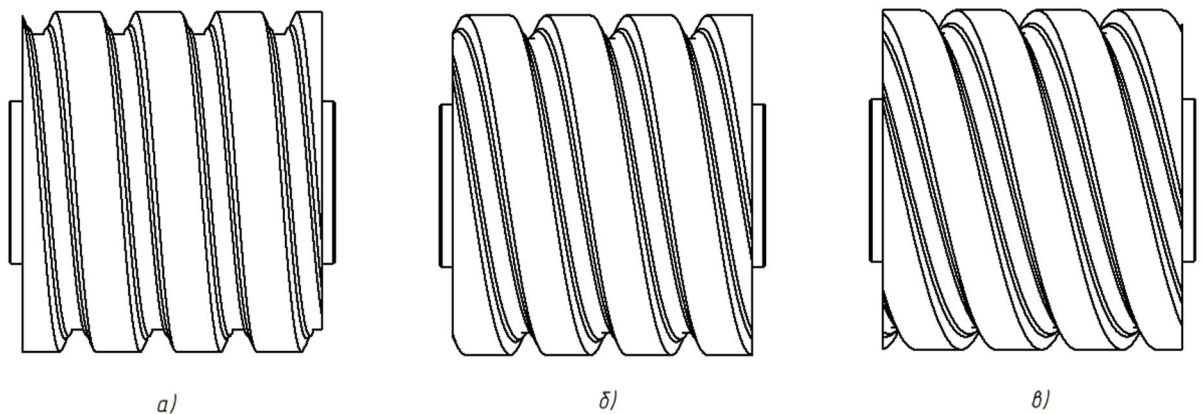


Рисунок 1.17 – Вид черв'яка:

а – однозахідний; б – двозахідний; в – тризахідний

При обробці фрезою з більшим числом заходів зростає продуктивність фрезерування. Проте зусилля різання значно підвищуються, точність оброблення в свою чергу зменшується. Це пов'язано з підвищенням кроку черв'яка, а отже і підвищення кута підйому витків. Тоді збільшується похибка

кутів профіля. Відхилення кутів зубів при переточуванні змінюється більше за більшої кількості заходів. Також, коли кожен захід нарізується окремо, треба контролювати значення похибки при обробленні всіх заходів. Це підвищить трудоемкість та вартість виготовлення інструмента. Чистові фрези робляться однозахідними, а чорнові виконуються дво- та тризахідними. Такі висновки зроблені на основі досліджень в.

Вплив переднього та заднього кута зубів.

Черв'ячна фреза є багатолезовим інструментом, який дорогий у виготовленні. Тому для забезпечення можливості довготривалого використання при проектуванні його необхідно враховувати можливість поновлення працездатності фрези. Один із видів поновлення працездатності це переточування зубів фрези. Так як черв'ячна фреза – інструмент багатолезовий, де зуби розташовані на гвинтовій траєкторії, то важливо правильно виконувати переточування інструмента. Для збереження профіля різальної кромки фрези, переточування її зубів здійснюється по їх передній поверхні. І значення переднього кута відіграє важливу роль в цьому процесі.

Задній кут при вершині не може дорівнювати нулю, так як тоді задня поверхня буде пошкоджуватись при обробці, і це призведе до збільшення шорсткості обробленої деталі, надмірного нагрівання деталі та інструмента та можливих дефектів при обробці. Тому задній кут при вершині робиться ненульовим, переважно він рівний $9 - 12^\circ$. Тоді передній кут робиться нульовим. В такому випадку будь-яка лінія, проведена по передній поверхні, перетинає повздовжню вісь фрези. При зміні переднього кута зуба змінюватиметься і профіль нарізованого контуру (шліців, евольвентних зубів, тощо). Задні кути забезпечуються при затилуванні зубів по архімедовій спіралі. При цьому важливо забезпечити ненульовий задній кут на ніжці зуба, бо по висоті зуба задній кут не має постійного значення. Він зменшується від вершини зуба до ніжки. Для чистових фрез висота зуба може бути великою, наприклад у випадку оброблення шліцевих валів важкої серії, де висота шліців збільшена. В такому випадку значення заднього кута може бути критично низьке, що приведе до затирання задньою поверхнею поверхні оброблюваної деталі.

Діаметр фрези.

Діаметр фрези є конструктивним параметром. Цей параметр може обиратися довільно, проте при виготовленні фрези стандартної конструкції варто опиратися на необхідні стандарти. Вплив діаметра фрези на кут нахилу стружкової канавки (він же кут нахилу витків) можна описати на основі формули:

$$\tan \tau = \frac{t_0}{\pi D_t} \quad (1.1)$$

де τ – значення кута підйому витків фрези
 t_0 – осьовий крок фрези
 D_t – ділильний діаметр

Ділильний діаметр фрези прямо пропорційно залежить від загального діаметра фрези. Він обернено пропорційно впливає на значення кута підйому витків. Як зазначалося раніше, при значному підйомі витків профіля фрези, точність оброблення зменшується за рахунок збільшення значення органічної похибки. Шліцьові з'єднання характеризуються великим значенням модуля, оскільки на всьому колі може розташовуватися лише 6 – 12 шліців. Тоді значення осьового кроку фрези буде великим. Тому, щоб забезпечити малий кут підйому витків, необхідно обрати певний діаметр фрези.

Також, при збільшенні діаметра фрези збільшується розмір стружкової канавки, що покращує умови різання; з'являється можливість збільшення діаметра посадкового отвору, що підвищує жорсткість кріплення фрези та збільшує точність оброблення; покращуються умови охолодження різальних кромок, збільшується ширина контакту зуба та деталі, що покращує жорсткість обробленої деталі.

Проте збільшення діаметра підвищує витрату матеріалу, крутний момент, який створюється при різанні, довжина та час врізання зуба фрези в заготовку.

Тому важливо для кожного типу фрези діаметр підбирається в залежності від завдання та умов обробки.

Конструкція фрези

Черв'ячні бувають цільними та збірними. Цільні фрези виконуються монолітними, з одного матеріалу, переважно зі швидкорізальної сталі. Збірні фрези мають корпус та приєднувані різальні пластини. Матеріалом корпусу є конструкційна сталь, а різальні пластини виконуються з швидкорізальної сталі або металокерамічних твердих сплавів. Це підвищує їх початкову ціну, проте у процесі використання при зношуванні пластин можлива їх заміна. На відміну від переточування цільних фрез, заміна пластин є дешевшим та швидшим. Наразі обидва види фрез широко застосовуються. Приклад цільної фрези наведено на рисунку 1.18.

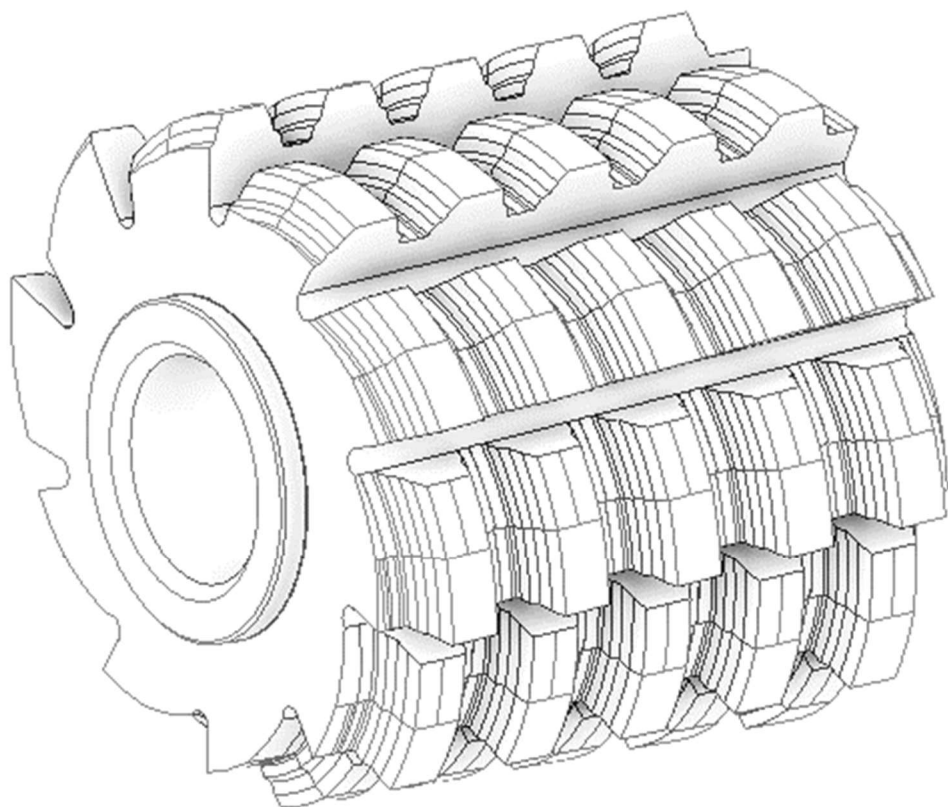


Рисунок 1.18 – Типова цільна черв'ячна фреза

Наразі найбільш новітніми є модульні фрези з твердосплавними пластинами. Наприклад від SANDVIK Coromant представлена фреза CoroMill 176. Її зображення можна побачити на рисунку 1.19



Рисунок 1.19 – Черв'ячна фреза CoroMill 176 [3]

Вибір конструкції фрези залежить від габаритів оброблюваного валу. Більший діаметр валу потребує більшого діаметра фрези, а отже і більше матеріалу. Тому доцільно для валів великого діаметра застосовувати збірні інструменти. За малого діаметра валу дешевше використовувати цільні фрези, так як збірні обійдуться дорожче, і будуть обмежені по габаритам вузли кріплення пластин до основи фрези, що в свою чергу може вповільнити збірку фрези.

Використання вусів

Черв'ячні фрези для обробки шліцьового валу можуть виконуватися з вусиками або без них.

Фрези без вусиків застосовуються для нарізання різних типів евольвентних зубчатих коліс та шліцьових валів з centruванням по зовнішньому діаметру. Приклад профіля фрези без вусиків зображено на рисунку 1.20.

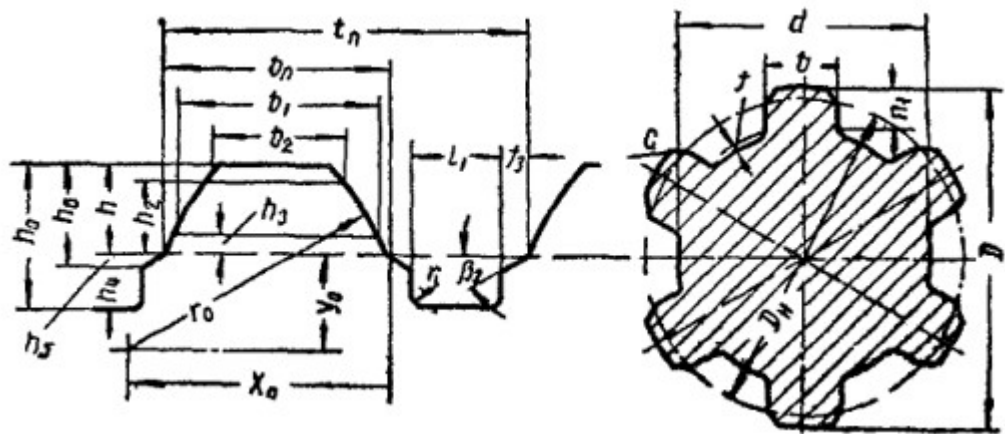


Рисунок 1.20 – Нормальний перетин зуба фрези та поперечний переріз оброблюваного валу

Фрези з вусиками застосовуються рідше. Вусики виконуються на вершині зуба з двох сторін. Вони застосовуються тоді, коли шліцьовий вал centruється за внутрішнім діаметром. У такому випадку треба отримати прямолінійну ділянку по всій висоті шліця. Проте внаслідок оброблення валу фрезою без вусиків, біля ніжки шліця утворюється перехідна крива. Це відбувається через неможливість правильно обробити прямолінійний профіль деталі по внутрішній дузі.

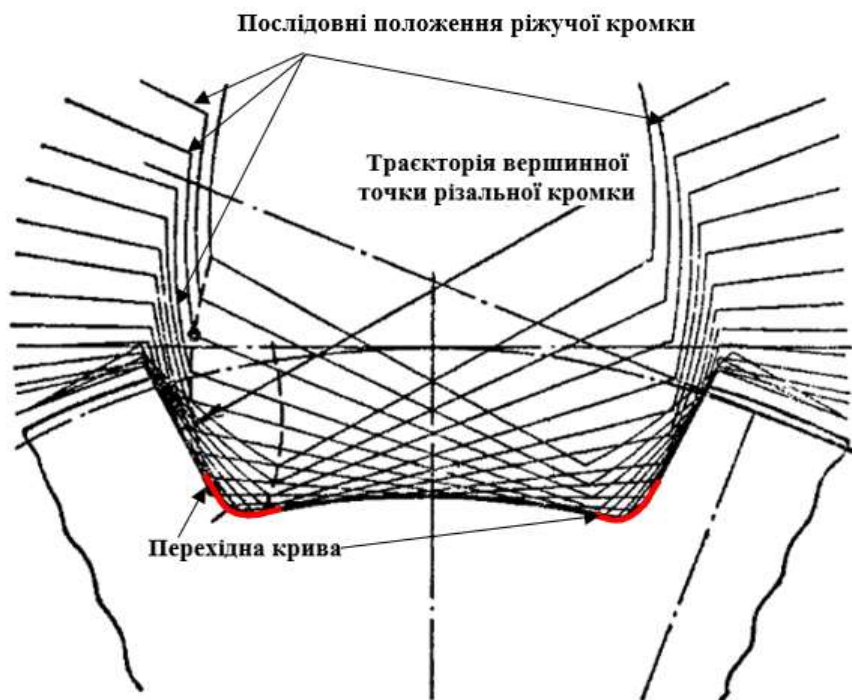


Рисунок 1.21 – Послідовні положення різальної кромки фрези без вусиків

Якщо на вершині зуба фрези з кожного боку додати по вусику, то вони будуть обробляти ту ділянку профіля валу, де утворюється така перехідна крива.

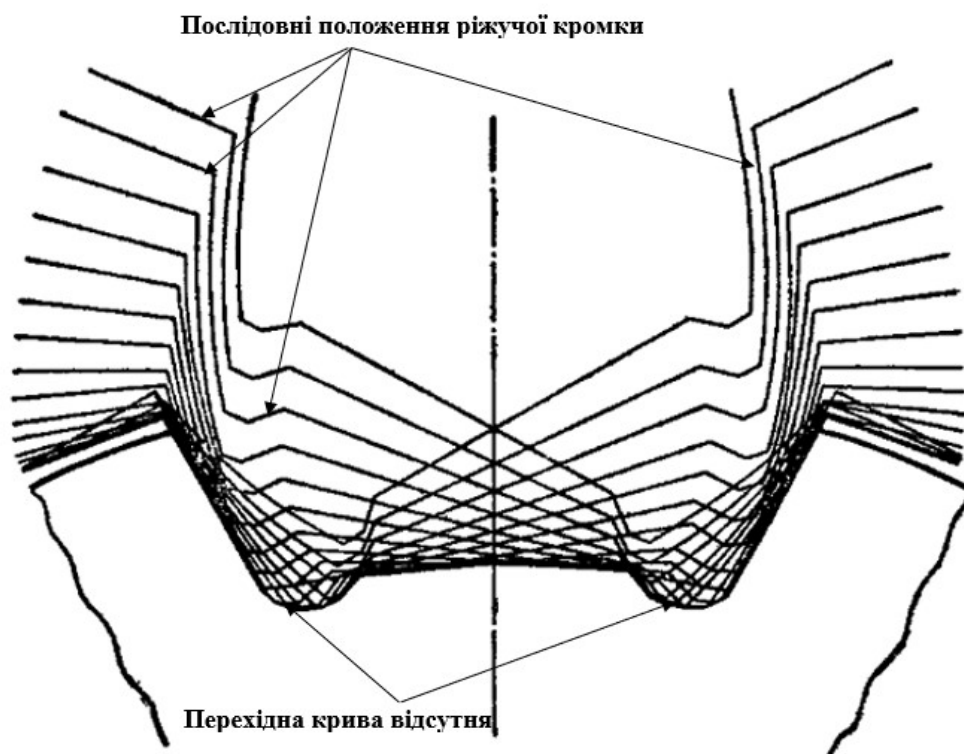


Рисунок 1.22 – Послідовні положення різальної кромки фрези з вусиками при обробленні валу

Взагалі ширина вусика приймається рівною 0,3 – 0,8 від ширини канавки для шліфувального круга (бокові ділянки шліца додатково шліфуються після фрезерування).

Головним недоліком такої конструкції є те, що вусики швидко затуплюються. Це відбувається через те, що ця ділянка зуба знімає більше матеріалу при обробленні, утворюючи впадину замість перехідної кривої. Також після оброблення на шліцьовому валу утворена вусиком западина є концентратором напруження, що знижує міцність валу. До того ж, загальний діаметр валу теж трішки зменшується, а тому і загальна статична міцність валу зменшується.

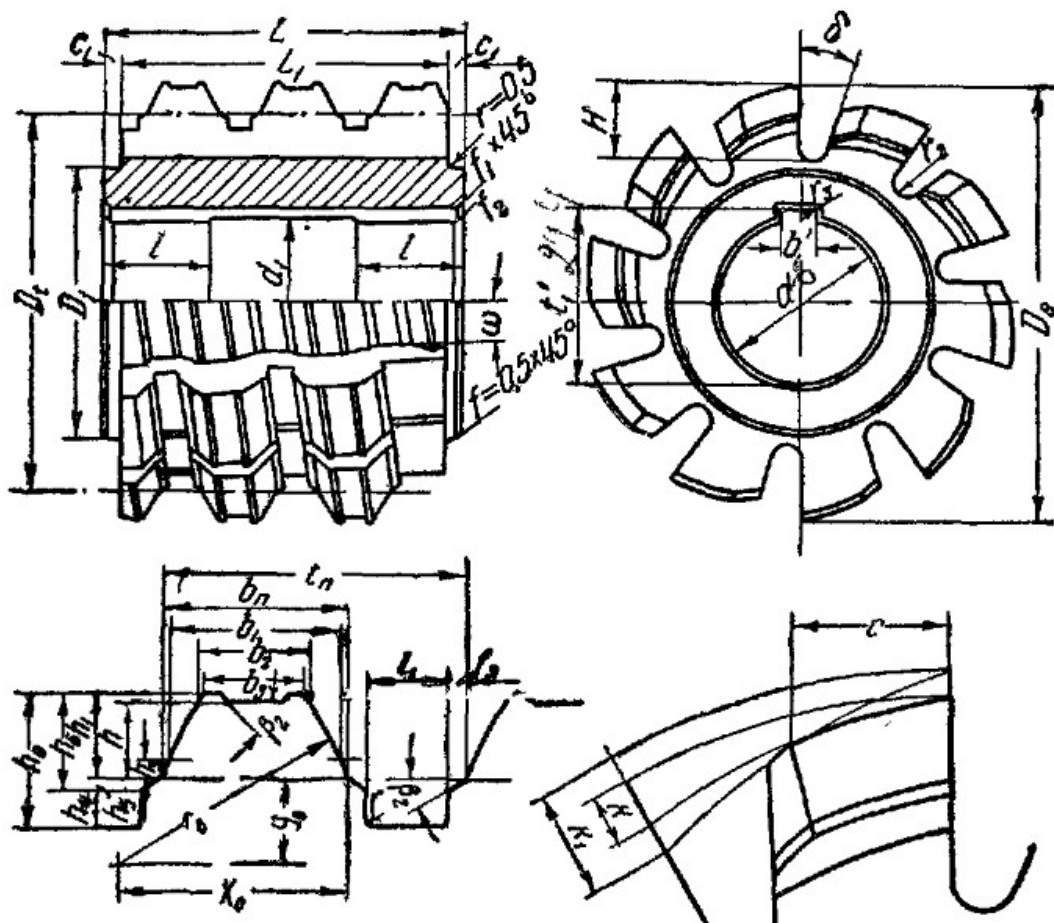


Рисунок 1.23 – Конструкція фрези з вусиками

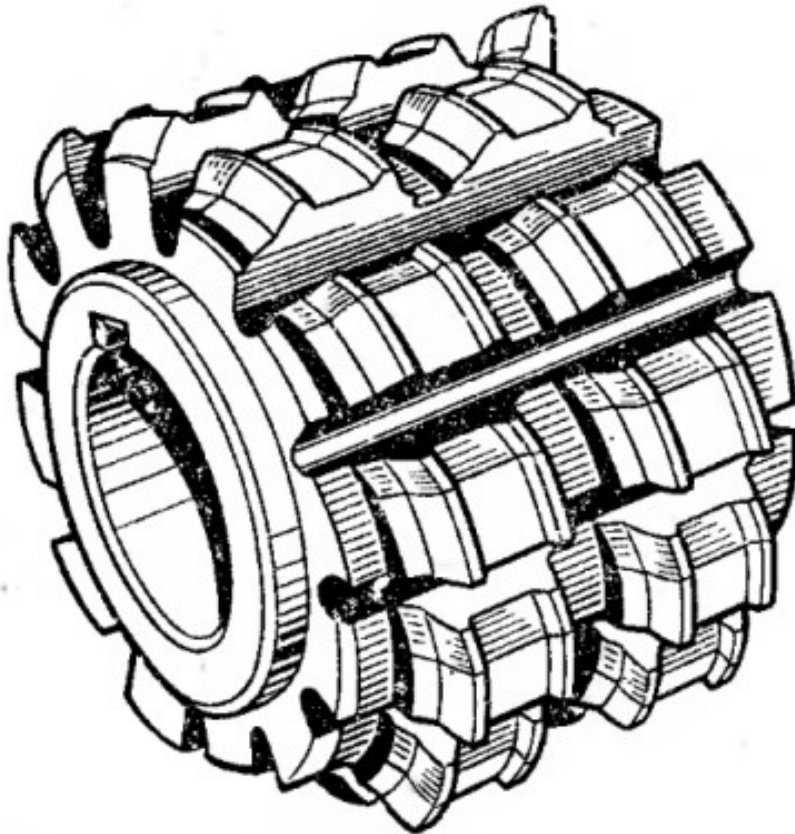


Рисунок 1.24 – Черв'ячна фреза з вусиками

Оброблення черв'ячною фрезою

Оброблення черв'ячною фрезою шліцьового валу або зубчатого колеса майже ідентичне. Згідно основам методу обкочування, черв'ячна фреза, представлена спряженою рейкою, котиться по оброблюваній деталі, представлена у вигляді спряженого колеса. Рух обкочування в дійсності представлений обертальним рухом деталі. Разом з цим, виконується обертальний рух фрези навколо власної осі. Це рух є головним рухом різання. Для оброблення всієї деталі виконується рух подачі – фреза переміщується паралельно повздовжньої осі оброблюваної деталі.

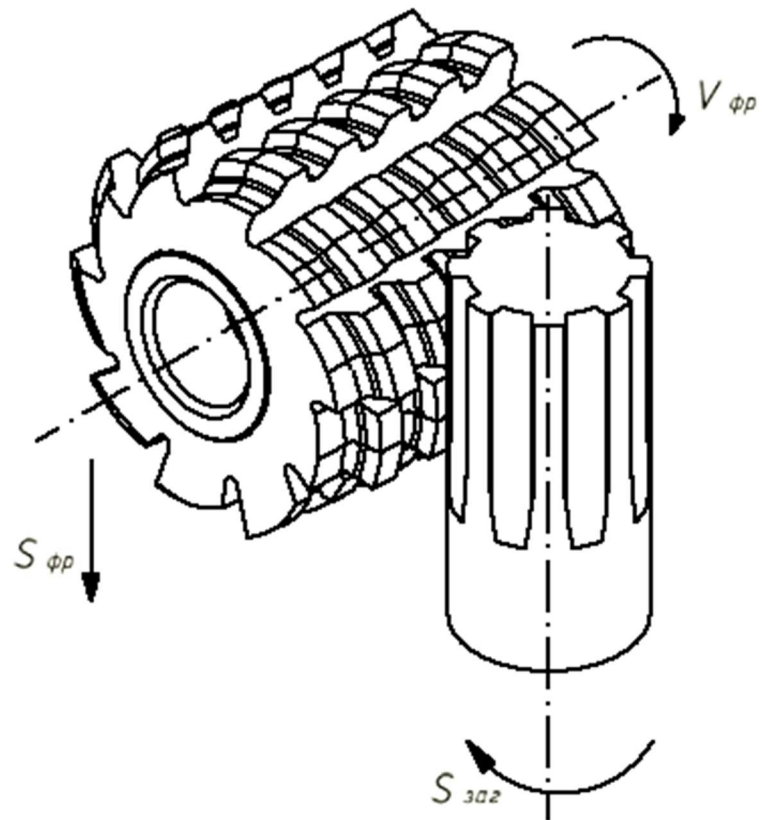


Рисунок 1.25 – Оброблення деталі черв'ячною фрезою

Під час оброблення повздовжня вісь повертається на певний кут. Це кут нахилу стружкової канавки фрези (ω°).

2. ПРОФІЛЮВАННЯ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ФРЕЗИ

2.1. Характеристики обраного валу

Характеристики обраного валу заносяться до таблиці 2.1 (рекомендації до параметрів валу за ГОСТ 1139-80). Визначаються граничні розміри поверхонь валу, результати заносяться до таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Вхідні дані

Параметр	Позначення	Значення, мм
Зовнішній діаметр	D	48
Внутрішній діаметр	d	42
Число зубів	z	8
Ширина зуба	B	8
Мінімальний діаметр впадин	d _l	39,5
Радіус скруглення	r	0,3
Ширина фаски (номінальна)	c (ном.)	0,4
Ширина фаски (відхилення)	c (відх.)	+0,2

Таблиця 2.2 – Відхилення поверхонь валу

Характеристики за центруючим діаметром (D), мм			Характеристики за нецентруючим діаметром (d), мм			Характеристики за шириною різця (b), мм		
IT_D	es_D	ei_D	IT_d	es_d	ei_d	IT_b	es_b	ei_b
0,016	-0,009	-0,025	0,16	-2,34	-2,5	0,015	-0,013	-0,028

Розрахунок параметрів фрези та профілювання виконується за методикою [7, пункти 3.4-3.7].

2.2. Розрахункові параметри валу

Так як вал після фрезерування не підлягає шліфуванню, розрахункові параметри розраховуються за наступними залежностями:

$$D_p = D + es_D - 2C \quad (2.1)$$

$$D_p = 48 - 0.009 - 2 \cdot 0.4 = 47.191 \text{ мм}$$

$$d_p = d + ei_D + 0,25(es_d - ei_d) \quad (2.2)$$

$$d_p = 42 - 2.5 + 0.25(-2.34 + 2.5) = 39.54 \text{ мм}$$

$$B_p = B + ei_D + 0,25(es_B - ei_B) \quad (2.3)$$

$$B_p = 8 - 0.028 + 0.25(-0.013 + 0.028) = 7.976 \text{ мм}$$

Радіус початкового кола:

$$r_{\Pi} = \sqrt{\left(\frac{D_p}{2}\right)^2 - 0,75\left(\frac{B_p}{2}\right)^2} \quad (2.4)$$

$$r_{\Pi} = \sqrt{\left(\frac{47.191}{2}\right)^2 - 0,75\left(\frac{7.976}{2}\right)^2} = 23.341 \text{ мм}$$

Знаходиться висота профілю валу.

$$h = \frac{D_p - d_p}{2} \quad (2.5)$$

$$h = \frac{47.191 - 39,54}{2} = 3,825 \text{ мм}$$

2.3. Розрахунок профіля фрези

Не залежно від конструкції фрези, необхідно розрахувати профіль різальної кромки фрези. Це досягається або аналітичним методом, або графічними методами. Так як черв'ячна фреза проектується для чистового оброблення, необхідно застосовувати більш точні методи профілювання. Перевага надаватиметься аналітичному методу, проте профіль різальної кромки буде розрахований і за допомогою графічного методу для порівняння і підтвердження аналітичних розрахунків. Розраховані аналітичні дані будуть також використані при побудові 3D моделі фрези в CAD системі.

2.3.1 Аналітичний метод

Розраховується профіль інструмента за методикою, викладений в [7, с. 139 – 144].

Профіль інструмента визначається в системі координат ХУ. Вісь У співпадає з віссю симетрії валу, вісь Х співпадає з початковою прямою. Задається рад значень координати “у”, при цьому ці значення менші висоти профіля h. Кількість розрахункових точок – 20. Координата “х” розраховується за такою методикою [7, с 139, формули 3.18 – 3.20].

$$a = \frac{B_p}{2} \quad (2.6)$$

$$\sin \gamma_e = \frac{a}{r_{\Pi}} \quad (2.7)$$

$$(\sin \alpha)_i = \frac{\sin \gamma_e}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma_e}{2}\right)^2 + \frac{y_i}{r_n}}, 0 \leq y \leq h \quad (2.8)$$

$$x_i = \frac{D_p}{2} ((\alpha - \gamma_e) - \cos \alpha (\sin \alpha - \sin \gamma_e)) \quad (2.9)$$

де i – кожне i -те положення точки. Тут $\sin \alpha$ та x це функції від координати y .

Розраховані значення координат профіля різальної кромки заносяться до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Координати точок профіля різальної кромки інструмента

y_i	$\sin \alpha$	x_i	y_i	$\sin \alpha$	x_i
0,000	0,171	0,000	2,104	0,398	0,688
0,191	0,210	0,038	2,295	0,410	0,773
0,383	0,239	0,082	2,487	0,423	0,862
0,574	0,264	0,133	2,678	0,435	0,954
0,765	0,286	0,188	2,869	0,446	1,048
0,956	0,305	0,248	3,060	0,457	1,146
1,148	0,323	0,312	3,252	0,468	1,247
1,339	0,340	0,380	3,443	0,479	1,351
1,530	0,355	0,452	3,634	0,489	1,458
1,721	0,370	0,527	3,825	0,499	1,568
1,913	0,384	0,606	-	-	-

За визначеними точками будується частина профілю різальної кромки інструмента.

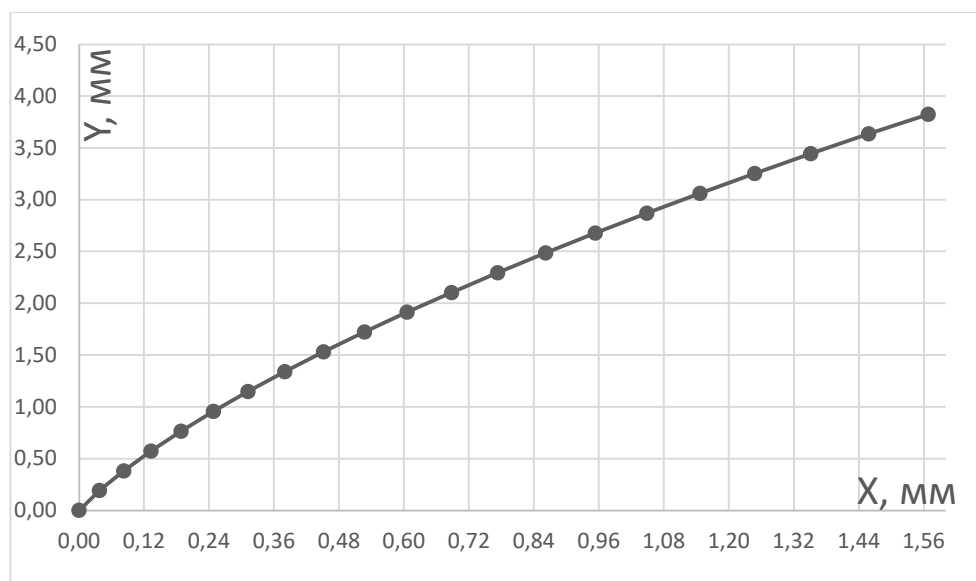


Рисунок 2.1 – Профіль різальної кромки інструмента

Тепер профіль інструмента замінюється частиною кола. Це необхідно щоб забезпечити можливість виготовлення зубу фрези.

Обираються дві реперні точки профіля з координатами $R_1(x_1, y_1)$ та $R_2(x_2, y_2)$, визначається центр дуги кола та його радіус. Обрані точки: $R_1(0,25, 0,96)$ та $R_2(0,61, 1,91)$. Координати центра дуги: x_{01}, y_{01} знаходяться за формулами:

$$x_{01} = \frac{(x_2^2 + y_2^2)y_1 - (x_1^2 + y_1^2)y_2}{2(x_2y_1 - x_1y_2)} \quad (2.10)$$

$$x_{01} = \frac{(0,61^2 + 1,91^2)0,96 - (0,25^2 + 0,96^2)1,91}{2(0,61 \cdot 0,96 - 0,25 \cdot 1,91)} = 9,445 \text{ мм}$$

$$y_{01} = \frac{(x_2^2 + y_2^2)x_1 - (x_1^2 + y_1^2)x_2}{2(x_2y_1 - x_1y_2)} \quad (2.11)$$

$$y_{01} = \frac{(0,61^2 + 1,91^2)0,25 - (0,25^2 + 0,96^2)0,61}{2(0,61 \cdot 0,96 - 0,25 \cdot 1,91)} = -1,937 \text{ мм}$$

Радіус кола визначається по формулі:

$$r_{01} = \sqrt{x_{01}^2 + y_{01}^2} \quad (2.12)$$

$$r_{01} = \sqrt{9,445^2 + (-1,937)^2} = 9,641 \text{ мм}$$

Зрозуміло, що існує певна похибка при заміні профіля дугою кола. Тому визначається похибка заміни в кожній точці профіля. Необхідно щоб похибка не перевищувала допустимого значення.

$$|P_3| < P_{\text{доп}}$$

$$P_{\text{доп}} = |es_B - ei_B| \cdot 0.3 \quad (2.13)$$

$$P_{\text{доп}} = |-0.013 + 0.028| \cdot 0.3 = 0.0045 \text{ мм}$$

P_3 розраховується за формулою:

$$P_3 = \sqrt{(x_i - x_{01})^2 + (y_i - y_{01})^2} - r_{01} \quad (2.14)$$

де x_i, y_i — координати i -ї точки профіля

Розраховані значення похибки заносяться до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Значення похибки при заміні профіля зуба частиною кола

y_i	P_3	y_i	P_3
0,00	0,00000	2,10	0,00335
0,19	0,00344	2,30	0,00823
0,38	0,00408	2,49	0,01480
0,57	0,00326	2,68	0,02318
0,77	0,00172	2,87	0,03352
0,96	0,00000	3,06	0,04592
1,15	-0,00152	3,25	0,06051
1,34	-0,00252	3,44	0,07739
1,53	-0,00275	3,63	0,09667
1,72	-0,0020	3,83	0,11845
1,91	0,00000	-	-

Будується графік розподілу похибки заміни кривої профіля дугою.

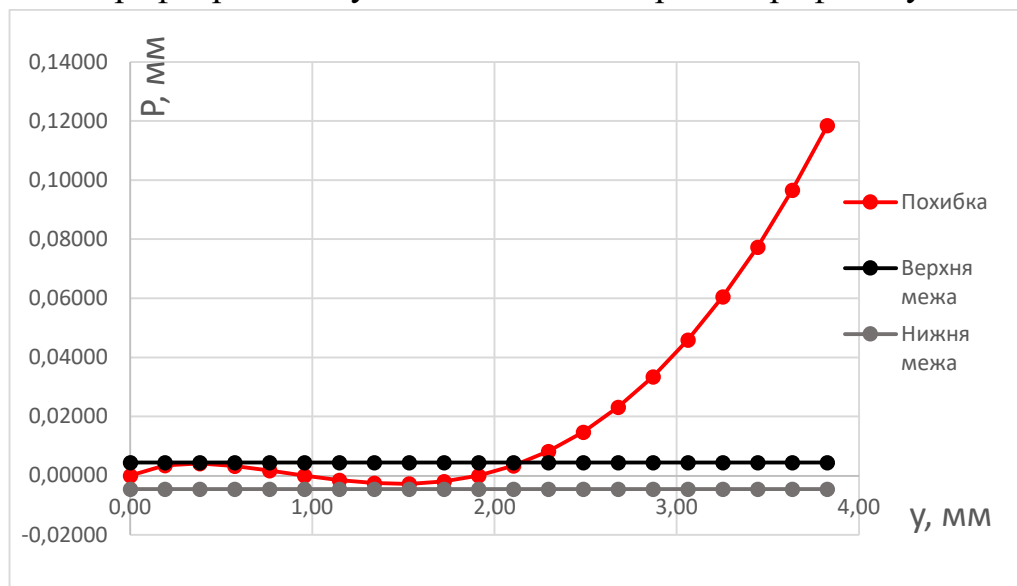


Рисунок 2.2 – Розподіл похибки при заміні частиною кола

В кінці графіка значення похибки перевищує допустиме, тому необхідно додати ще одну дугу кола. Для цього обирається третю реперну точку $R_3(x_3, y_3)$ з координатами $R_3(1,351, 3,443)$.

Параметри дуги визначаються за формулами [7, 3.26 – 3.28].

$$tg\varepsilon_0 = \frac{y_2 - y_{01}}{x_{01} - x_2} \quad (2.15)$$

$$tg\varepsilon_0 = \frac{1,913 - (-1,937)}{9,445 - 0,606} = 0.435$$

$$tg\varepsilon_3 = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} \quad (2.16)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varepsilon_3 &= \frac{3,443 - 1,913}{1,351 - 0,606} = 2,051 \\ r_{02} &= \frac{x_3 - x_2}{2 \cos \varepsilon_3 \cdot \cos (\varepsilon_0 + \varepsilon_3)} \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} r_{02} &= \frac{1,351 - 0,606}{2 \cos (1,117) \cdot \cos (1,117 + 0,411)} = 19,966 \text{ мм} \\ x_{02} &= r_{02} \cos \varepsilon_0 + x_2 \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} x_{02} &= 19,966 \cos (0,411) + 0,606 = 18,91 \text{ мм} \\ y_{02} &= y_2 - r_{02} \cdot \sin \varepsilon_0 \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$y_{02} = 1,913 - 19,966 \sin (0,411) = -6,061 \text{ мм}$$

Визначається значення похибки заміни. Дані заносяться до таблиці 2.5. Будується графік розподілу похибки при заміні профіля двома дугами.

Таблиця 2.5 – Значення похибки при заміні профіля зуба двома частинами кола.

y_i	P_z	y_i	P_z
0,00	0,0000	2,10	0,0033
0,19	0,0034	2,30	0,0036
0,38	0,0041	2,49	0,0042
0,57	0,0033	2,68	0,0043
0,77	0,0017	2,87	0,0038
0,96	0,0000	3,06	0,0029
1,15	-0,0015	3,25	0,0016
1,34	-0,0025	3,44	0,0000
1,53	-0,0027	3,63	-0,0018
1,72	-0,00197	3,83	-0,0038
1,91	0,0000	-	-

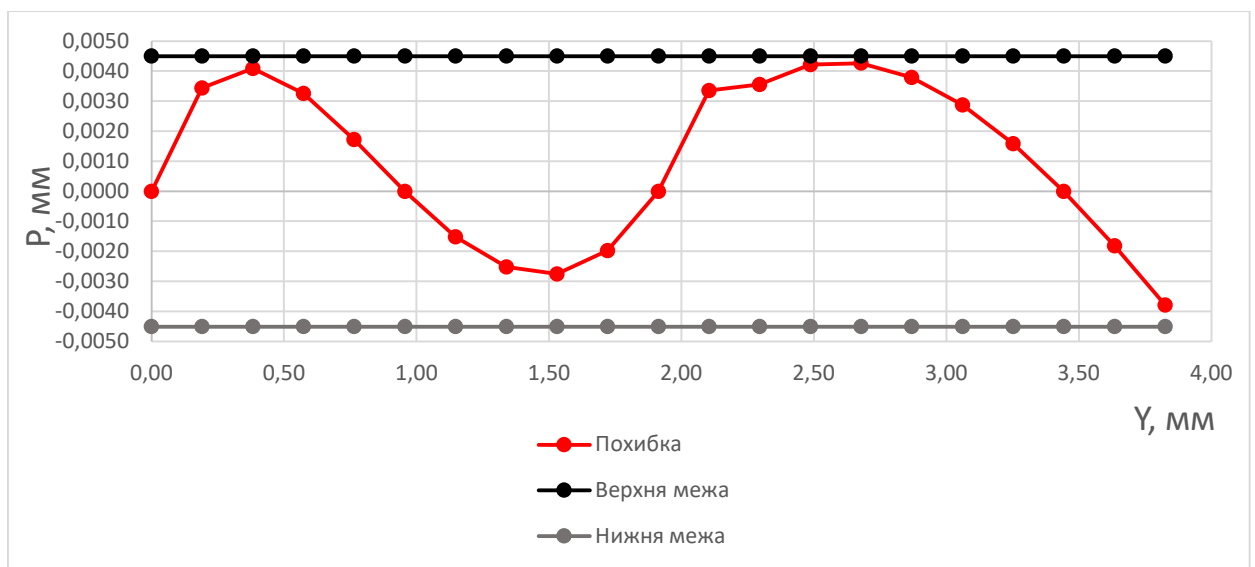


Рисунок 2.3 – Розподіл похибки при заміні двома частинами кола

Значення похибки не перевищує допустимого. Тоді профіль інструмента замінюється двома частинами кола.

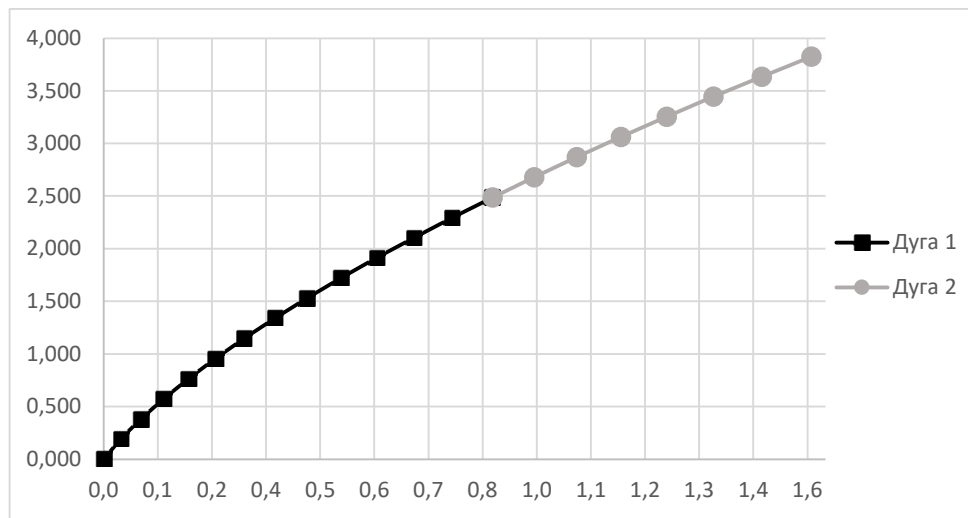


Рисунок 2.4 – Профіль різальної кромки інструмента

2.3.2 Графічний метод

Визначається профіль інструмента графічно за методикою, викладеній в [7, с.129 – 132].

За визначеними геометричними характеристиками профіля викреслюється його в середовищі INVENTOR, вимірюються параметри a та R_{max} , визначаю $\sin \gamma_m$ та r_n за формулами:

$$\sin \gamma_m = \frac{a}{R_{max}} \quad (2.20)$$

$$\sin \gamma_m = \frac{4}{23,8165} = 0,168$$

$$r_n = R_{max} \sqrt{1 - 0,75 \sin^2 \gamma_m} \quad (2.21)$$

$$r_n = 23,8165 \sqrt{1 - 0,75 \sin^2(0,1687)} = 24,07 \text{ мм}$$

Визначається різниця між радіусом початкового кола, визначеним аналітично та графічно:

$$\Delta = \left(\frac{r_{n \text{ граф}}}{r_{n \text{ аналіт}}} - 1 \right) 100 = \left(\frac{24,07}{23,34} - 1 \right) 100 = 3,1 \%$$

Похибка не велика, тому обчислення продовжуються.

Підготовча побудова.

Викреслюється коло радіуса a , початкова дуга та початкова пряма, позначаються поділки однакової довжини. Довжина дуги рівна довжині прямого відрізка прямої. Проводяться дотичні від поділок до кола радіуса a .

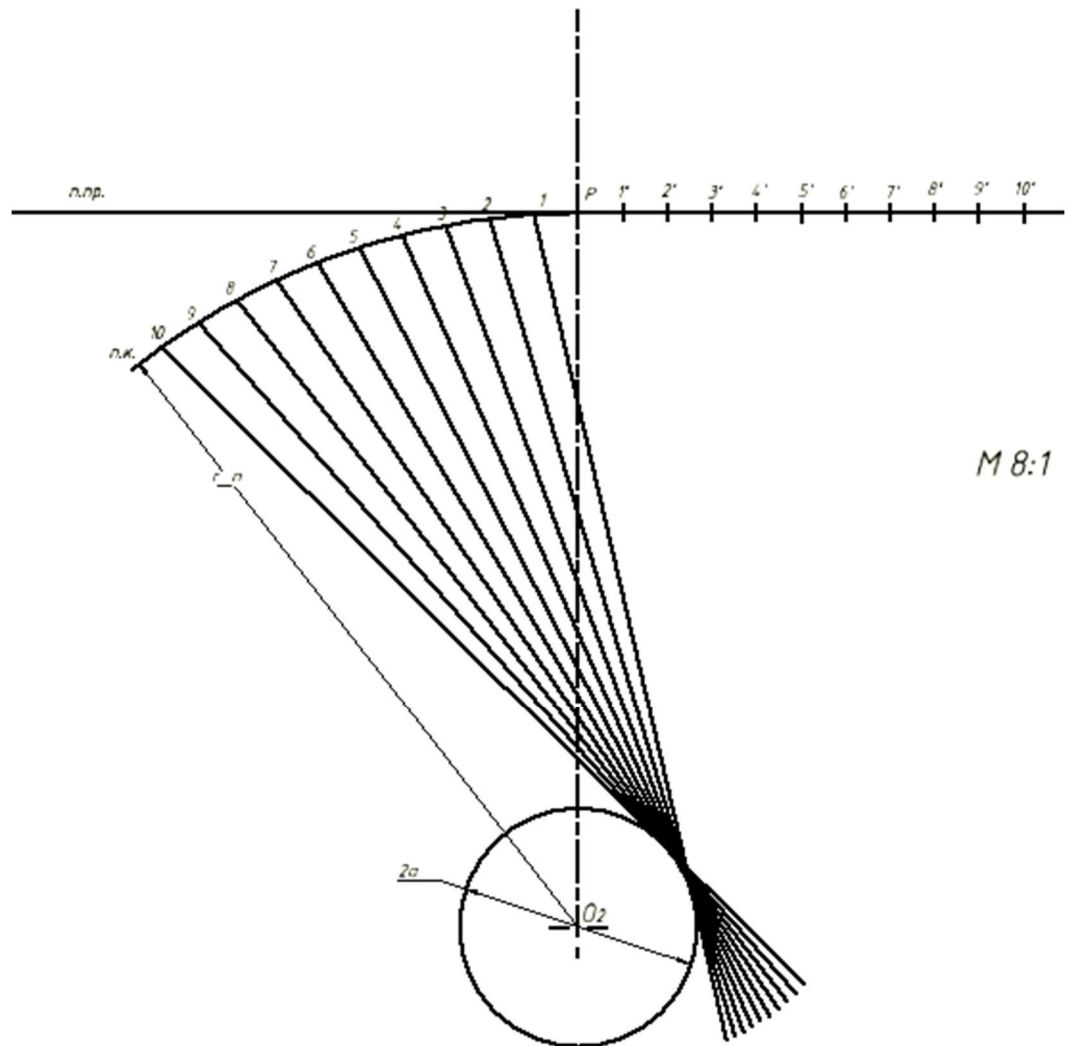


Рисунок 2.5 – Підготовча побудова

Профіль інструмента

Визначається лінія зачеплення деталі та інструмента. З полюса P опускається перпендикуляр на кожну дотичну пряму. Отримані точки позначаються з індексом 1. З'єднавши ці точки, визначається криву, яка являє собою шукану лінію зачеплення. Необхідна умова правильної побудови – плавність кривої.

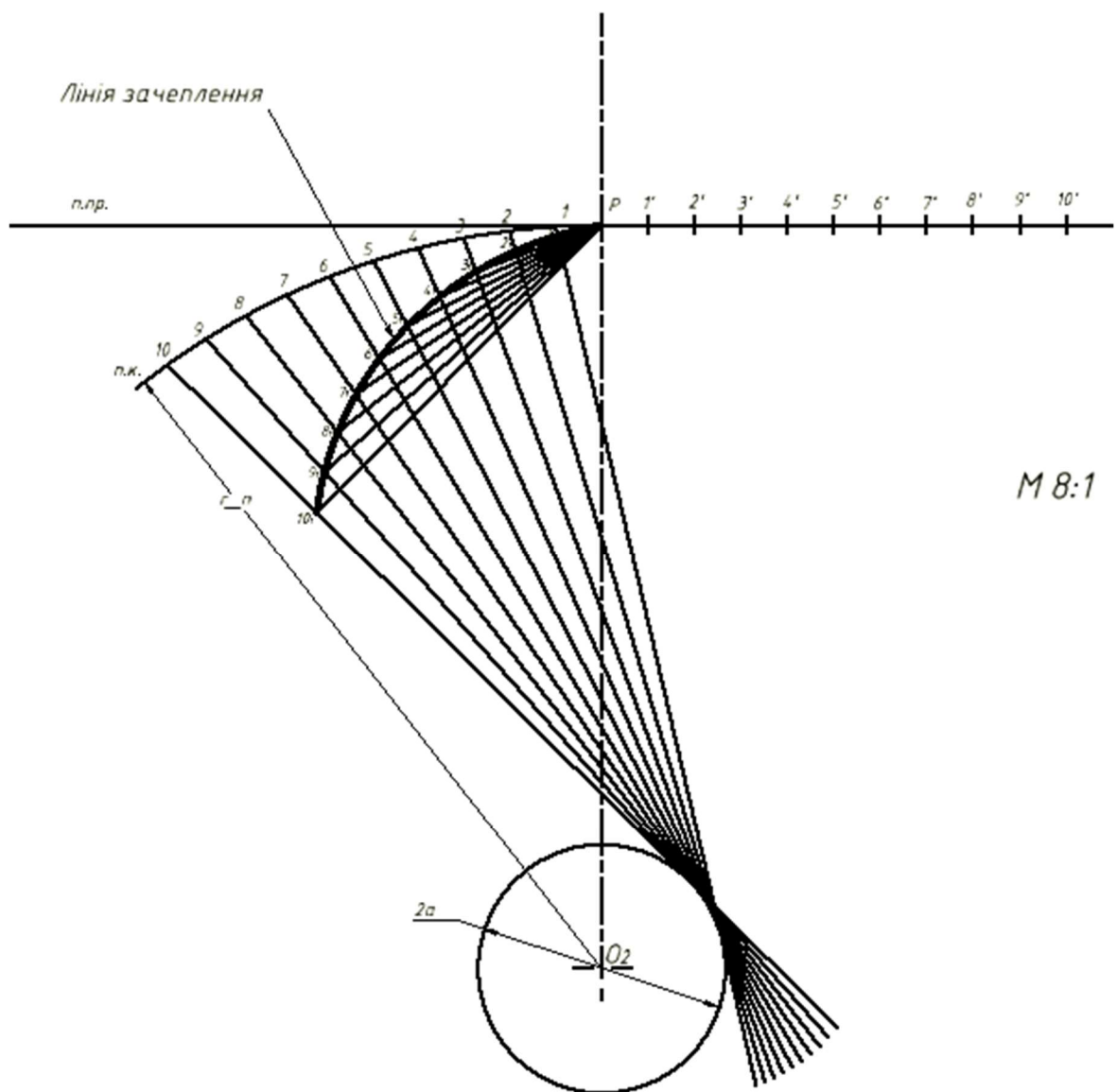


Рисунок 2.6 – Лінія зачеплення

Лінія зачеплення має плавний характер, тому побудова продовжується.

З кожної визначеної точки з індексом 1 проводиться горизонтальна пряма. Кінці цих прямих нумеруються з індексом 0. Їх довжина залежить від номеру їх положення відносно полюса Р. Довжина прямої:

$$X_1X_0 = PX'$$

де X – номер положення точки відносно полюса Р.

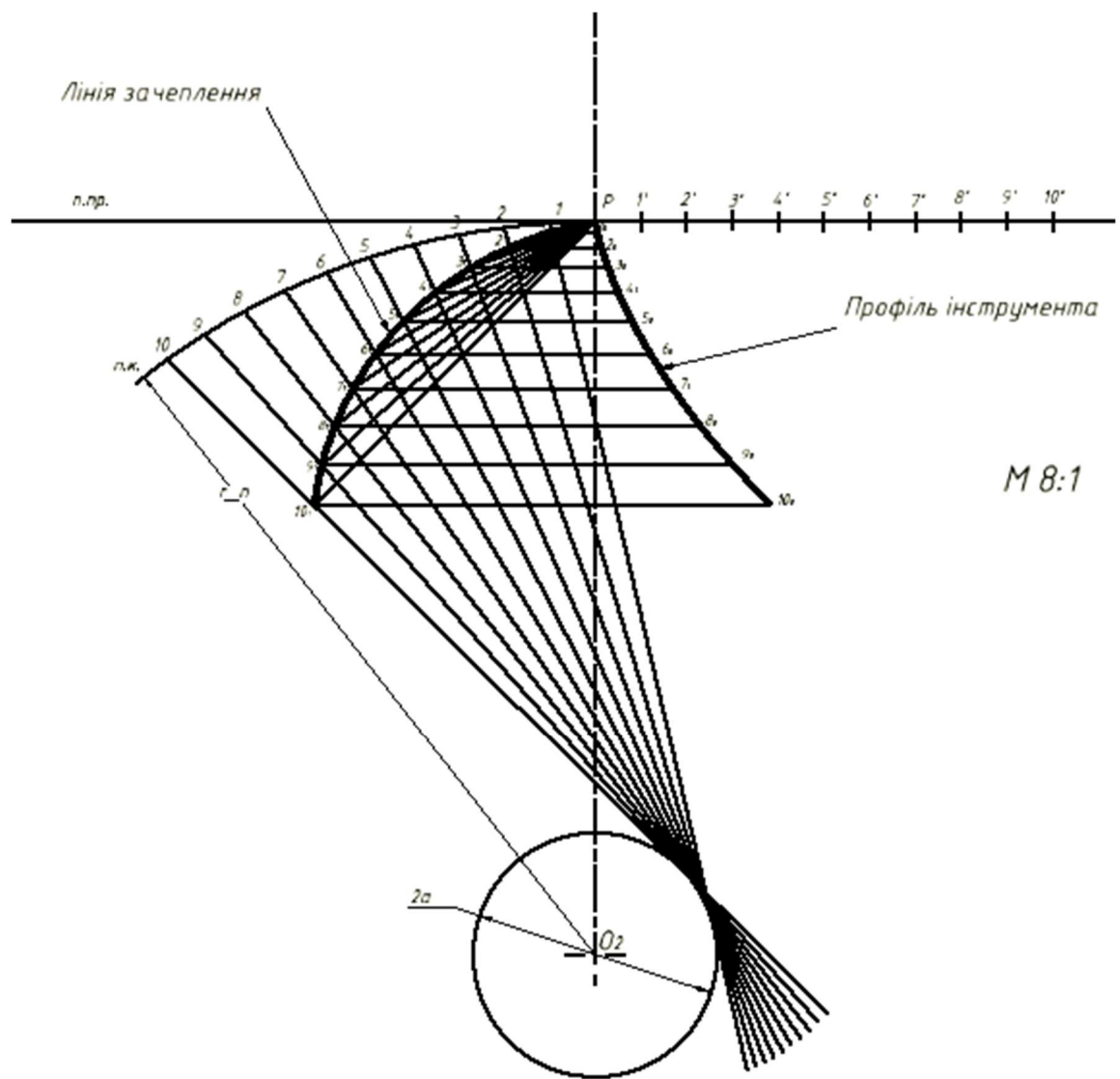


Рисунок 2.7 – Профіль інструмента

Отримана крива має плавний характер, тому побудова виконана вірно.

Щоб отримати профіль саме для певної розрахованої висоти зуба, проводиться пряму на відстані h від початкової прямої. Все, що вище цієї прямої – профіль зуба фрези для фрезерування обраного валу.

До профіля додається прямолінійна ділянка, додається такий же самий профіль зуба з іншої сторони, допоміжна геометрія видаляється. Отримується повний профіль зуба.

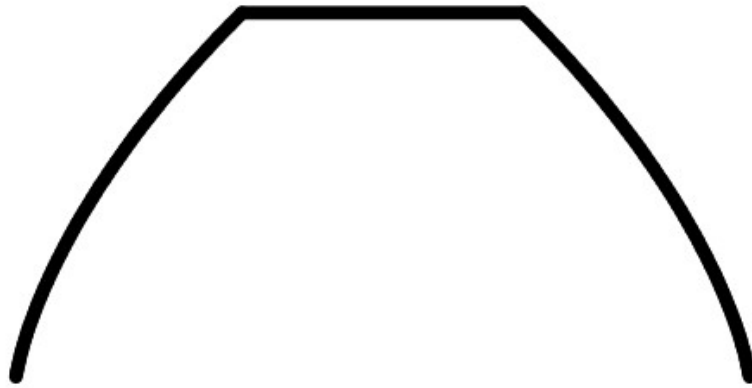


Рисунок 2.8 – Повний профілю зуба (перевернутий, допоміжна геометрія видалена)

2.3.3 Порівняння отриманих даних

Розрахувавши профіль інструмента двома способами – аналітичним та графічним, порівнюються отримані дані. Для цього в середовищі Autodesk INVENTOR вводиться система координат ОХУ, на профілі, отриманому графічно, ставляться точки та вимірюються їх координати. Потім значення цих координат порівнюється з координатами точок профіля, знайденими аналітичним способом. Результати порівняння заносяться до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Порівняння значень координат профіля різальної кромки, отриманих аналітичним та графічним методами.

Y_аналіт	X_аналіт	Y_граф	X_граф	$\Delta Y, \%$	$\Delta X, \%$
0,000	0,000	0	0	0	0
0,191	0,038	0,190	0,038	0,41	-0,66
0,383	0,082	0,382	0,081	0,07	1,77
0,574	0,133	0,575	0,132	-0,20	0,21
0,765	0,188	0,766	0,188	-0,12	0,05
0,956	0,248	0,955	0,248	0,14	-0,04
1,148	0,312	1,148	0,312	-0,07	-0,03
1,339	0,380	1,338	0,38	0,02	-0,04
1,530	0,452	1,531	0,451	-0,05	-0,02
1,721	0,527	1,722	0,527	-0,03	-0,13
1,913	0,606	1,913	0,606	-0,02	-0,07
2,104	0,688	2,103	0,687	0,02	-0,02
2,295	0,773	2,295	0,773	-0,01	0,01
2,487	0,862	2,487	0,862	-0,02	-0,06
2,678	0,954	2,677	0,954	0,03	-0,08
2,869	1,048	2,869	1,048	0,00	0,04
3,060	1,146	3,080	1,146	-0,64	0,01
3,252	1,247	3,252	1,247	-0,02	0,02
3,443	1,351	3,444	1,351	-0,03	0,00
3,634	1,458	3,634	1,458	0,01	-0,03
3,826	1,568	3,825	1,568	0,00	0,01

Максимальне значення похибки не перевищує 2%, тому профілювання виконане вірно.

2.4. Розрахунок конструктивних параметрів фрези

Зважаючи на тип шліцьового з'єднання, та орієнтуючись на ГОСТ 8027-86, обирається цільна конструкція фрези на основі Архімедового, однозахідного, правозахідного черв'яка. Це один із найрозповсюдженіших типів фрез, дешевий та простий у виготовленні. Фреза на основі однозахідного черв'яка дозволить обробляти вал з більшою точністю. Продуктивність такої фрези буде нижчою від багатозахідного, а отже і збільшиться час оброблення. Проте якщо виготовити фрезу, яка буде оброблювати вал з високою точністю, можна позбутися необхідності шліфувати шліцевий вал після оброблення. Тому знижена продуктивність такої фрези компенсується економією часу та ресурсів на операції шліфування валу після нарізання шліців. Також, при використанні фрези на основі однозахідного черв'яка, зменшуються сили різання, що сприяє збільшенню точності оброблення фрези.

Отже, для фрезерування прямобічного шліцевого валу було обрано тип фрези, який дозволить отримати точно виготовлену деталь без необхідності у подальшому її шліфуванні.

Далі необхідно розрахувати параметри, необхідні для виготовлення фрези.

Розрахунок проводиться за методикою [7, 3.6, с. 147 – 150].

Розраховується крок зубців в нормальному перерізі:

$$t_n = \frac{2\pi r_n}{N} \quad (2.22)$$

де N – кількість шліців валу

$$t_n = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 23,341}{8} = 18.332 \text{ мм}$$

Розраховується товщину зуба фрези у нормальному перерізі:

$$\sin \gamma = \frac{B_p}{2r_n} \quad (2.23)$$

$$\sin \gamma = \frac{7,976}{2 \cdot 23,332} = 0,17$$

$$S = 2r_n \left(\frac{\pi}{N} - \gamma \right) \quad (2.24)$$

$$S = 2 \cdot 23,332 \left(\frac{3,14}{8} - 0,171 \right) = 10.317 \text{ мм}$$

Ця відстань вимірюється між боковими сторонами зуба по початковій прямій.

Діаметр посадкового отвору під оправку, діаметр внутрішньої проточки, зовнішній діаметр фрези та додаткові параметри для конструювання фрези визначаються в залежності від визначеного кроку зубців по довжині осі фрези. Приймається: $D_\phi = 100$ мм, $d_{от} = 32$ мм, $d_{прот} = 40$ мм, $D_1 = 48$ мм (діаметр буртів), розміри фаски бурта та фаски посадкового отвору $f_1 = 0,5$ мм, $f_2 = 2$ мм, довжина бурта $c_{1\ min} = 4$ мм.

Розраховуючи довжину фрези необхідно передбачити оброблення валу декількома рядами зубів. При затупленні одного ряду, вал оброблятиметься іншими рядами. Тому приймається довжина фрези рівною 100 мм.

$$L = 100 \text{ мм}$$

Знаходиться довжина посадкового отвору:

$$l = (0.2 \dots 0.3)L = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ мм}$$

Визначається кількість зубів фрези. Для цього необхідно уточнити режим роботи фрези, а саме значення подачі на зуб та товщину зрізаного шару. Глибина фрезерування рівна висоті шліця що оброблюється, так як фреза

оброблює вал за один прохід, тому $t = 2,9$. Подача на зуб S обирається рівною 0,2 мм/зуб [7, с. 148]. Тоді кількість зубців фрези:

$$Z = \frac{0.2 D_{\phi}}{t^{0.5} S^{0.5}} \quad (2.25)$$

$$Z = \frac{0.2 \cdot 100}{3,8255^{0.5} 0,2^{0.5}} = 22,8 \approx 22$$

Розрахована кількість зубів вважається зовеликою. Це підвищить трудоемкість виготовлення фрези, а саме її затилування та шліфування. Тому вважається потрібним зменшити кількість зубів.

Приймається $Z = 10$.

Розраховується величина затилування. Для цього необхідно призначити передній та задній кут. Для збереження симетричності профіля передній кут γ обирається рівним 0° . Задній кут α_B приймається рівним 10° . Тоді величина першого затилування K :

$$K = \frac{\pi D_{\phi}}{Z} \operatorname{tg} \alpha_B \quad (2.26)$$

$$K = \frac{3.14 \cdot 100}{10} \operatorname{tg} 10^\circ = 5,539 \text{ мм}$$

Приймається величина затилування $K = 5,5$ мм.

Також обчислюється значення заднього кута α_B на бічних сторонах зуба. Враховуючи розподіл задніх кутів по профілю зуба, необхідно знайти критичне значення α_B , тобто найменше із всіх значень кутів α_B . Воно на ділянці зуба біля його основи. Для цього обчислюється кут між віссю фрези та дотичною до профіля зуба у точці біля його основи ξ :

$$\xi = \operatorname{atan} \left(\left| \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \right| \right) \quad (2.27)$$

де y_i, x_i — координати профіля фрези у точці біля основи зуба
 y_{i+1}, x_{i+1} — координати наступної точки

$$\xi = \operatorname{atan} \left(\left| \frac{0,19 - 0}{0,04 - 0} \right| \right) = 78.84^\circ$$

Тоді, задній кут бокової поверхні зуба α_B :

$$\alpha_B = \operatorname{atan}(\tan(\alpha_B) \cos(\xi)) \quad (2.28)$$

$$\alpha_B = \operatorname{atan}(\tan(10^\circ) \cos(78.84^\circ)) = 1,96^\circ$$

Розраховується загальна висота зубу фрези. Для цього враховується висота шліца h , глибина канавки для виходу шліфувального круга h_k (приймається 2 мм), радіус заокруглення дна канавки r (приймається 0,5 мм) та розміри фаски C (0,8 мм) [7]:

$$h_{\text{заг}} = h + h_k + C \quad (2.29)$$

$$h_{\text{заг}} = 3,825 + 2 + 0,8 = 6,625 \text{ мм}$$

Виконується перевірка вірності габаритних розмірів фрези [7, формула 3.47]:

$$\left(\frac{D_\phi - d_{\text{от}}}{2} - h_{\text{заг}} - K \right) \geq 0,35d_{\text{от}} \quad (2.30)$$

$$\left(\frac{100 - 32}{2} - 6,625 - 5,5 \right) \geq 0,35 \cdot 32$$

$$21,84 \geq 11,2 - \text{умова виконується}$$

Розраховується друге затилування K_1 [7, формула 3.48]:

$$K_1 = 1,4 \cdot K \quad (2.31)$$

$$K_1 = 1,5 \cdot 5,5 = 7,7 \text{ мм}$$

Розраховуються розміри канавки для виходу стружки.

Радіус заокруглення канавки r_2 приймається рівним 2 мм.

Глибина канавки:

$$H = h_{\text{заг}} + r_2 + \frac{K + K_1}{2} \quad (2.32)$$

$$H = 6,625 + 2 + \frac{5,5 + 7,7}{2} = 15,226 \text{ мм}$$

Глибина канавки приймається рівною 15 мм.

Кут канавки приймається $\delta = 25^\circ$ [7].

Розраховується крок зубців по зовнішньому колу $t_{\text{кол}}$:

$$t_{\text{кол}} = \frac{\pi D_\phi}{Z} \quad (2.33)$$

$$t_{\text{кол}} = \frac{3,1426 \cdot 100}{10} = 31,416 \text{ мм}$$

Визначається середній розрахунковий діаметр фрези D_t [11, с. 464, пункт 45]:

$$D_t = D_\phi - h \cdot 2 - 0,25 \cdot K \quad (2.34)$$

$$D_t = 100 - 3,8255 \cdot 2 - 0,25 \cdot 5,5 = 90,974 \text{ мм}$$

Знаходиться кут нахилу стружкової канавки ω :

$$\omega = \text{atan} \left(\frac{t_\pi}{D_t \pi} \right) \quad (2.35)$$

$$\omega = \arctan\left(\frac{18,3323}{90,974 \cdot 3,1426}\right) = 3,6701^\circ \approx 3^\circ 40'$$

Розраховується крок стружкової канавки H :

$$T = \frac{D_t \pi}{tg \omega} \quad (2.36)$$

$$T = \frac{90,974 \cdot 3,1426}{tg(3,67^\circ)} = 4455,716 \text{ мм}$$

Осьовий крок зубців:

$$t_x = \frac{t_n}{\cos \omega} \quad (2.37)$$

$$t_x = \frac{18,332}{\cos 3,67^\circ} = 18,369 \text{ мм}$$

Товщина зуба в осьовому напрямку:

$$S_{ox} = \frac{S}{\cos \omega} \quad (2.38)$$

$$S_{ox} = \frac{10,317}{\cos 3,67^\circ} = 10,338 \text{ мм}$$

Товщина вершини зуба:

$$S_b = S - 2 \cdot x_{i \max} \quad (2.39)$$

де $x_{i \max}$ — значення найбільш віддаленої точки профіля різальної кромки зуба фрези відносно його основи

$$S_b = 10,317 - 2 \cdot 1,568 = 7,180$$

Товщина вершини зуба в осьовому напрямку:

$$S_{b \text{ ox}} = \frac{S_b}{\cos \omega} \quad (2.40)$$

$$S_{ox} = \frac{7,180}{\cos 3,67^\circ} = 7,195 \text{ мм}$$

2.5 Модернізація конструкції фрези

Розроблена черв'ячна фреза виконує чистове оброблення шліцьового прямобічного валу. Тому необхідно забезпечити точність обробленої вихідної поверхні шліців. Після аналізу сучасної літератури було вирішено знайти спосіб зменшення зусиль різання фрези. Це призведе до збільшення точності обробки через те, що при зменшенні зусилля різання буде менше деформуватись система верстату (деталь, фреза та пристосування, у якому вони закріплені). Також через зменшення зусилля різання зменшиться і потужність, яка необхідна на виконання процесу обробки.

У якості прикладу було обрано черв'ячну фрезу для обробки евольвентного зубчатого колеса зроблена з прогресивною схемою зрізання припуску. Це схема передбачає виконання спеціальних канавок на зубцях фрези. Ці канавки ділять стружку на частини, тим самим зменшуючи ширину контакту вершини зуба фрези та оброблюваної деталі. Форма стружки змінюється з П – образної на Г – образну [8, пункт 6.4]. У результаті за такої простої конструкції отримується вигрaш у точності оброблення та економічності [8, 6.4.1].

Тому було вирішено запозичити використання такого принципу ділення стружки, та модернізувати черв'ячну фрезу для нарізання прямобічного шліцьового валу.

На різальній кромці виконуються стружко роздільні канавки. Щоб зберегти вихідний профіль деталі, канавки чередуються на кожному зубі. Умовно вони діляться на типи: А та Б. На одному зубі виконуються три стружко роздільні канавки: одна на вершині різальної кромки і по одній на бічній грані, тип А.

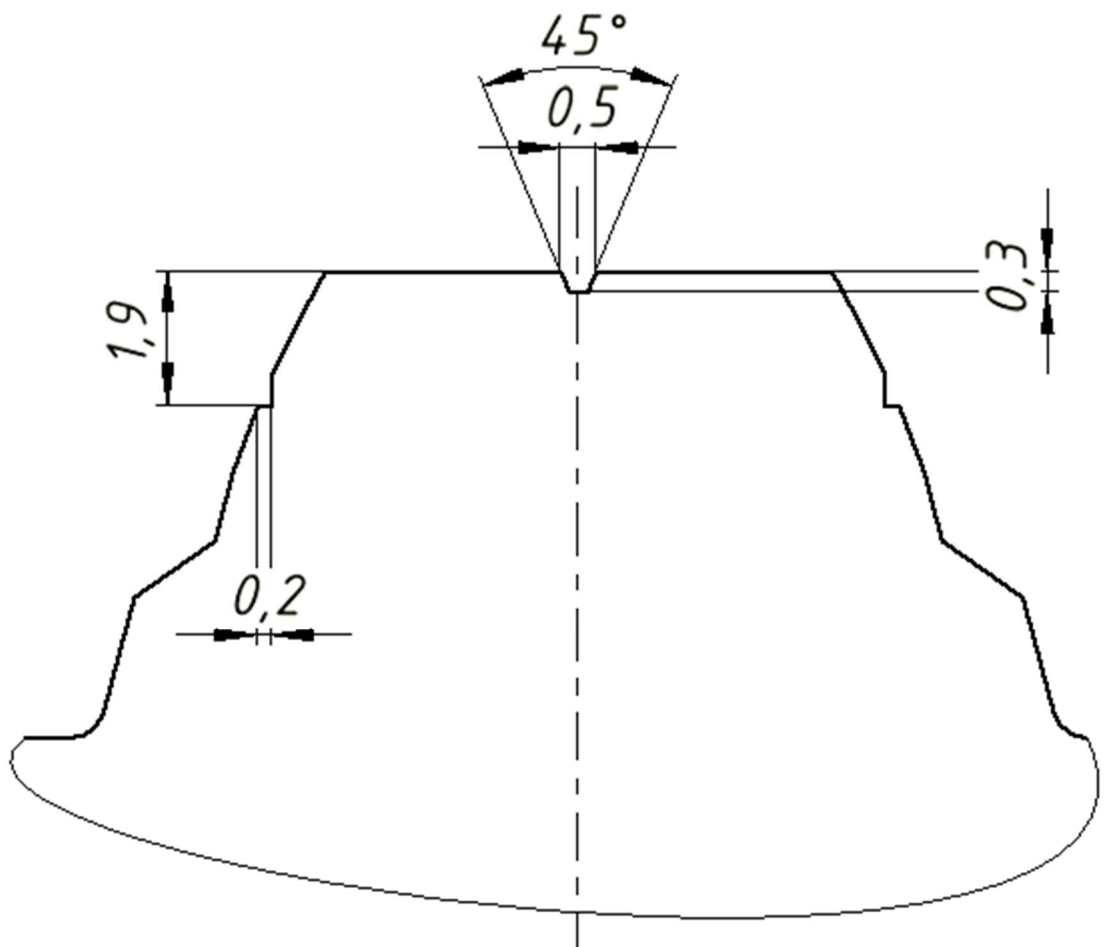


Рисунок 2.9 – Профіль різальної кромки фрези з стружко роздільними канавками (А)

На іншому зубі виконується шість канавок для поділу стружки: дві на вершині різальної кромки і по дві на кожній бічній стороні, тип Б.

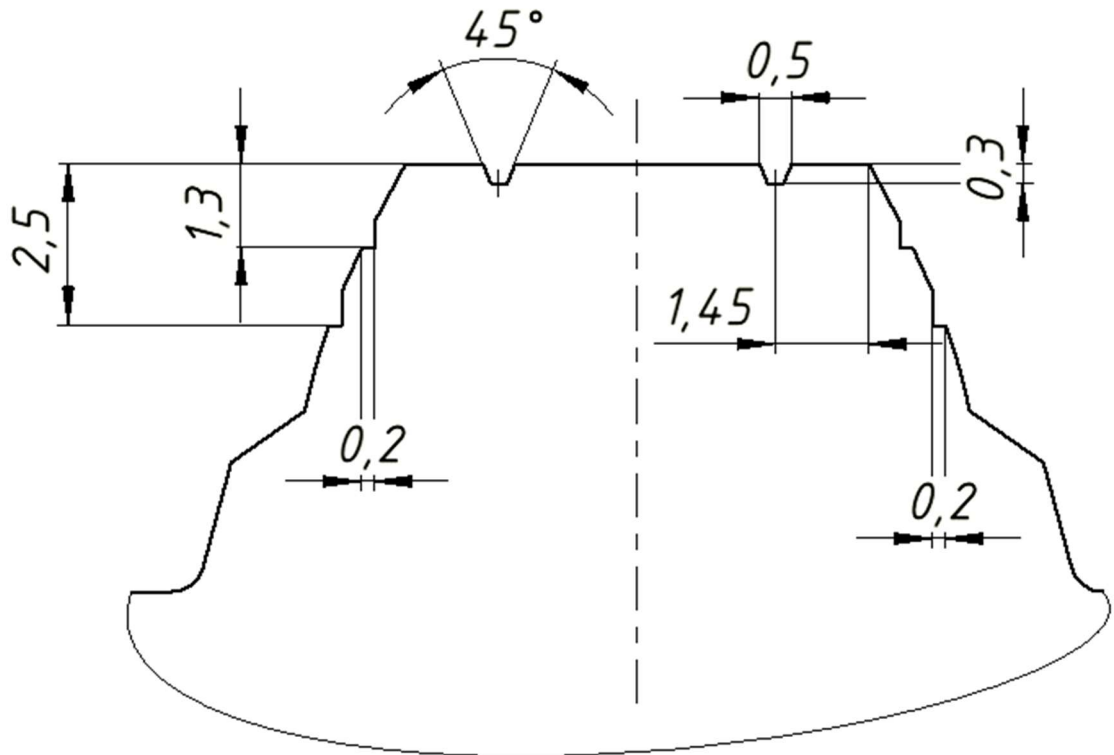


Рисунок 2.9 – Профіль різальної кромки фрези з стружко роздільними канавками (Б)

Виготовлення таких канавок є не дорогим. Траєкторія канавки співпадає з траєкторією затилування, тому їх можна виготовляти відразу після затилування різцем. Форма канавки не має значного впливу на вихідну поверхню, проте найдоцільніше виконувати канавку у формі трикутника, трапеції або круга. Глибина та ширина канавки має бути відповідної форми, щоб розділяти стружку. Тобто глибина канавки повинна бути більшою за товщину зрізуваного шару.

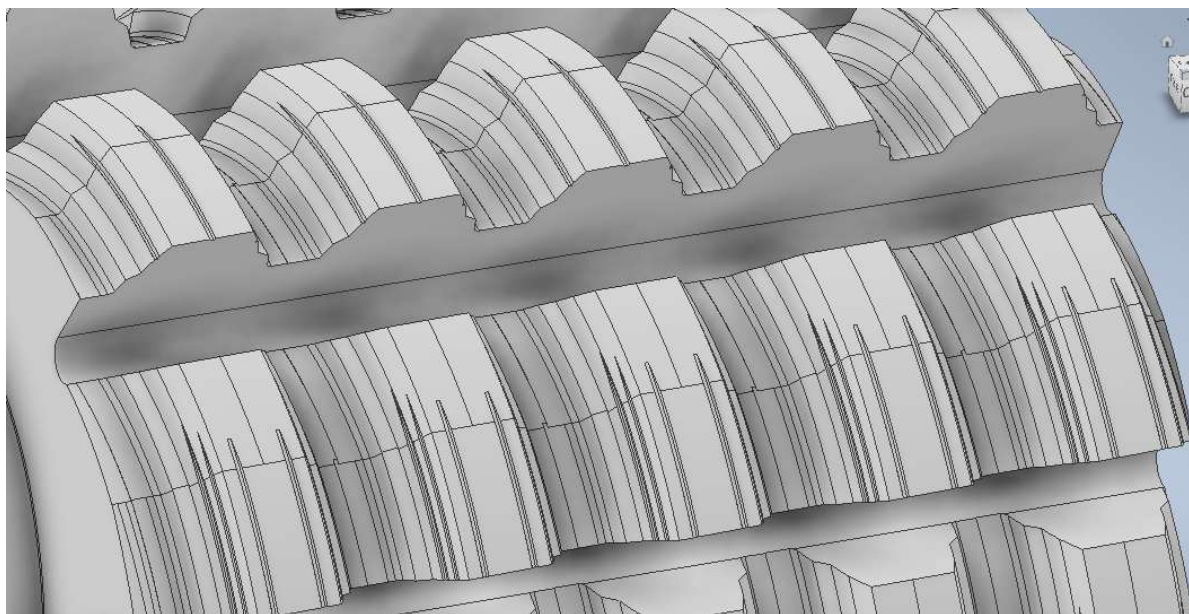


Рисунок 2.10 – Стружко роздільні канавки на 3D моделі фрези

3. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЦІЛЬНОЇ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ФРЕЗИ ДЛЯ ОБРОБКИ ШЛІЦЬОВОГО ВАЛУ

3.1 Вибір матеріалу

Важливо обрати матеріал фрези. Процес різання відбувається на великій швидкості та супроводжується значним виділенням тепла. До того ж, матеріал інструмента має бути міцнішим та твердішим за оброблюваний, мати корозійну стійкість та піддаватися термообробці, яка буде надавати необхідних властивостей матеріалу.

Термообробці піддаються практично всі сталі, вміст вуглецю в яких більше 0.3%. Проблема корозії та міцності вирішується легуванням. Залишається проблема – збереження властивостей інструментального матеріалу при його нагріванні близько 500-600°C. Тобто, матеріал повинний мати високу червоностійкість. Такі властивості мають лише швидкорізальні сталі. Вони здатні зберігати свої властивості за температури 600-620°C [6]. За використання таких сталей можливе підвищення швидкостей різання. Хімічний склад швидкорізальних сталей наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад швидкорізальних сталей

Марка сталі	C	Cr	W	V	Mo
P18	0,7 – 0,8	3,8 – 4,4	17,5 – 19	1,0 – 1,4	0,5 – 1,0
P12	0,8 – 0,9	3,1 – 3,6	12 – 13	1,5 – 1,9	До 0,1
P6M3	0,85 – 0,95	3,0 – 3,5	5,5 – 6,5	2,0 – 2,5	3,0 – 3,6
P6M5	0,8 – 0,88	3,8 – 4,4	5,5 – 6,5	1,7 – 2,1	5,0 – 5,5

Хром надає корозійної стійкості, а вольфрам, ванадій та молібден мають теплостійкість, твердість та велику міцність, що надає сплаву необхідних властивостей для виконання високопродуктивного різання. Хоча вартість таких сталей є значною, цей недолік компенсується великою довговічністю виробу, яка забезпечується хімічним складом та складною технологією термообробки (відпал, оброблення матеріалу, високотемпературне гартування та багатократний відпуск).

Обирається матеріал фрези, користуючись рекомендаціями [6, таблиця 21] – сталь P6M5.

Тип інструмента	Рекомендуемая сталь
Резцы и резцовые головки: фасонные на автоматах долбежные, строгальные, отрезные	P18, P12Ф3, 10P8M3* P6M5, P12, P9
Сверла: для обработки металлов с <i>HV</i> 260–280 для обработки металлов большой твердости для труднообрабатываемых сплавов	P6M5, P6M3, P12 P12Ф3, 10P8M3 P12Ф4K5, P8M3K6C, P9M4K8Ф
Фрезы: резьбовые, червячные то же для резания с высокой скоростью то же для резания труднообрабатываемых сплавов	P6M5, P8M3, P12, P18 P12Ф4K5, P8M3K6C P12Ф4K5, P8M3K6C, P9M4K8Ф
Долбяки, шеверы	P6M5, P8M3, P12
Метчики: машинные	P6M5, P18, P8M3K6C
ручные	У11А, У12А, 11ХФ
Плашки круглые: для нарезания мягких металлов для нарезания твердых металлов	XBCГ P6M5, P8M3
Развертки: машинные	P6M5, P8M3, P12, P12Ф3
то же для труднообрабатываемых сплавов	P8M3K6C
ручные	XBCГ, P6M5, P8M3
Зенкеры: для обработки мягких металлов для обработки твердых металлов	P6M5, P8M3, P12 P9M4K8Ф, P8M3K6C

Рисунок 3.1 – Перелік рекомендованих швидкорізальних сталей [6]

Обработка матеріалу.

Швидкорізальні сталі після виготовлення мають форму прутків переважно круглого перерізу. Спосіб виготовлення заготовки – кування.

3.2 Підготовка заготовки

Важливим етапом є підготовка заготовки до оброблення. Заготовка формується куванням. Це тому, що швидкорізальні сталі належать до карбідного класу, тобто легуючі елементи є карбідоутворюючими. Основними карбідними елементами є ванадій та вольфрам. При виготовленні сплаву можливе утворення карбідної ліквіації – ділянки нерозчиненої евтектики [6, с. 31]. При куванні внутрішня енергія деформації збільшується, утворюється так звана “текстура”. При нагріванні, коли забезпечується температура рекристалізації (ізотермічний відпуск), ця енергія переходить в кінетичну енергію атомів, внаслідок чого ліквіація зменшиться. І чим більший степінь деформації, тим більше енергії деформації буде в зернах, тим успішніше усувається карбідна неоднорідність. Тому заготовка отримується куванням. Має сенс застосовувати все сторонню ковку. Для обраного матеріалу температура кування 1160°C [5, с. 11].

Після кування застосовується ізотермічний відпуск. Заготовка нагрівається до температури рекристалізації, витримується та охолоджується до точки існування аустеніту, та витримується із незначним переохолодженням поки весь аустеніт не перетвориться в ферит.

Завдяки термообробці в заготовці зменшується карбідна ліквідація та залишкові напруження, внаслідок рекристалізації зникає анізотропність матеріалу (ліквідація “текстури” після кування), знижується твердість матеріалу. Це дасть змогу легше обробити заготовку. Послідовність термообробки:

- 1) Нагріти заготовку до температури відпуску – 860-880 °C
- 2) Витримувати 30 хв при заданій температурі
- 3) Заготовку перенести в іншу піч з температурою 740-750 °C
- 4) Витримувати 30 хв при заданій температурі
- 5) Охолоджувати заготовку на повітрі

Параметри заготовки розраховуються з врахуванням припусків на оброблення [5, таблиця 3]. Для визначеного діаметра ($D = 100$ мм) та довжини ($L = 90$ мм) припуск по діаметру заготовки $Z_D = 5^{+2,5}$ мм та припуск на довжину заготовки $Z_L = 5^{\pm 1}$ мм

3.3 Токарне оброблення заготовки

Заготовка оброблятиметься на токарному верстаті з револьверною головкою, бо буде необхідно використовувати декілька інструментів для обробки.

Чорнова обробка. Спочатку заготовка затискається в патроні, оброблюється поверхня заготовки до кулачків, здійснюється свердління отвору, підрізання торця, розточується борт, розточується фаска. Потім заготовка повертається, знову затискається в патрон, отвір досвердлюється та розточується, дооброблюється поверхня, підрізається другий торець, створюється фаска.

Після чорнкової обробки необхідно точно обробити отвір. Він слугуватиме базою для чистової обробки, заготовка встановлюватиметься на конусній оправці, що в подальшому забезпечить перпендикулярність торців відносно осі заготовки та концентричність зовнішньої поверхні. Оброблення отвору здійснюється протягуванням. Це забезпечить достатню точність обробки отвору.

Чистова обробка. Заготовка базується на оправці. Обробляється поверхня заготовки, торці, бурти, фаски біля буртів. Потім заготовка перехоплюється в патрон по зовнішній поверхні, та оброблюються фаски отворів.

3.4 Шліфування торців заготовки

На одному верстаті може оброблюватись декілька фрез одночасно. В залежності від довжини фрез, на одній оправці розміщуються від 2 до 4 фрез. Потім фрезерується черв'як, стружкові канавки та затилюються зуби. Тому необхідно забезпечити точну посадку серії фрез на оправці. Так як посадковий отвір оброблений протягуванням, він потребує подальшого шліфування лише після термічної обробки. Залишається обробити торці заготовки, щоб забезпечити точність розташування фрез в осьовому напрямку.

Шліфування відбувається на плоскошліфувальному верстаті, закріплення заготовки відбувається на магнітній плиті. Биття торців не більше 0.03 мм [5, с. 38], шліфування плоске торцем круга.

Так як обраний матеріал – швидкорізальна сталь Р6М5, доцільно використовувати в якості абразивного матеріалу електрокорунд білий марки 25А, зернистістю 25, яка дає шорсткість 0.63 мкм. Зв'язка круга – керамічна, для сталі Р6М5 марка зв'язки – К8, твердість: СМ2. Вміст абразивного зерна: 50 %.

Режим оброблення: швидкість круга 30-35 м/с, повздовжня подача 8-10 мм/хід, поперечна подача 0.3-0.6 мм/хід, глибина шліфування – 0.04-0.1 мм/подв.хід, з охолодженням. Склад охолоджуючої рідини: 3% емульсолу НГЛ-205 або «Укринол-1», решта - вода.

Шліфування виконується кругом плоского прямого профіля, геометричні параметри круга – довільні.

3.5 Фрезерні операції

Після токарного оброблення необхідно створити профіль черв'яка. Обирається за основний черв'як – черв'як Архімеда.

Оброблення буде відбуватись на різьбофрезерному верстаті дисковою фрезею з різним направленням зубів. Для підвищення продуктивності обробка ведеться відразу декількох заготовок одночасно. Для цього вони розміщуються на спеціальній оправці, яка кріпиться на верстаті.

Контроль обробки здійснюється спеціальними інструментами. Кут профіля черв'яка контролюється спеціальним профілем, крок спіралі – штангенциркулем, ширина зуба – зубоміром.

Створення стружкових канавок виконується на універсально-фрезерному верстаті в ділильній головці. Заготовка кріпиться на оправці, стіл верстата з заготовкою повертається на кут, який дорівнює куту нахилу стружкових канавок.

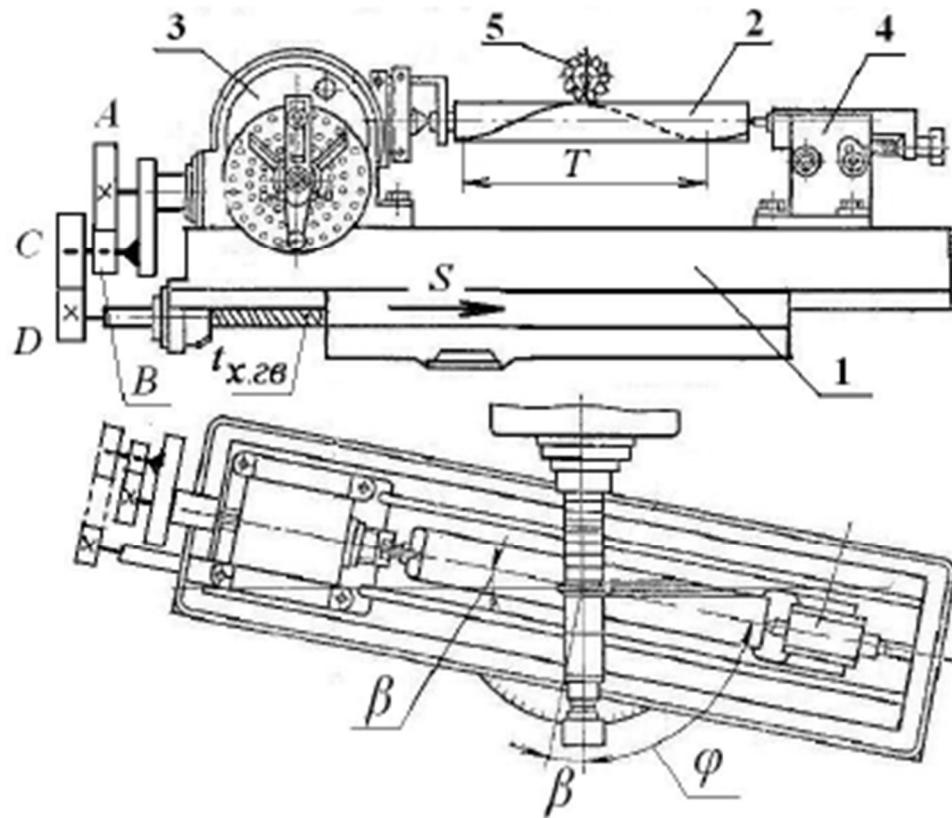


Рисунок 3.2 – Схема нарізання спіральних канавок [9]

Для фрезерування канавки необхідно забезпечити певну кінематику руху, а саме взаємність руху подачі фрези (переміщення стола відносно фрези в повздовжньому напрямку стола) та обертання заготовки навколо власної осі. За один оберт деталі, стіл переміщується на величину кроку спіралі. З [9] знаходиться передатне відношення змінних коліс гідари головки за формулою:

$$\frac{A \cdot C}{B \cdot D} = \frac{t_x}{40 \cdot t_{x,гв}} \quad (3.1)$$

Тут $t_{x,гв}$ – крок ходу гвинта. Для різних верстатів він має власне значення, тому при виготовленні фрези налаштування кінематики переміщення виконується на місці.

Після формування тіла зубів виконується видалення неповних зубів, тобто зубів, товщина основи яких становить 60% і менше від визначеної. Ці зуби видаляються шляхом фрезерування кінцевою фрезою.

3.6 Заточування поверхонь зубів перед затилюванням

Перед затилюванням шліфується передня поверхня зубів. Марка шліфувального круга так ж, як для операції з шліфування торців: електрокорунд білий марки 24А, зернистістю 25, зв'язка круга – керамічна, для сталі Р6М5 марка зв'язки – К8. Вміст абразивного зерна: 50 %.

Форма шліфувального круга – круг плоский конічного профіля (ЗП) [7, табл. 169]. Виходячи з параметрів стружкової канавки, максимальний кут нахилу конуса – 25° , максимальний радіус заокруглення – 2 мм. Тому обираються конструкційні параметри круга: зовнішній діаметр $D = 80$ мм, посадковий діаметр $d = 20$ мм, висота круга $H = 10$ мм.

Позначення круга: ЗП – 80х20х10 – 24А25 – К8

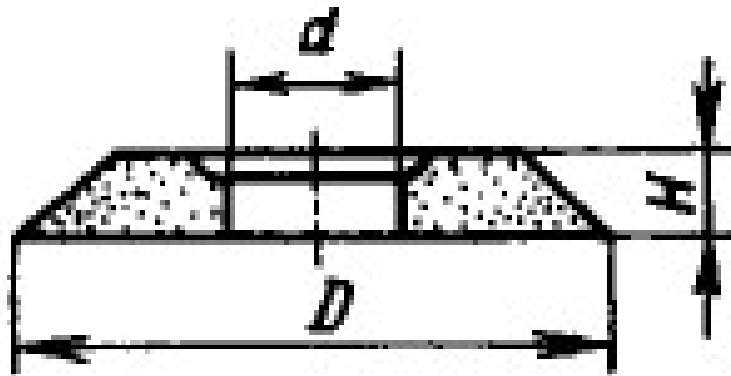


Рисунок 3.3 – Ескіз шліфувального круга

Режим оброблення: швидкість круга 20-25 м/с, повздовжня подача 3-6 м/хв, глибина шліфування – 0.04-0.06 мм/пдв. хід, з охолодженням. Склад охолоджуючої рідини: 3% емульсолу НГЛ-205 або «Укринол-1», решта – вода.

3.7 Затилювання

Задня поверхня зуба фрези утворюється так, щоб після її зношення при переточуванні фрези профіль зуба був такий, як початковий. Тобто необхідно забезпечити збереження профіля зуба. Для цього застосовується затилювання фрези. Саме затилювання здійснюється по спіралі Архімеда. В свою чергу, передній кут зубу рівний нулю.

Для затилування фреза кріпиться в оправці. Процес різання відбувається за трьох рухів: обертальний рух фрези навколо своєї повздовжньої осі, зворотно-поступальний рух різального інструмента перпендикулярно повздовжній осі фрези та рух подачі різального інструмента паралельно повздовжній осі фрези. Подача відбувається на осьовий крок зубів фрези $t_x = 18.37$ мм за один оберт шпинделя. Тобто після кожного наближення затилувального різця та обробки зуба, різець переміщується паралельно осі фрези на $\frac{t_x}{Z}$ мм.

Приводиться розрахунок кінематики затилування на прикладі верстата 1Б811 за теоретичними даними з [5, с. 42 – 52].

Переміщення супорта відбувається ходовим гвинтом.

Необхідні дані:

$$t_x = 18.37 \text{ мм}, D = 100 \text{ мм}, Z = 10$$

Швидкість різання при затилуванні $V = 6 \dots 9$ м/хв

Налаштування ланцюга головного руху верстата

Головний рух різання – обертання фрези навколо власної осі. Від електродвигуна обертальний рух передається на заготовку через набір зубчатих коліс.

Набір зубчатих коліс підбирається так, щоб забезпечити частоту обертання шпинделя верстата в визначених межах. Рівняння кінематичного балансу має вигляд:

$$n_{\text{об.дв}} \cdot i_{\text{к.л}} = n_{\text{об.шп}}$$

де $n_{\text{об.дв}}$ – частота обертання двигуна, $i_{\text{к.л}}$ – передатне відношення кінематичного ланцюга.

Електродвигун має частоту обертання: $n_{\text{об.дв}} = 1400$ об/хв. Частота обертання шпинделя розраховується за формулою:

$$n_{\text{об.шп}} = \frac{1000 V}{\pi \cdot D} \quad (3,2)$$

$$n_{\text{об.шп}} = \frac{1000 (6 \dots 9)}{3.14 \cdot 100} = 19.1 \dots 28.66 \text{ об/хв}$$

Рівняння кінематичного балансу можна записати так:

$$1400 \cdot \frac{25}{56} \cdot \frac{22}{46} \cdot \frac{24}{68} \cdot \frac{50}{50} \cdot \frac{24}{96} = 26.375$$

(1400 – частота обертання, 26.375 – частота обертів шпинделя, все інше – набір зубчатих коліс з певним числом зубів)

Налаштування верстата на поздовжнє переміщення супорта.

Налаштовується рух подачі – рух при якому за один оберт шпинделя різець переміщується на крок фрези $t_x = 18.37$ мм. Рівняння кінематичного балансу має вигляд:

1 оберт шпинделя $\rightarrow t_{\pi}$ переміщення різця, або

$$\frac{50}{50} \cdot \frac{54}{54} \cdot \frac{36}{36} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{C}{D} \cdot 12 = t_{\pi}$$

Гітара налаштовується за формулою без перебору: $i_{\text{різьби}} = \frac{t_x}{12} = \frac{18.37}{12} = 1.5308$

Тоді: $\frac{A}{B} \cdot \frac{C}{D} = 1.5308$

Підбираються колеса A, B, C, D :

$$\frac{A}{B} \cdot \frac{C}{D} = \frac{120}{64} \cdot \frac{48}{58}$$

Перевіряється умова зчеплення коліс гітари. Результати заносяться до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Умови зачеплення коліс гітари нарізання різьби

$A + B \geq C + 26$	$C + D \geq B + 26$	$A + B + C + D \geq 260$
$120+64=184 \geq 48+26=74$	$48+58=106 \geq 64+26=90$	$290 \geq 260$
Умова виконується	Умова виконується	Умова виконується

Налаштування зворотно-поступальних рухів верстата:

Узгодження рухів фрези та інструмента відбувається диференціальним методом. Так як стружкові канавки нарізаються по спіралі, вершина кожного зуба зміщена на певну величину відносно сусіднього. Тому необхідно врахувати це зміщення та компенсувати його, щоб кожен раз затилувальний різець потрапляв на вершину кожного зуба [5, с. 43 – 48].

Налаштування ланцюга ділення.

За один оберт шпинделя (а отже і деталі), різець повинний зробити Z подвійних ходів. Тобто:

1 оберт шпинделя $\rightarrow Z$ подвійних ходів, або

$$\frac{96}{24} \cdot \frac{80}{20} \cdot \frac{44}{36} \cdot \frac{45}{47} \cdot \frac{47}{33} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{C}{D} \cdot \frac{27}{27} = Z$$

Рівняння кінематичного балансу:

$$i_{\text{діл}} = \frac{A_1}{B_1} \cdot \frac{C_1}{D_1} = \frac{3}{10} Z = 3$$

Підбираються колеса A_1, B_1, C_1, D_1 :

$$\frac{A_1}{B_1} \cdot \frac{C_1}{D_1} = \frac{90}{42} \cdot \frac{30}{48}$$

Перевіряється умова зчеплення коліс гітари. Результати заносяться до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Умови зачеплення коліс гітари нарізання різьби

$AI + BI \geq CI + 26$	$CI + DI \geq BI + 26$	$AI + BI + CI + DI \geq 260$
$90+42=132 \geq 30+26=56$	$30+48=78 \geq 42+26=68$	$210 \geq 140$
Умова виконується	Умова виконується	Умова виконується

Налаштування ланцюга диференціала.

Формула для налаштування гітари диференціала:

$$i_{1,\text{диф}} = \frac{A_2 \cdot C_2}{B_2 \cdot D_2} = \frac{4566}{T} = 1.0247$$

Тоді змінні колеса ланцюга диференціала обираються наступні:

$$\frac{A_2 \cdot C_2}{B_2 \cdot D_2} = \frac{36}{44} \cdot \frac{48}{38}$$

Перевіряється умова зчеплення коліс гітари. Результати заносяться до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Умови зачеплення коліс гітари нарізання різьби

$A2 + B2 \geq C2 + 26$	$C2 + D2 \geq B2 + 26$	$A2 + B2 + C2 + D2 \geq 140$
$36+44=80 \geq 48+26=74$	$48+38=86 \geq 44+26=66$	$166 \geq 140$
Умова виконується	Умова виконується	Умова виконується

3.8 Гартування і відпуск

Після основної обробки виконується термічна обробка, метою якої є надати матеріалу міцності, твердості та теплостійкості. Для цього сталь спочатку гартують, нагріваючи заготовку до 1210-1230 °С [6, с. 313]. Це необхідно для отримання при нагріванні аустеніту, який буде перенасичений легуючими елементами (хромом, ванадієм, молібденом, вольфрамом). Після охолодження утворюється перенасичений мартенсит. Для запобігання утворенню тріщин, заготовку необхідно нагрівати ступінчасто за наступною схемою:

- Нагріти заготовку до 550 – 600 °С, витримати 15-20 хв (нагрівати в електроповітряній або газовій печі)
- Продовжити нагрівання заготовки до 800 – 850 °С, витримати 10-15 хв (бажано нагрівати у ванній хлористого натрію NaCl)
- Продовжити нагрівання заготовки до 1050 – 1100 °С, витримати 3-5 хв (нагрівати бажано у розплаві хлористою барію BaCl₂)

• Нагріти до 1210-1230 °С, витримати 18 хв (12 секунд на 1 мм товщини заготовки), якщо нагрівання та витримка відбувається в розплавленій солі BaCl_2 , або витримувати 21 хв (14 секунд на 1 мм товщини заготовки), якщо нагрівання відбувається в електроповітряній або газовій печі.

Охолодження заготовки відбувається в розплаві солей, підігрітому до 500 – 600 °С (бажано в солі калієвої селітри KNO_3).

Після гартування та охолодження слідує відпуск, який необхідний для зняття внутрішніх напружень та перетворення залишкового аустеніту в мартенсит. Необхідно перетворити весь аустеніт в мартенсит. За один відпуск лише частина аустеніту перетворюється в мартенсит. Але при температурі приблизно 150 °С відбувається виділення карбідів з аустеніту, що зменшує його легуваність, і це дозволяє перетворити аустеніт в мартенсит при наступному нагріванні. Тому застосовується ступінчатий відпуск сталі. Також при температурі 560 – 570 °С окрім перетворення аустеніту відбувається виділення дисперсних карбідів (в результаті часткового розпаду мартенситу), а це в свою чергу супроводжується підвищенням твердості сплаву. Якщо після гартування твердість сталі становить 62-63 HRC, то після відпуску твердість становить 63-65 HRC. Тому відпуск проводиться за наступним алгоритмом:

- відпуск за температури 350 °С протягом 1 години, і поступове охолодження нижче температури 150 °С
- відпуск за температури 560 – 570 °С протягом 1 години, і поступове охолодження нижче температури 150 °С
- відпуск за температури 560 – 570 °С протягом 1 години, і поступове охолодження нижче температури 150 °С

Середовище для відпуску – соляна ванна (будь-який розчин)

3.9 Операції шліфування

Шліфування посадкового отвору та одного торця фрези.

Внаслідок термообробки спостерігається відхилення розмірів фрези, тому необхідно виконати серію операцій з коригування цих розмірів, та їх доведення до заданих. Перша така операція – шліфування посадкового отвору фрези. Виконується на внутрішньо-шліфувальному верстаті.

Зовнішній діаметр круга:

$$D_K = 0.7 \dots 0.9 d_{от} \quad (3,3)$$

$$D_K = 0.8 \cdot 32 = 25.6 \approx 26 \text{ мм}$$

Ширина круга:

$$B = 1 \dots 2 d_{от} \quad (3,3)$$

$$B = 1 \cdot 32 = 32 \text{ мм}$$

Діаметр посадкового отвору круга 10 мм.

Так як довжина отвору для шліфування мала (складає 20 мм), ширина круга приймається рівною діаметру посадкового отвору.

Виконується чорнова та чистова обробка.

Матеріал круга для чорнової обробки: електрокорунд білий марки 25А, зернистістю 25, зв'язка круга – керамічна, для сталі Р6М5 марка зв'язки – К8, твердість: СМ2, вміст абразивного зерна: 50 % (структура 7).

Матеріал круга для чистової обробки: Ельбор ЛО, зернистістю 10, зв'язка Б1, вміст зерна – 100%, твердість С1

Позначення круга для чорнової обробки: ПП – 26х10х32 – 25А25 – СМ2 – 7 – К8.

Позначення круга для чистової обробки: ПП – 26х10х32 – ЛО10 – Б1 – С1.

Режим оброблення отвору: швидкість круга – 15-30 м/с, швидкість виробу – 10-25 м/хв, повздовжня подача – 0.3-1 мм/об, глибина шліфування 0.01-0.02 мм/подв.хід. Застосовується охолоджуюча рідина, зі складом: 3% емульсолу НГЛ-205 або «Укринол-1», решта - вода.

При порівнянні якості поверхні при протягуванні та шліфуванні легко зауважити, що протягування дає кращу якість поверхні [10, с. 190, табл. 27]. Проте при термічній обробці твердість деталі збільшується так, що оброблення протягуванням стає неефективним. Тому залишається використовувати шліфування як найбільш продуктивний та економічний спосіб оброблення поверхні після термічної обробки.

Також виконується шліфування торця (за один установ з шліфуванням отвору).

Матеріал шліфувального круга обирається такий, як для шліфування отвору через високі вимоги до якості поверхні торця.

Режим оброблення торця: швидкість круга 30-35 м/с, повздовжня подача 8-10 мм/хід, поперечна подача 0.3-0.6 мм/хід, глибина шліфування – 0.04-0.1 мм/подв.хід, з охолодженням. Склад охолоджуючої рідини: 3% емульсолу НГЛ-205 або «Укринол-1», решта - вода.

Шліфування другого торця.

Верстат: плоскошліфувальний, кріплення на магнітній плиті.

Форма круга обирається довільною.

Позначення круга: ЛО10 – Б1 – С1.

Режим оброблення: швидкість круга 30-35 м/с, повздовжня подача 8-10 мм/хід, поперечна подача 0.3-0.6 мм/хід, глибина шліфування – 0.04-0.1 мм/подв.хід, з охолодженням. Склад охолоджуючої рідини: 3% емульсолу НГЛ-205 або «Укринол-1», решта - вода.

Шліфування діаметрів буртів

Шліфування виконується чорнове та чистове. Верстат: круглошліфувальний

Чорнове шліфування:

Матеріал: електрокорунд білий марки 25А, зернистістю 25, зв'язка круга – керамічна, для сталі Р6М5 марка зв'язки – К8, твердість: СМ2, вміст абразивного зерна: 50 % (структура 7).

Позначення круга для чорнової обробки: 25А25 – СМ2 – 7 – К8.

Режим оброблення: швидкість круга – 30-50 м/с, швидкість виробу – 10-25 м/хв, повздовжня подача 0.5-1 мм/хід, глибина шліфування – 0.01-0.05 мм/подв.хід. Склад охолоджуючої рідини: 3% емульсолу НГЛ-205 або «Укринол-1», решта - вода.

Чистове шліфування:

Матеріал: Ельбор ЛО, зернистістю 10, твердість С1, зв'язка Б1, вміст зерна – 100%.

Позначення круга для чистової обробки: ЛО10 – Б1 – С1.

Режим обробки: швидкість круга – 30-50 м/с, швидкість виробу – 10-25 м/хв, повздовжня подача 0.5-1 мм/хід, глибина шліфування – 0.01-0.05 мм/подв.хід. Склад охолоджуючої рідини: 3% емульсолу НГЛ-205 або «Укринол-1», решта - вода.

3.10 Заточування фрези

Заточування фрези відбувається по передній поверхні. Зуб фрези був шліфований по передній поверхні та затилований, тому виконується чистове шліфування.

Матеріал: Ельбор ЛО, зернистістю 10, твердість С2, зв'язка Б1, вміст зерна – 100%.

Позначення круга для чистової обробки: ЗП – 80х20х10 – ЛО10 – Б1 – С2.

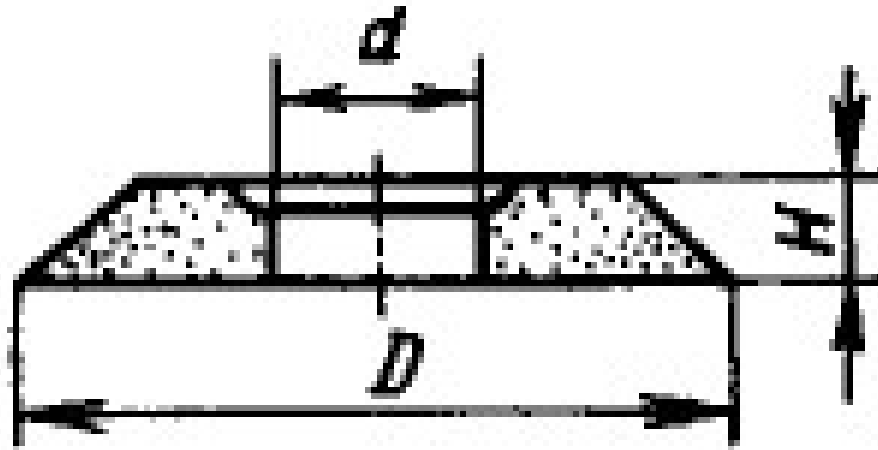


Рисунок 3.4 – Ескіз шліфувального круга

Режим обробки: швидкість круга – 25-30 м/с, поздовжня подача 1-2 м/хв, глибина шліфування – 0.02-0.03 мм/пдв.хід. Операції виконуються з охолодженням (взяти рідину з попередньої операції).

Форма шліфувального круга – круг плоский конічного профіля. Виходячи з параметрів стружкової канавки, максимальний кут нахилу конуса – 25° , максимальний радіус заокруглення – 2 мм. Тому обираються конструкційні параметри круга: зовнішній діаметр $D = 80$ мм, посадковий діаметр $d = 20$ мм, висота круга $H = 10$ мм.

Також виконується шліфування задньої поверхні зубів.

Матеріал: : електрокорунд білий марки 25А, зернистістю 25, зв'язка круга – керамічна, для сталі Р6М5 марка зв'язки – К8, твердість: СМ2, вміст абразивного зерна: 50 % (структура 7)

Режим різання: Параметри оброблення: швидкість круга – 25-30 м/с, поздовжня подача 3-6 м/хв, глибина шліфування – 0.04-0.06 мм/пдв.хід.

Головні вимоги до геометричних параметрів круга: діаметр шліфувального круга не перевищує 20 мм, ширина круга обирається рівною 10 мм. Шліфування виконується на 1/2 довжини поверхні зуба. Контроль обробленої поверхні здійснюється за допомогою спеціального шаблону, який повторює контур профіля фрези.

Позначення круга: ПП – 20х10 – 25А25 – СМ2 – 7 – К8.

3.11 Створення стружкороздільних канавок

Стружкороздільні канавки створюються одразу після другого затилування (заточування). Інструмент оброблення – шліфувальний круг дискової форми. Налаштування узгодження рухів зберігається з попередньої операції затилування.

3.12 Маркування

Оброблена фреза маркується. Маркування виконується на лазерному верстаті. Обов'язково вказується марка сталі, тип шліцьового валу, який може оброблюватися даною фрезою, кут нахилу витків фрези, ділильний діаметр фрези. Тоді, маркування фрези виглядає так:

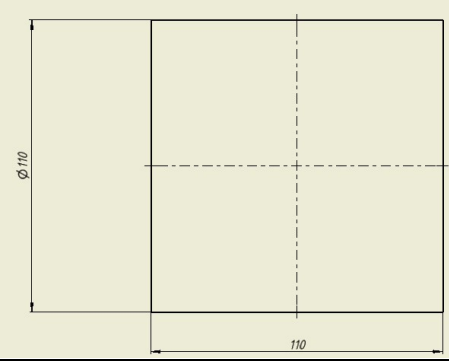
$P6M5; D - 8 \times 42 \times 48g6 \times 8f7; \gamma_{то} = 3^{\circ}40'; D_T = 90,974 \text{ мм.}$

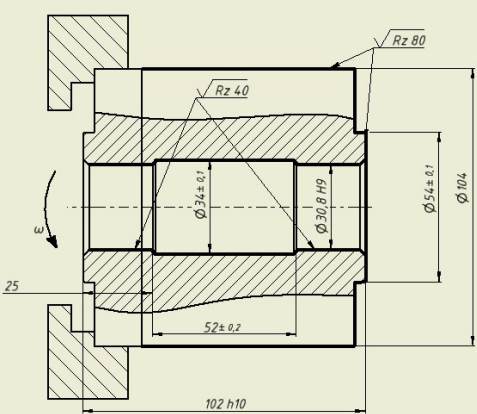
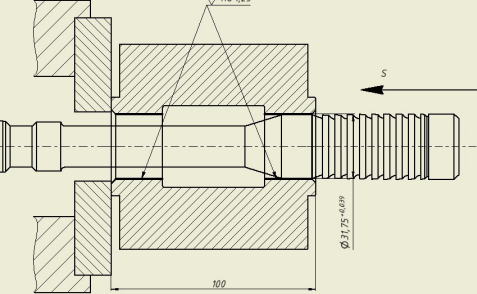
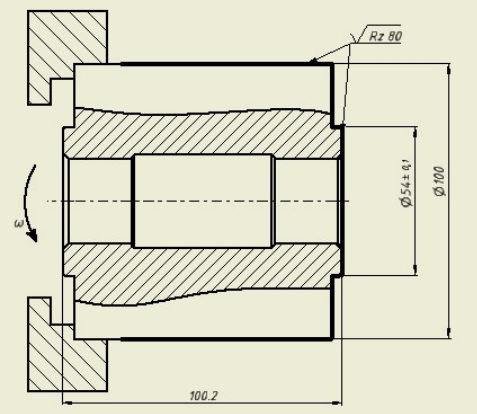
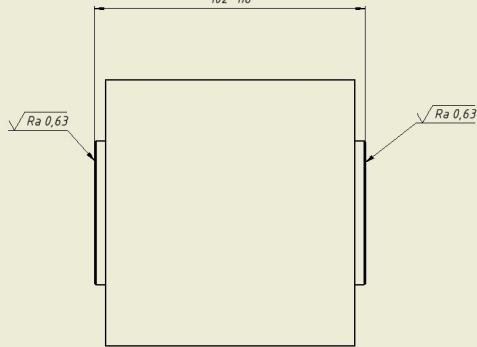
Наноситься на один із торців бурта фрези.

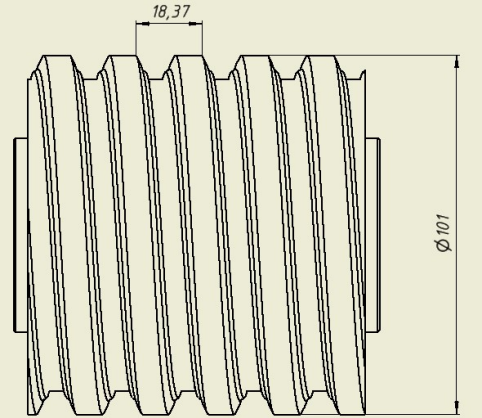
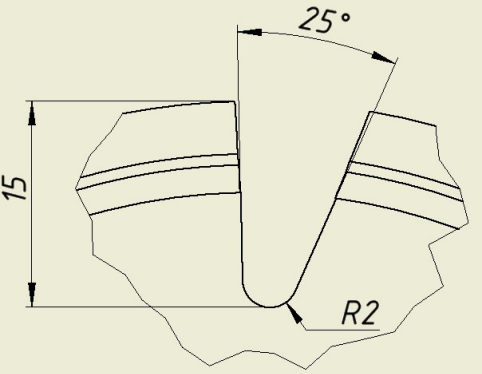
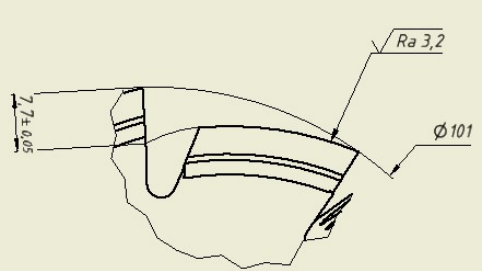
3.13 Маршрутно – операційний процес виготовлення

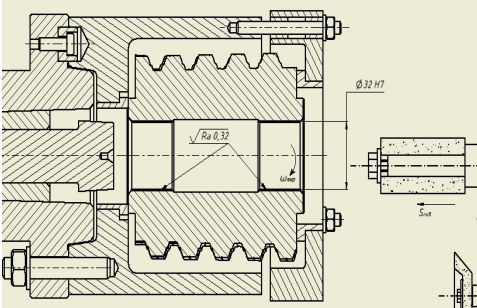
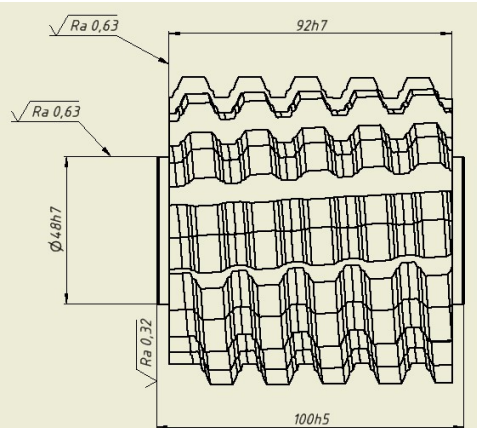
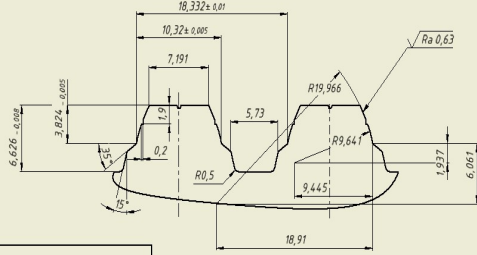
Всі вище описані операції зводяться в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Технологічний процес виготовлення інструмента

№	Найменування та зміст операції	Ескіз операції	Верстат, інструмент, пристосування
10	Заготівельна Відрізання, кування		Кувальна машина, ковадло, підкладні штампи
15	Термічна 1 Ізотермічний відпуск Нагріти до 860-880°C, витримати 30 хв, поступово охолодити до 740-750°C, витримувати 30 хв. Охолодження на повітрі	—	Камерна піч для гартування СНО-4.8.3

20	Токарна (чорнова) Підрізати торець Свердлити отвір Точити зовн. пов. Розточити бурти Розточити фаски		Токарно-револьверний верстат 1Г365 Різець прохідний; Різець розточний Свердло, Трьохкулачковий патрон
25	Горизонтально-протяжна 1. Протягнути посадковий отвір 2. Протягнути шпонковий паз		Горизонтально-протяжний верстат 7Б57; Протяжка
30	Токарна (чистова) 1. Точити зовнішню поверхню 2. Точити торці 3. Точити бурти 4. Точити фаски		Токарно-револьверний верстат 1Г365 Різець прохідний Оправка
35	Плоско-шліфувальна 1. Шліфувати торці заготовки		Плоскошліфувальний верстат 3Б724, шліфувальний плоский круг прямого профіля Оправка, магнітна плита

40	Різьбофрезерна 1. Фрезерувати профіль фрези (черв'як)		Верстат різьбофрезерний 5Б63; Фреза фасонна Оправка для установки заготовки, шаблон контролю профіля, зубомір.
45	Фрезерна 1. Фрезерувати стружкові канавки 2. Видалити неповні зуби		Універсально-фрезерний верстат FH-150 Дискова однокутна фреза Кінцева фреза Налаштована УДГ, оправка, штангенциркуль
50	Шліфування передніх поверхонь зубів	—	Круглошліфувальний верстат ЗУ12АФ11 Шліфувальний плоский круг конічного профіля Налаштована УДГ, оправка
55	Затилювальна 1. Затилювання вершини зуба		Універсальний токарно затилювальний верстат 1Б811; Затилювальний різець Оправка, контрольний шаблон профіля фрези
60	Термічна 2 Гартування, відпуск ступінчатий	—	Соляна ванна, камерна піч для гартування (електроповітряна або газова) Розчини солей NaCl, BaCl ₂ , KNO ₃

65	Шліфувальна (внутрішня) 1. Шліфування посадкового отвору 2. Шліфування шпонкового пазу		Круги шліфувальні, внутрішньо-шліфувальний верстат 3К228 Калібри для контролю отвору, штангенциркуль, індикатор,
70	Шліфувальна (зовнішня) 1. Шліфування торців буртів 2. Шліфування діаметра буртів (Виконується чорнове та чистове шліфування)		Круг шліфувальний, круглошліфувальний верстат Штангенциркуль, індикатор магнітна плита, оправка
75	Заточна 1. Шліфування передньої поверхні зубів 2. Створення стружкорозбильних канавок 3. Шліфування задньої поверхні зубів		Шліфувальний верстат 3Д75, круг шліфувальний конічний Оправка, налаштована УДГ, шаблон контролю профіля
80	Маркування	—	Верстат для лазерного маркування

3.14 Розрахунок припусків

Розрахунок припусків виконується за методикою, наданій в [11, с. 180 – 188]. Розраховуються припуски для двох поверхонь:

1. Зовнішня поверхня заготовки Ø100 мм
2. Посадковий отвір Ø32 мм

3.14.1 Зовнішня поверхня заготовки

Розраховується припуск на оброблення зовнішньої поверхні заготовки
Операції по обробці поверхні:

1. Кування заготовки
2. Точіння зовнішньої поверхні
3. Шліфування зовнішньої поверхні

Заготовка

Заготовка отримана куванням, форма – круга, кується на кувальному молоті.

За [10, с. 185, табл. 11], для заготовки діаметра від 50 до 180 мм отримуємо значення суми шорсткості та величини дефектного шару:

$$Ra + h = 1000 \text{ мкм}$$

За [10, с. 186, табл. 16], отримуємо значення кривизни для поковки 1 мкм на мм довжини.

$$\Delta_k = 1 \cdot L = 1 \cdot 100 = 100 \text{ мкм}$$

За ГОСТ 1133 граничне відхилення становить 4 мм для діаметра валу 110 мм. Отже $IT_d = 4000 \text{ мкм}$.

$$\Delta_{\text{ц}} = 0.25 \sqrt{IT_d^2 + 1} \quad (3,3)$$

$$\Delta_{\text{ц}} = 1000 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{\text{заг}} = \sqrt{\Delta_{\text{ц}}^2 + \Delta_k^2} \quad (3,4)$$

$$\Delta_{\text{заг}} = 1005 \text{ мкм}$$

Чорнове точіння

Якість поверхні при чорновому точінні отримується з [10, с. 187, табл. 24]: 15 квалітет ($IT = 1400 \text{ мкм}$), $Ra = 250 \text{ мкм}$, $h = 240 \text{ мкм}$.

Відхилення розташування:

$$\Delta = K_y \cdot \Delta_{\text{заг}} \quad (3,5)$$

Визначається K_y для чорнового точіння за [10, с. 190, табл. 29]: $K_y = 0.06$. Тоді:

$$\Delta = 0.06 \cdot 1005 = 60.3 \text{ мкм}$$

Оброблення заготовки відбувається в трьохкулачковому патроні, тому похибка базування $\varepsilon_6 = 0$, похибка закріплення $\varepsilon_3 = 450 \text{ мкм}$, тоді загальна похибка установу:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} \\ \varepsilon &= \sqrt{0^2 + 450^2} = 450 \text{ мкм} \end{aligned} \quad (3,6)$$

Чистове точіння

Якість поверхні при чистовому точінні отримується з [10, с. 187, табл. 24]: 10 квалітет ($IT = 140 \text{ мкм}$), $Ra = 40 \text{ мкм}$, $h = 40 \text{ мкм}$.

Визначається K_y для чистового точіння за [10, с. 190, табл. 29]: $K_y = 0.06$. Тоді відхилення розташування:

$$\Delta = 0.04 \cdot 1005 = 40.2 \text{ мкм}$$

IT_d – допуск на розмір бази заготовки (отвір Ø32 мм, шліфування відбувається по 7 квалітету, отвір має поле допуску $IT_d = 25$ мкм)

Перед розрахунком припуску на шліфування необхідно врахувати дію термообробки, яка призводить до додаткових просторових відхилень.

Відхилення рахується за формулою [11, формула 21.26, с. 184]:

$$\Delta_1 = \frac{0.001 \cdot n \cdot L}{0.1D + 0.3} \quad (3,7)$$

Значення коефіцієнта n залежить від виду термічної обробки, для об'ємного гартування він рівний 1. Діаметр заготовки $D = 100$ мм, довжина заготовки $L = 100$ мм, тому:

$$\Delta_2 = \frac{0.001 \cdot 1 \cdot 100}{0.1 \cdot 100 + 0.3} = 0.00971 \text{ мм} = 9.71 \text{ мкм}$$

Загальне значення відхилення:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2} \quad (3,8)$$

$$\Delta = \sqrt{40.2^2 + 9.71^2} = 41.36 \text{ мкм}$$

Шліфування

Якість поверхні при шліфування отримується з [10, с. 187, табл. 24]: 7 квалітет ($IT = 35$ мкм), $Ra = 5$ мкм, $h = 5$ мкм.

Розрахунок величини мінімальних припусків на оброблення для переходів [11, формули 21.30 – 21.32, с. 185]:

$$2Z_{\text{чорн}} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2} \right) \quad (3,9)$$

$$2Z_{\text{чист}} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2} \right) \quad (3,10)$$

$$2Z_{\text{шліф}} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2} \right) \quad (3,11)$$

$$2Z_{\text{чорн}} = 4010 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\text{чист}} = 1888,04 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\text{шліф}} = 242,71 \text{ мкм}$$

Розраховані значення заносяться до таблиці 3.5, розраховуються граничні міжперехідні розміри та розміри заготовки.

Таблиця 3.5 – Значення міжперехідних розмірів та припусків при обробленні зовнішньої поверхні фрези

Технологічні операції та переходи	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{i\ min}$, мкм	Розрахунковий розмір d_{min} , мм	Допуск на виготовлення IT_d , мкм	Прийняті розміри для переходу, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz_i	h_i	Δ_i	ε_i				d_{ma}	d_{min}	$2Z_{i\ max}$	$2Z_{i\ min}$
Заготовка	1000		1005	0	0	106.106	4000	110.2	106.2	0	0
Точіння:											
- чорнове	250	240	60.3	450	4010	102.096	1400	103.5	102.1	6700	4100
- чистове	40	40	41.36	0	1888.4	100.208	140	100.44	100.3	3060	1800
Шліфування	5	5	0	0	242.71	99.965	35	100	99.965	440	335
Разом:										102000	6235

Перевірка правильності розрахунку

Умова правильності розрахунку [11, формула 21.33, с. 186]:

$$\begin{aligned} \sum 2Z_{i \max} - \sum 2Z_{i \min} &= IT_{\text{заг}} - IT_{\text{дет}} & (3,12) \\ IT_{\max} - IT_{\min} &= 4000 - 35 = 3965.00 \text{ мкм} \\ \sum 2Z_{i \max} - \sum 2Z_{i \min} &= (6700 + 3060 + 440) - (4100 + 1800 + 335) = \\ &= 3965.00 \text{ мкм} \end{aligned}$$

Умова виконується.

3.14.2 Посадковий отвір

Розраховується припуск на оброблення внутрішньої поверхні заготовки

Операції по обробці поверхні:

1. Свердління
2. Протягування
3. Шліфування

Свердління

Якість поверхні при свердлінні отримується з [10, с. 190, таблиця 27]: 12 квалітет ($IT = 0.25 \text{ мм}$), $Rz = 50$, $h = 70$.

Відхилення розташування складається з уводу свердла та зміщення осі отвору відносно нормального положення.

Увод свердла на 1 мм довжини [10, с. 190, табл. 28]:

$$\Delta_y = 0.7 \text{ мкм/мм}$$

Тоді відхилення уводу свердла:

$$\Delta_{yv} = \Delta_y \cdot L = 0.7 \cdot 100 = 70 \text{ мкм}$$

Зміщення осі за [10, с. 190, табл. 28]:

$$\Delta_{зм} = 30 \text{ мкм}$$

Для отримання найбільшого значення допуску, приймається, що відхилення уводу та зміщення осі лежать в одному напрямку, тоді загальне відхилення:

$$\begin{aligned} \Delta &= \Delta_y + \Delta_{зм} & (3,13) \\ \Delta &= 100 \text{ мкм} \end{aligned}$$

Так як деталь кріпиться в патроні, існує певна похибка закріплення заготовки.

Похибка закріплення заготовки в радіальному напрямку [10, с. 42, табл. 13]:

$$\varepsilon = 500 \text{ мкм}$$

Протягування

Якість поверхні при протягуванні отримується з [10, с. 190, табл. 27]: 9 квалітет ($IT = 62$ мкм), $Rz = 4$ мкм, $h = 6$ мкм.

Шліфування чорнове

Якість поверхні при шліфуванні отримується з [10, с. 190, табл. 27]: 8 квалітет ($IT = 39$ мкм), $Rz = 4$ мкм, $h = 6$ мкм. Похибка установки визначається з [10, с. 42, табл. 13]. Установка здійснюється в трьохкулачковий самоцентрувальному патроні. База заготовки приймається чистообробленою, тому $\varepsilon = 10$ мкм

Шліфування чистове

Якість поверхні при шліфуванні отримується з [10, с. 190, табл. 27]: 7 квалітет ($IT = 25$ мкм), $Rz = 2$ мкм, $h = 4$ мкм. Похибка установки визначається з [10, с. 42, табл. 13]. Установка здійснюється в трьохкулачковий самоцентрувальному патроні. База заготовки приймається чистообробленою, тому $\varepsilon = 10$ мкм

Розраховуються величини мінімальних припусків для переходів за [11, формули 21.43 – 21.45, с. 190-191]:

$$2Z_{\text{протяг}} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2} \right) \quad (3,14)$$

$$2Z_{\text{шліф чор}} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2} \right) \quad (3,15)$$

$$2Z_{\text{шліф чист}} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2} \right) \quad (3,16)$$

$$2Z_{\text{протяг}} = 1119.8 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\text{шліф чор}} = 20 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\text{шліф чист}} = 120 \text{ мкм}$$

Розраховані значення заносяться до таблиці 3.6, розраховуються граничні міжперехідні розміри та розміри заготовки.

Таблиця 3.6 – Значення міжперехідних розмірів та припусків при обробленні зовнішньої поверхні фрези

Технологічні операції та переходи	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{i\ min}$, мкм	Розрахунковий розмір d_{min} , мм	Допуск на виготовлення IT_d , мкм	Прийняті розміри для переходу, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz_i	h_i	Δ_i	ε_i				d_{max}	d_{min}	$2Z_{i\ max}$	$2Z_{i\ min}$
Свердління	50	70	100	500	-	30.845	250	30.8	30.55	-	-
Протягування	4	6	0	50	1119.8	31.965	62	31.9	31.838	1288	1100
Шліфування											
- чорнове	4	6	0	10	20	31.985	39	31.98	31.941	103	80
- чистове	2	4	0	10	40	32.025	25	32.025	32	59	45
Разом:										1450	1225

Перевірка правильності розрахунку

Умова правильності розрахунку [11, формула 21.33, с. 186]:

$$\begin{aligned} \sum 2Z_{i \max} - \sum 2Z_{i \min} &= IT_{\text{заг}} - IT_{\text{дет}} & (3,17) \\ IT_{\max} - IT_{\min} &= 1450 - 1225 = 225.00 \text{ мкм} \\ \sum 2Z_{i \max} - \sum 2Z_{i \min} &= (1288 + 103 + 59) - (1100 + 80 + 45) = \\ &= 225.00 \text{ мкм} \end{aligned}$$

Умова виконується.

4. РОЗРОБКА ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ШЛІФУВАННЯ ОТВОРУ

4.1 Проектування оснащення

Необхідно розробити пристосування для частини технологічного процесу виготовлення фрези. Для цього на основі аналізу операцій з виготовлення фрези було визначено, що однією з найбільш важливих операцій є операція шліфування, а саме шліфування посадкового отвору фрези. Від якості його оброблення залежить точність обробки інших поверхонь фрези: торців, передніх та задніх поверхонь зубів фрези, а значить точність оброблювання фрезою оброблюваних деталей. Тому необхідно забезпечити якісне, точне, просте та доступне кріплення фрези на шпинделі верстата при шліфування посадкового отвору інструмента.

Прототипом конструкції для модернізації є конструкція для шліфування посадкового отвору фрези, наведена в [12, рис. 25, с. 32].

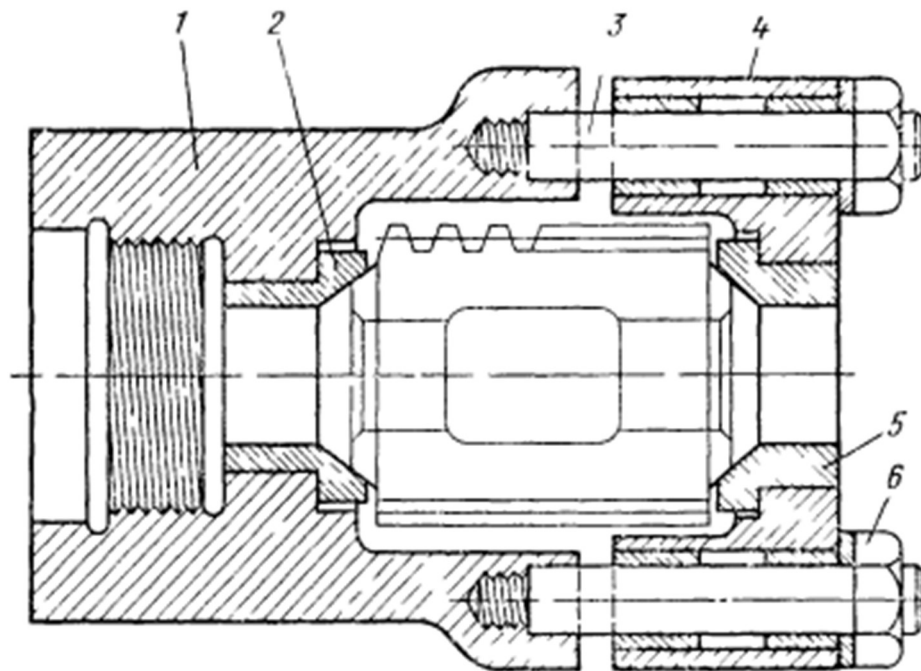


Рисунок 4.1 – Прототип пристосування для шліфування посадкового отвору фрези [12, рис. 25, с. 32]

Недоліком такого пристосування є те, що воно розроблене для фрези з похилими буртами. За такої конструкції важко виконувати перевірку точності встановлення фрези в робочому стані, а саме відхилення радіального биття фрези, що негативно вплине на якість створення шліців валу. Тому було вирішено модернізувати конструкцію для фрези з рівними буртами. В такій фрезі, після її встановлення на верстаті, легко виконувати перевірку відхилення радіального биття за рахунок переміщення індикатора по рівній поверхні діаметра бурта.

Тоді постає проблема, а саме центрування отвору фрези та забезпечення співвісності шпинделя верстата, фрези та шліфувального круга. Було вирішено використовувати центрувальний конус, який кріпитиметься в шпинделі верстата.

Також важливо забезпечити перпендикулярність торців буртів фрези відносно осі посадкового отвору. Це ще один недолік обраного прототипу пристосування – там необхідно виконувати шліфування торця бурта фрези після шліфування посадкового отвору, і виконується це шліфування за іншого установу. Це викликатиме певну похибку установу та зниження точності оброблення. В модернізованій конструкції після шліфування посадкового отвору виконується шліфування торця бурта фрези за один установ, і навіть одним і тим же шліфувальним кругом. Достатньо буде прошліфувати лише один торець, інший торець шліфуватиметься на плоско-шліфувальному верстаті. Но ньому фреза встановиться на рівний, прошліфований торець, і повздовжня вісь фрези займе вертикальне положення, що дасть змогу рівно обробити другий торець.

Базування фрези виконується за рахунок затиску фрези в повздовжньому напрямку кріпильними елементами. Фіксація в радіальному напрямку виконується за рахунок сил тертя, які виникнуть в наслідок затиску фрези. Поверхні базування: торець бурта фрези та торець основної поверхні фрези. Схема базування зображується на рисунку, поверхні, які підлягають обробленню, наводяться потовщеною лінією.

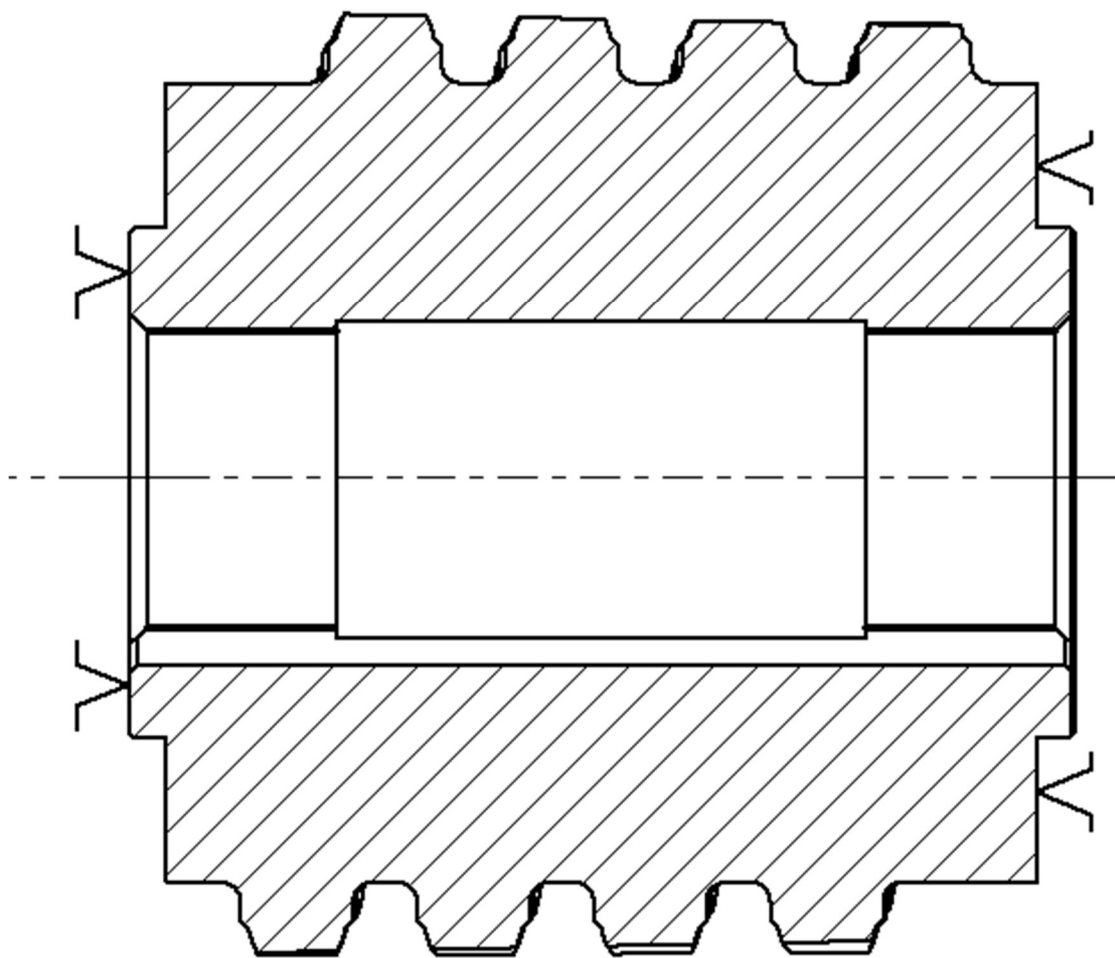


Рисунок 4.2 – Базування фрези при шліфуванні посадкового отвору

Закріплення фрези відбувається за допомогою спеціальних сталевих втулок, які вставляються в корпус пристосування. Потім в ці втулки встановлюється фреза. Це дозволяє уникнути необхідності точного оброблення внутрішніх поверхонь корпусу, яке вимагає більшої точності оброблення, аніж втулки.

Постає необхідність забезпечити швидку установку фрези в пристосування, тому пристосування виконується збірне, складається з двох частин: корпусу та кришки. Принцип роботи пристосування: корпус закріплюється на кінці шпинделя верстата, фреза разом з втулками встановлюється в корпус, притискається кришкою, та потім центрується центрувальним конусом, який встановлюється в шпиндель внутрішньо-шліфувального верстата. Так вдасться забезпечити фіксацію інструмента в осьовому, радіальному напрямках, а також співвісність оброблюваного отвору фрези, шпинделя верстата та шліфувального круга.

Виконується проектування пристосування в середовищі Autodesk Inventor.

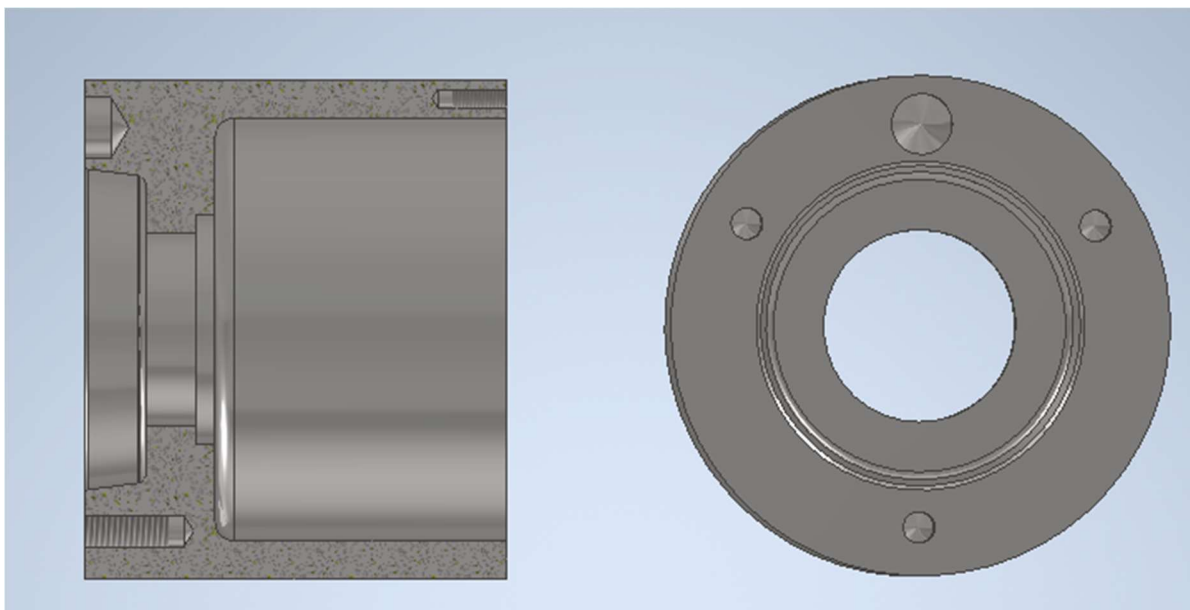


Рисунок 4.3 – Модель корпусу пристосування (розріз та вид зліва)

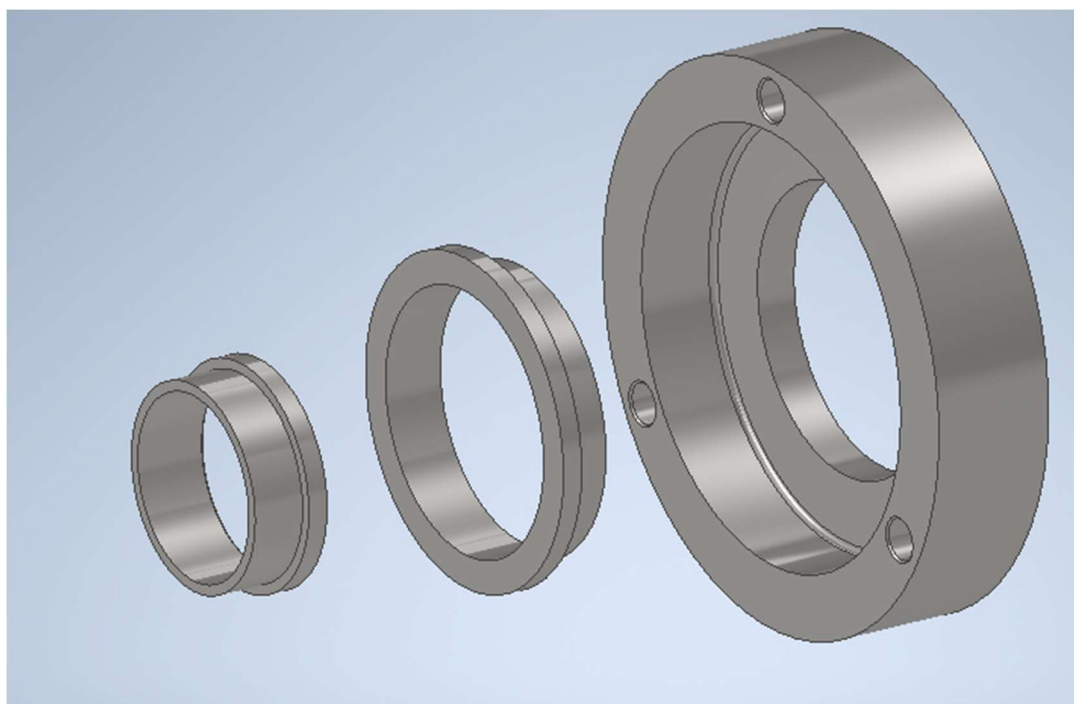


Рисунок 4.4 – Модель кришки пристосування та втулок для кріплення фрези

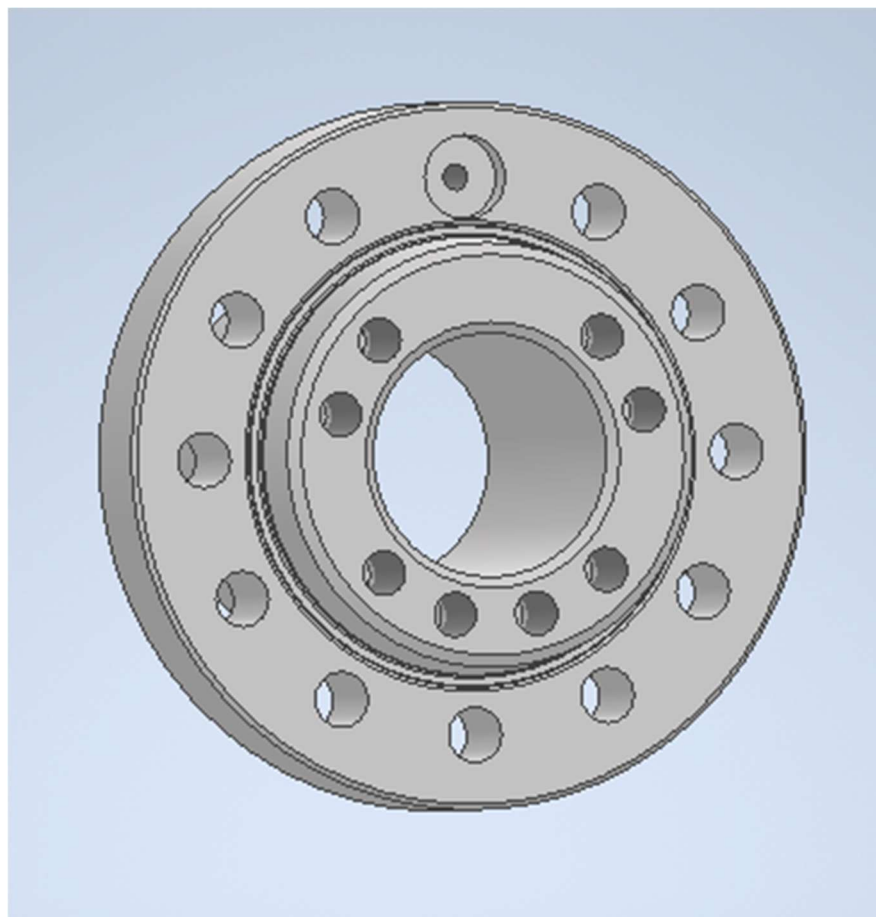


Рисунок 4.5 – Модель кінця шпинделя для кріплення пристосування

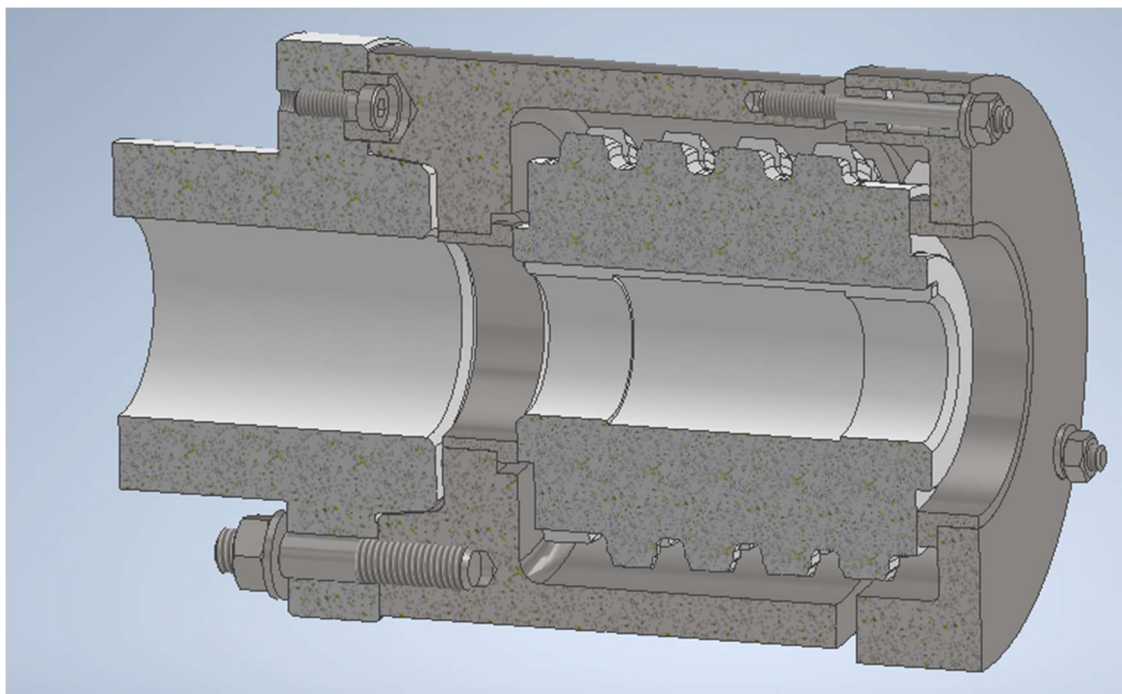


Рисунок 4.6 – Зібране пристосування

Корпус пристосування, на відміну від обраного прототипу, кріпиться на кінці шпинделя верстата шпильками. Такий вид кріплення є доступнішим, бо більша кількість шпинделів мають саме таке кріплення, тому обрана конструкція дозволить обробити фрезу на більшій кількості різних верстатів. Кріплення розроблене для верстата, кінець шпинделя якого виконаний за ГОСТ 12595-85. До того ж, цей стандарт має закордонний аналог з аналогічною конструкцією, а саме DIN 55026, а також ISO 702. Для діаметра фрези 100 мм, обирається розмір шпинделя 5 (за DIN 55026), тип В (з різьбовими отворами на середньому діаметрі). Для точнішого встановлення корпусу на кінці шпинделя виконується отвір в корпусі та кінці шпинделя, куди встановлюється шпонка, яка буде фіксувати пристосування в заданому положенні на кінці шпинделя, щоб при частому збиранні-розбиранні, корпус займав завжди одне і те ж положення.

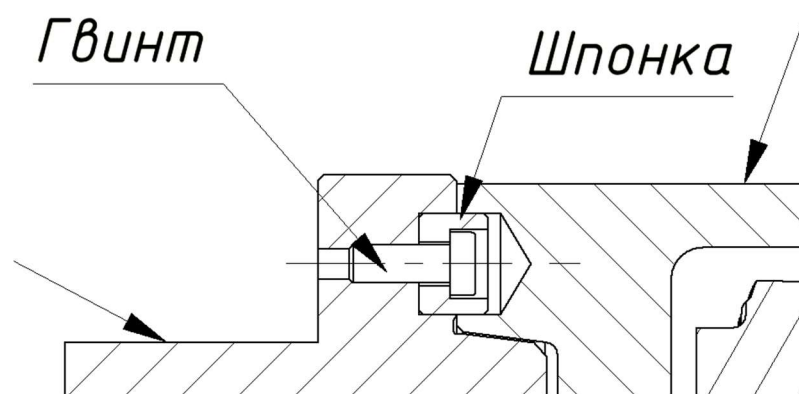


Рисунок 4.7 – Отвір зі шпонкою для фіксування корпусу

Кришка пристосування кріпиться до корпусу трьома шпильками та фіксується гайками. Для забезпечення точності встановлення в кришку запресовуються втулки (дві на кожен кріпильний отвір), у які будуть кріпитись шпильки. Точність забезпечується за рахунок точного оброблення втулок, які Діаметр отвору кришки робиться більшим за діаметр бурта, щоб мати змогу обробити торець бурта фрези та посадковий отвір за одну установку, щоб забезпечити перпендикулярність торця відносно осі посадкового отвору фрези.

Забезпечення швидкодії пристосування виконується за рахунок наявності лише трьох шпильок з гайками. При збиранні пристосування необхідно вставити фрезу з втулками в корпус, закрутити шпильки в корпус, закрити кришкою та затягнути гайки. При подальшому обробленні наступних фрез, достатньо відкрутити гайки, зняти кришку та фрезу та вставити нову і заново закріпити кришку на пристосуванні. Самі гайки знаходяться на торці

пристосування на відкритій поверхні, тому гайки можуть відкручуватись з будь-якого боку, а також ручне затискання може бути замінене пневматичним з застосуванням пневмоциліндра, що підвищить ефективність праці.

Всі кріпильні елементи виготовлені за стандартом DIN, що робить пристосування універсальним та незалежним від старих стандартів.

Виконується розробка елемента центрування фрези

Конструкція елемента центрування складається з центрувального конуса на довгому валу, який закріплюється в шпинделі верстата та у втулці, яка в свою чергу закріплюється в кінець шпинделя верстата. Перелік елементів пристосування наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Елементи пристосування

Номер елемента	Найменування	Стандарт	Кількість, шт.
1	Корпус	-	1
2	Кришка	-	1
3	Втулка D45	-	1
4	Втулка D64	-	1
5	Втулка шпильки	-	6
6	Шпонка	ГОСТ 12595-85	1
7	Шпилька M6x50	DIN 835	3
8	Гайка M6	DIN EN 24032	3
9	Шайба	DIN 125-1 A A6,4	3
10	Шпилька M10x45	DIN 835	3
11	Гайка M10	DIN EN 24032	3
12	Шайба	DIN 125-1 A A10,5	3

Тому дане пристосування може використовуватись на більшості сучасних верстатів, воно є простим, ефективним, технологічним, не має складних елементів у виготовленні та обслуговуванні та забезпечує достатню швидкодію.

4.2 Розрахунок потужності та сил різання

Сила різання розкладається на складові

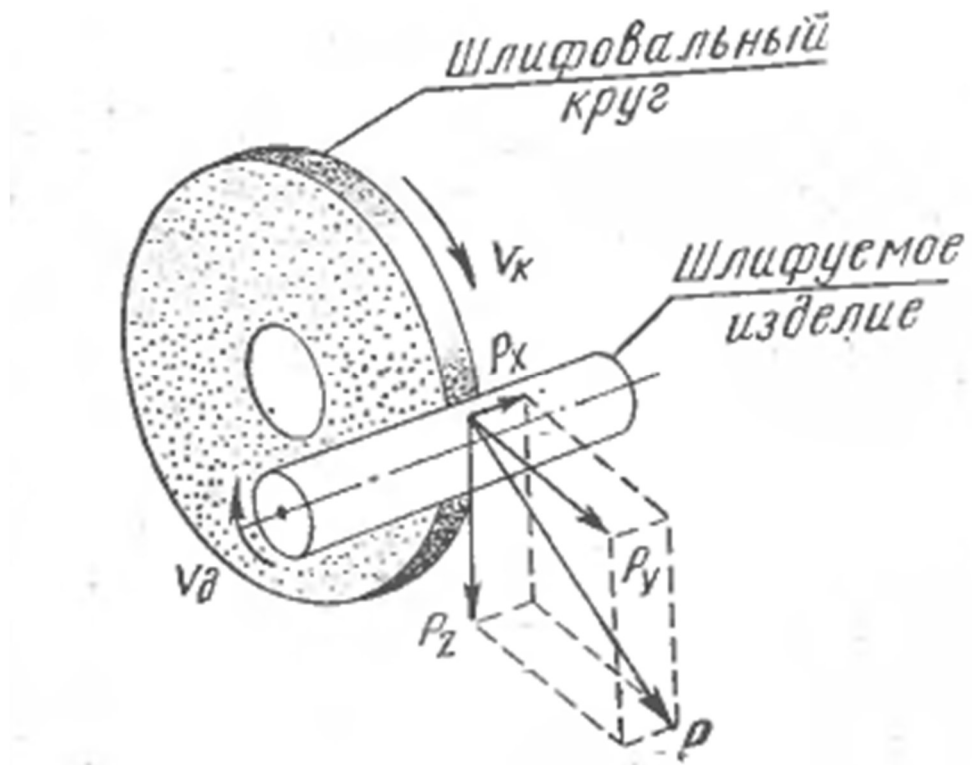


Рисунок 4.8 – Складові сили різання

Тангенційна складова сили різання P_z :

$$P_z = C_p \cdot v_d^{0.7} \cdot S_{\text{пов}}^{0.7} \cdot t^{0.7} \quad (4,1)$$

Швидкість виробу $v_d = 10 \dots 25$ м/хв, швидкість круга $v_k = 10 \dots 30$ м/с. Коефіцієнт C_p з приймається рівним 22 для загартованої сталі. Повздовжня подача $S_{\text{пов}} = 0.3 \dots 1$ мм/об. Глибина різання $t = 0.01 \dots 0.02$ мм/пдв.хід. Для визначення максимальної сили різання беруться найбільші значення режимів різання. Тоді:

$$P_z = 22 \cdot 25^{0.7} \cdot 1^{0.7} \cdot 0.02^{0.7} = 13.54$$

В [13] сказано, що радіальна складова більша за тангенційну в 1 ... 3 рази.

Тому радіальна складова:

$$P_y = 3 \cdot P_z \quad (4,2)$$

$$P_y = 3 \cdot 13.54 = 40.63 \text{ Н}$$

Осьова складова становить $0.2P_z$, тому цією складовою нехтують.

Загальна сила різання:

$$P = \sqrt{P_y^2 + P_z^2} \quad (4,3)$$

$$P = \sqrt{13.54^2 + 40.63^2} = 42.82 \text{ Н}$$

Після визначення зусиль різання виконується визначення сил затиску фрези. Для цього визначається коефіцієнт тертя між втулкою та фрезою. З [13], коефіцієнт тертя Сталь – сталь $f = 0.8$ для стану спокою (коли тіла не рухаються один відносно одного).

Коефіцієнт f в свою чергу рівний:

$$f = \frac{F}{N} \quad (4,4)$$

де F – сила тертя
 N – нормальна сила (діє по нормалі до поверхні, по якій створюється тертя)

В даному випадку $F = P$, тому сила затиску:

$$N = \frac{F}{f} = \frac{P}{f} \quad (4,5)$$

$$N = \frac{42.82}{0.8} = 53.53 \text{ Н}$$

Сила затиску невелика, тому необхідність розраховувати міцність кріпильних елементів відпадає.

Потужність різання визначається за відомою формулою:

$$N = P \cdot v \quad (4,6)$$

де P – зусилля різання
 v – швидкість різання

Потужність, витрачувана на обертання деталі [13]:

$$N_d = \frac{P_z \cdot v_d}{60 \cdot 1000} \quad (4,7)$$

$$N_d = \frac{42.82 \cdot 25}{60 \cdot 1000} = 0.00564 \text{ кВт}$$

Потужність, витрачувана на обертання шліфувального круга [13]:

$$N_k = \frac{P_z \cdot v_k}{1000} \quad (4,8)$$

$$N_k = \frac{42.82 \cdot 30}{1000} = 0.0406 \text{ кВт}$$

Потужність знайдена без врахування КПД верстата. Так як шліфування може відбуватись на різних верстатах, розрахунки виконувались без поправки на КПД верстата.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стадник В. А. Деталі машин, курс лекцій / А. А. Стадник. – НТУУ КПІ, 2012. – 650 с. – (Електронне навчальне видання)
2. https://studopedia.su/13_40597_metodi-polucheniya-shlitsevih-poverhnostey.html (дата звернення 10.03.2023)
3. <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/tools/milling-tools/gear-milling-tools> (дата звернення 12.03.2023)
4. Солодкий В. І. Основи формоутворення поверхонь різанням / В. І. Солодкий, Д. О. Красновид, О. А. Плівак. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 440 с. – (Електронний ресурс)
5. Родин П. Р. Родин / П. Р. Родин, В. И. Климов, С. Б. Якубсон. – Технология изготовления зуборезного инструмента, 1982. – 208 с. – (Техніка)
6. Лахтин Ю. М. Материаловедение: Учебник для машиностроительных вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – Москва: Машиностроение, 1980. – 430 с. – (2).
7. Солодкий В. І. Проектування металорізальних інструментів: Навч. посіб. / В. І. Солодкий, О. А. Плівак, С. В. Майданюк. – Київ: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 170 с.
8. Загальні основи теорії проектування черв'ячних фрез: дис. докт. техн. наук / . – Київ, 2015. – 323 с.
9. <https://studfile.net/preview/7340876/page:4/> (дата звернення 25.03.2023)
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1/Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. 656 с., ил.
11. Проектування та технологічне забезпечення інструментальних систем інженерного дизайну [Електронний ресурс] / В. І.Солодкий, Ю. І. Адаменко, В. В. Вовк, Н. В. Мініцька // 1. – 2020.
12. Котельников В. К. Приспособления для металлорежущего инструмента / В. К. Котельников. – Москва: Машиностроение, 1977. – 175 с. – (1).
13. <https://studfile.net/preview/7393117/page:11/> (дата звернення 28.04.2023)

ДОДАТКИ

[illegible]

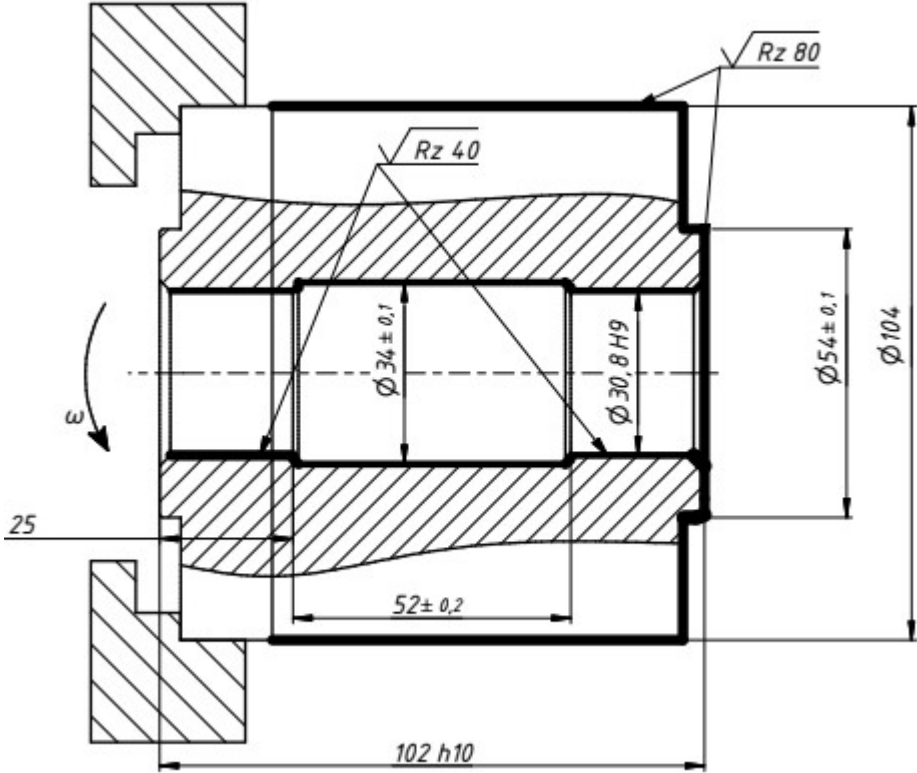
[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

		Назва операції				Матеріал					
		Токарна				Р6М5					
		Твердість	ЕВ	МД	Профіль та розміри			МЗ		КОИД	
		HB229	166	1.8	D×B=110×110			2.3		1	
		Обладнання, пристрій ЧПУ					Позначення програми				
		Токарно-гвинторіз. вер.16K25									
		То	Тдоп	Тпз	Тшт.	ЗОТС					
		250	14	14	8.75	5% емульсія Укринол-1					
		ПИ	Д або В	L	t	i	S	n	v	То	Тв
01	А. Встановити, закріпити, зняти.										

О 02	1. Точити зовнішню пов-ню (начорно), витримуючи розмір;										
Т 03	АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ патрон трьохкулачковий; АБВГ.392104 різець прохідний; ШЦ-1-250-0.01										
Р 04			104	110	8	1	0.5	300	217	0.77	0.06
05											
О 06	2. Точити торець, фаски, діаметр бурта, торець бурта (начорно), витримуючи розмір;										
Т 07	АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ патрон трьохкулачковий; АБВГ.392104 різець підрізний; ШЦ-1-250-0.01										
Р 08			104	106	4	1	0.5	300	217	0.3	0.03
09	Б. Перевстановити, закріпити, зняти:										
ОК	ОБРОБКА РІЗАННЯМ										

Дубл.											
Взам.											
Підп.											

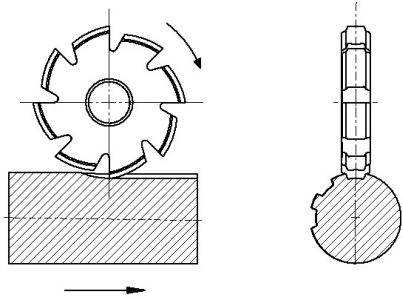
Виріб											
											015

		ПИ	Д або В	L	t	i	S	n	v	To	Тв
О 01	1. Точити зовнішню пов-ню (начорно), витримуючи розмір;										
Т 02	АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ патрон трьохкулачковий; АБВГ.392104 різець підрізний; ШЦ-1-250-0.01										
Р 03			104	102	8	1	0.5	300	217	0.1	0.11
04											
О 05	2. Точити торець, діаметр бурта, фаски, торець бурта (начорно), витримуючи розмір;										
Т 06	АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ патрон трьохкулачковий; АБВГ.392104 різець прохідний; ШЦ-1-250-0.01										
Р 07			104	107	4	1	0.5	300	217	0.1	0.03

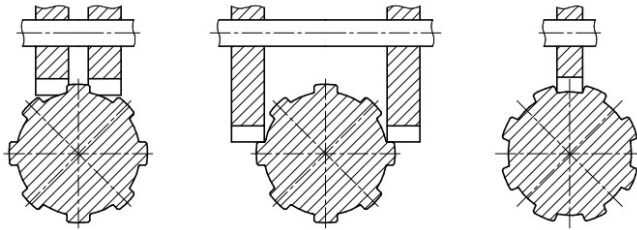
08											
О 10	2. Свердли́ти отві́р										
Т 11	АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ патрон трьо́хкулачко́вий; АБВГ.392104 свердло; ШЦ-1-250-0.01										
Р 12			30	25	30	1	0.5	300	217	0.6	0.11
13											
14	3. Розточити отві́р (начорно);										
15	АБВГ.ХХХХХХ.ХХХ патрон трьо́хкулачко́вий; АБВГ. 392104 різе́ц розточни́й; ШЦ-1-250-0.01										
16			40	50	10	1	0.3	300	47	0.37	0.11
ОК	ОБРО́БКА РІ́ЗАННЯ́М										

Методи утворення шліців

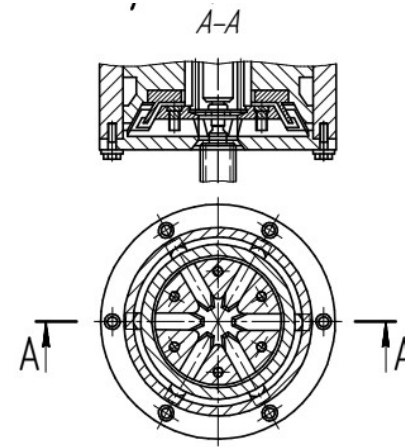
Фрезерування фасонною фрезою



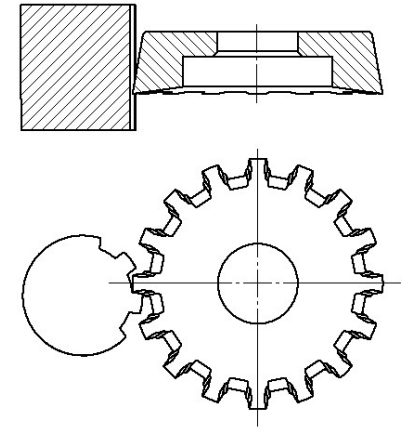
Фрезерування дисковою фрезою



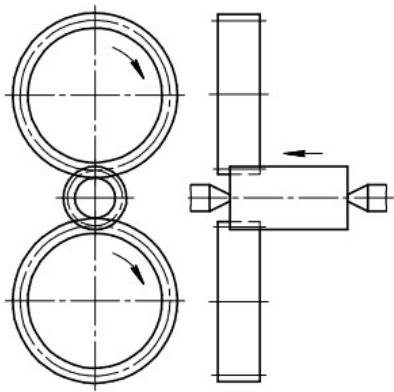
Нарізання різцями



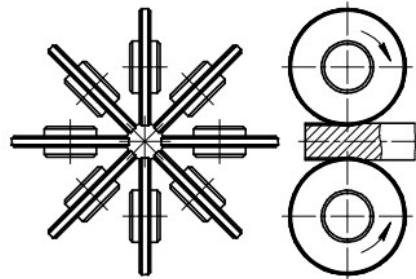
Шліцедовдання



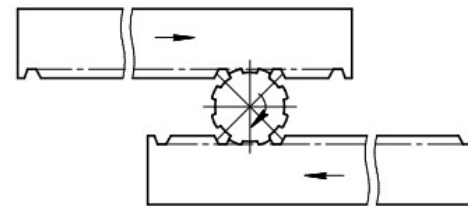
Накатування роликками



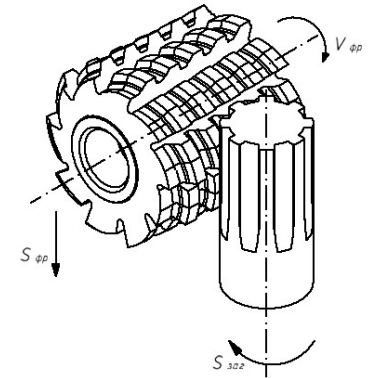
Накатування роликовою головкою



Накатування рейкою

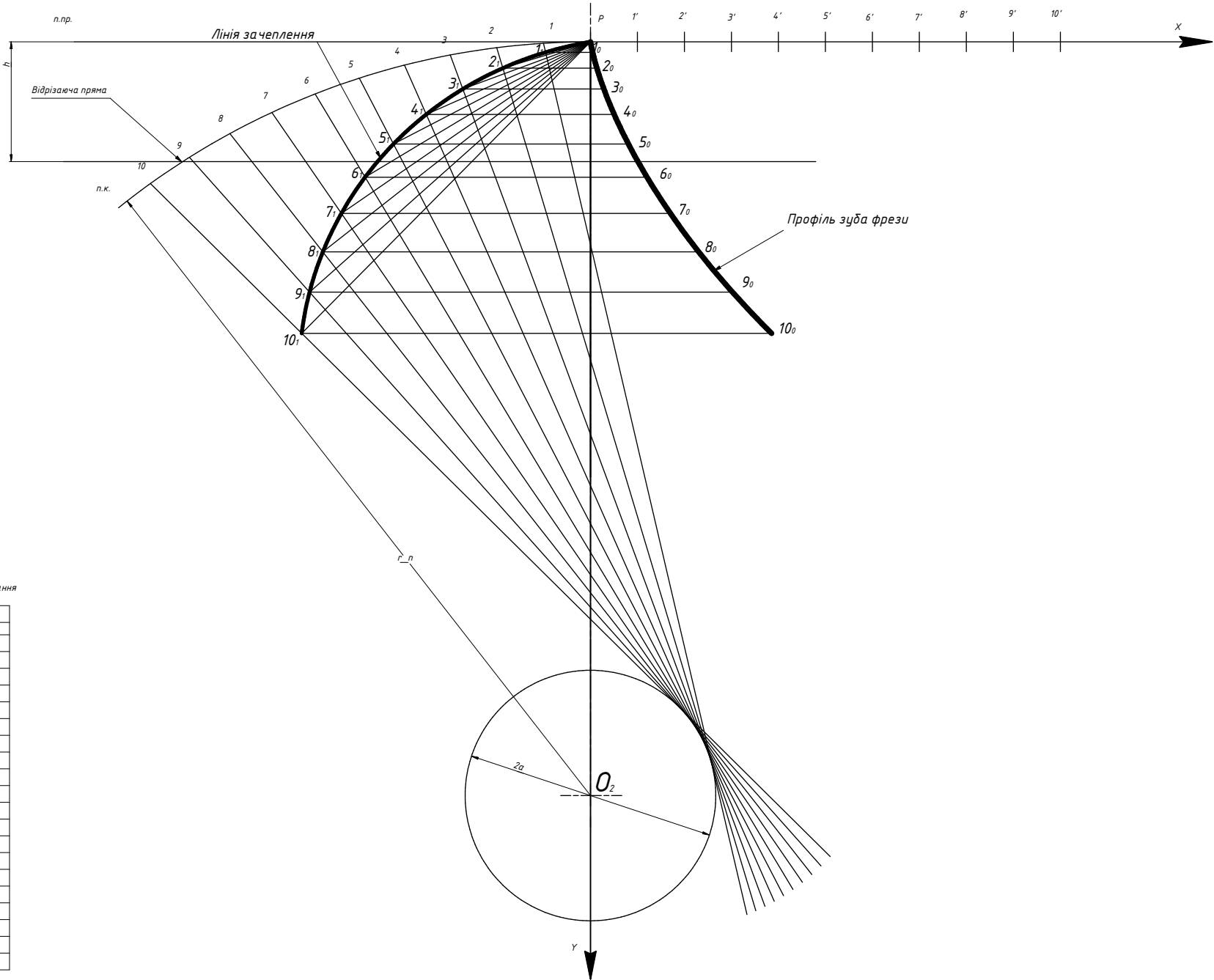
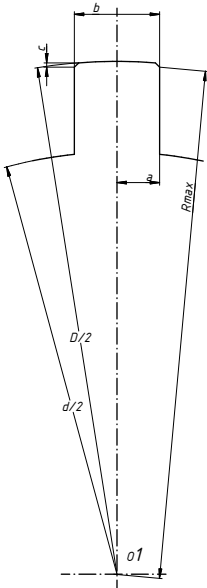


Фрезерування черв'ячною фрезою



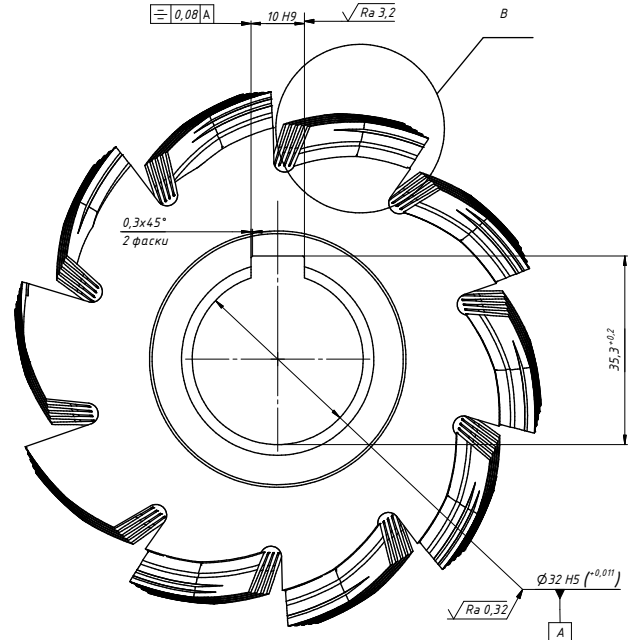
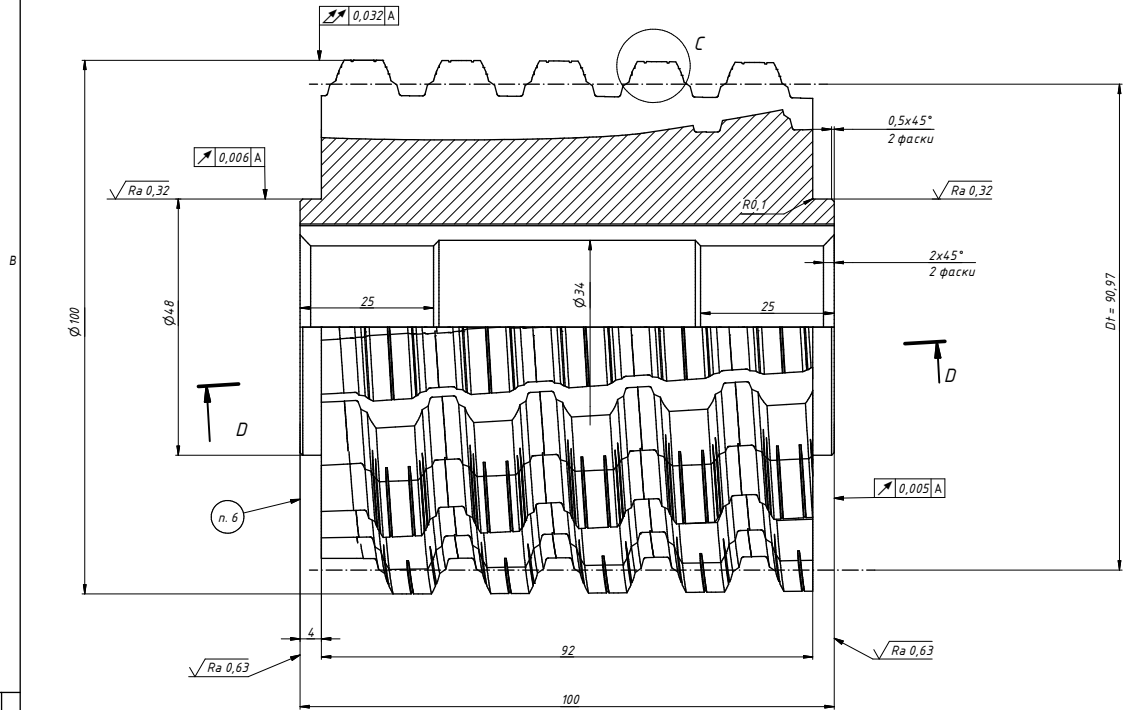
Графічне визначення профіля зуба фрези

Профіль шліца

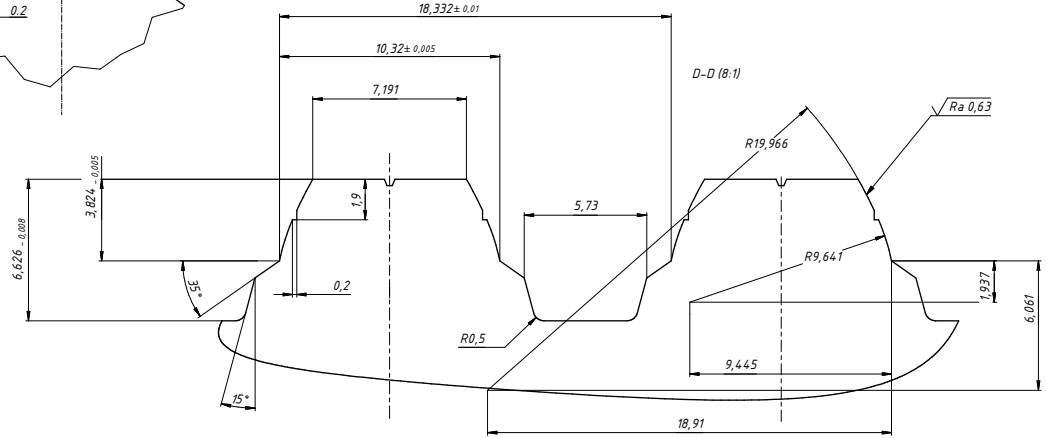
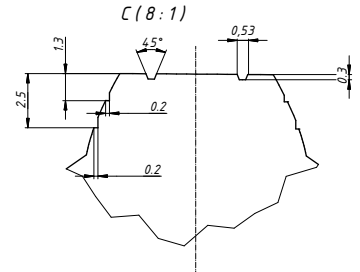
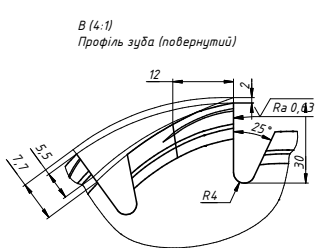


Порівняння результатів аналітичного розрахунку і графічного профілювання

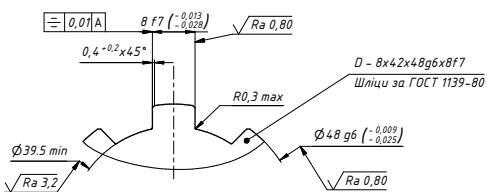
$Y_{аналит.}$	$Y_{граф.}$	$X_{аналит.}$	$X_{граф.}$	$\Delta Y, \%$	$\Delta X, \%$
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,191	0,038	0,190	0,038	0,41	-0,66
0,383	0,082	0,382	0,081	0,07	1,77
0,574	0,133	0,575	0,132	-0,2	0,21
0,765	0,188	0,766	0,188	-0,12	0,05
0,956	0,248	0,955	0,248	0,14	-0,04
1,148	0,312	1,148	0,312	-0,07	-0,03
1,339	0,380	1,338	0,380	0,02	-0,04
1,530	0,452	1,531	0,451	-0,05	-0,02
1,721	0,527	1,722	0,527	-0,03	-0,13
1,913	0,606	1,913	0,606	-0,02	-0,07
2,104	0,688	2,103	0,687	0,02	-0,02
2,295	0,773	2,295	0,773	-0,01	0,01
2,487	0,862	2,487	0,862	-0,02	-0,06
2,678	0,954	2,677	0,954	0,03	-0,08
2,869	1,048	2,869	1,048	0,00	0,04
3,060	1,146	3,080	1,146	-0,64	0,01
3,252	1,247	3,252	1,247	-0,02	0,02
3,443	1,351	3,444	1,351	-0,03	0,00
3,634	1,458	3,634	1,458	0,01	-0,03
3,826	1,568	3,825	1,567	0,00	0,01



Фреза черв'ячна шліцова D - 8x42x48g6x8f7	
Крок зубів фрези	P_n 18,403
Кількість стружкових каналів	Z_s 10
Число заходів	n 1
Напрямок витків фрези	- праве
Кут підйому витка фрези на середньому розрахунковому діаметрі	$\gamma_{\text{пс}}$ 3°40'
Напрямок стружкових каналів	- ліве
Кут нахилу лінії каналів на середньому розрахунковому діаметрі	$\lambda_{\text{пс}}$ 3°40'
Хід двинтових стружкових каналів	$P_{\text{дв}}$ 4455,71
Стандарт приточених шліців	ГОСТ 1139-80
Позначення шліців	D - 8x42x48g6x8f7
Клас точності по ГОСТ 8027-86	- A
Радіальне биття буртів	f_r 0,006
Торцеве биття буртів	f_t 0,005
Радіальне биття по верхніх зубах	$f_{r_{\text{вх}}}$ 0,032
Профіль передньої поверхні	f 0,032
Похибка колового кроку стружкових каналів	$F_{\text{кв}}$ 0,063
Відхилення передньої поверхні стружкових каналів від номінального положення	f_s ±0,08
Відхилення товщини зубів, виміряне на дисіті головки в нормованому положенні	$T_{\text{св}}$ -
Відхилення двинтової лінії фрези на одному оберті	$f_{\text{дв}}$ 0,014
Відхилення оснтового кроку фрези	$f_{\text{пс}}$ ±0,01



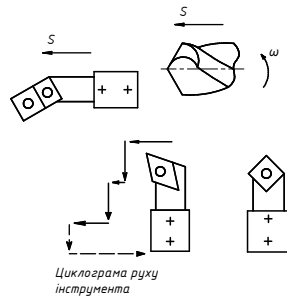
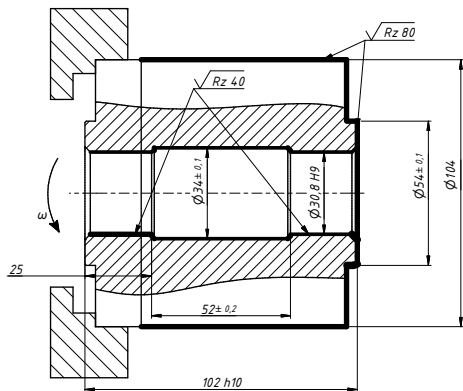
Вхідні дані
Профіль шліців (2:1)



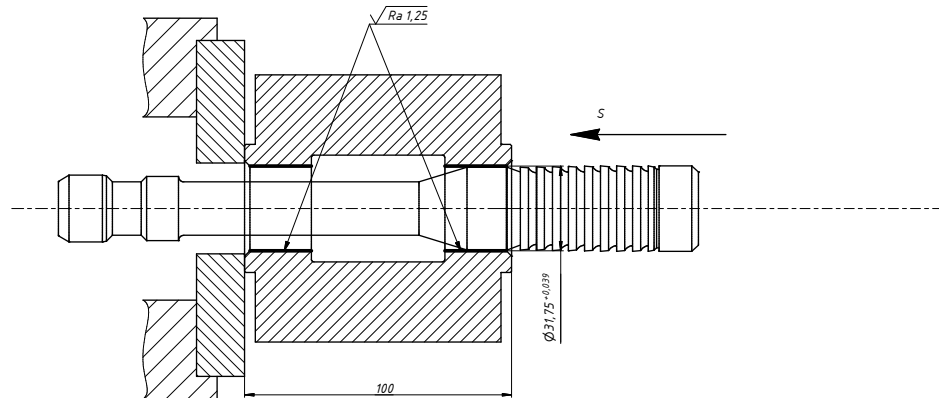
1. HRC 63...66
2. На всіх поверхнях повинні бути відсутні сліди корозії, тріщини, задирки; на шліфованих поверхнях не повинно бути забоїв та викривлень.
3. Шліфована частина фрези повинна бути не менше 1/3 довжини зуба по зовнішньому діаметру.
4. Невогні битки притупити, щоб товщина верхньої частини зуба по всій довжині була не менше половини товщини цілого зуба.
5. Допуски на невказані розміри: ISO 2768 - mK
6. Маркувати: Р6М5, D-8x42x48g6x8f7, $\gamma_{\text{пс}} = 3^\circ40'$, $D_f = 90,974$ мм.

ДПБ МІ91.012.03.000 РК	
Фреза черв'ячна шліцова D8x42x48g6x8f7	
Лист	Маса
1	0,4
Листів	2:1
Р6М5 ГОСТ 19265 - 75	
КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ММІ МІ-91	
1 Копіював	
Формат А1	

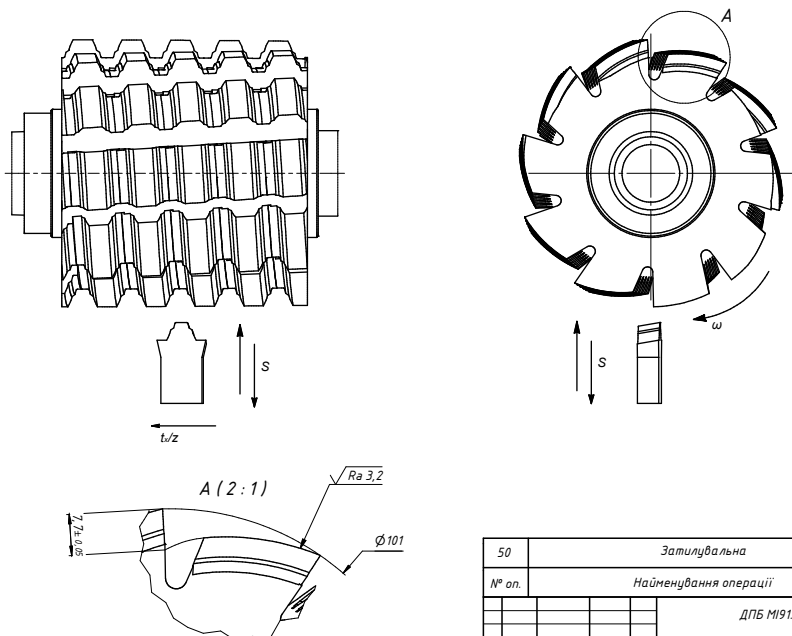
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100



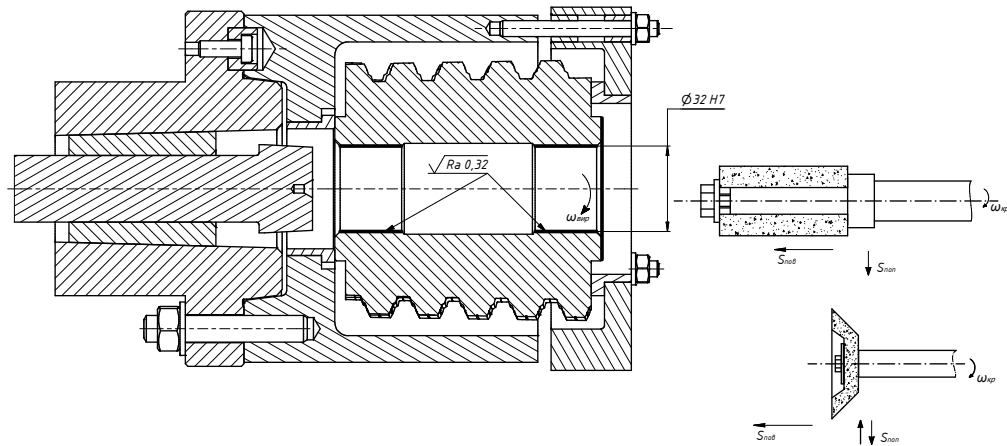
10	Токарно-револьверна	Підріз-ня торця	1	0,2	200	600
		Точіння зовн. пов	4	0,2	314	1000
		Свердління	15	0,45	14	300
		Розточування	6,5	0,15	51	580
№ оп.	Найменування операції	Вид	t, мм	S _т , мм/хв	V _с , м/хв	n, об/хв
		ДПБ МІ91.012.05.001 ТП				
Зм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Лит.	Маса
Розроб.	Либачук В.Р.					Масштаб
Перев.	Бесарабська В.Я.					1:1
Т. Контр.					Аркш.	Аркшів
Н. Контр.					КПІ ім. Ізоря Сікорського	
Затв.	Бесарабська В.Я.				НН ММІ МІ-91	



15	Протягувальна				28	32	0,2
№ оп.	Найменування операції				D _{поч} , мм	D _{кон} , мм	S _с , мм/зуб
					ДПБ МІ91.012.05.002 ТП		
					Графічне зображення технологічного процесу		
Зм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Лит.	Маса	Масштаб
Розроб.	Либачук В.Р.						1:1
Перев.	Бесарабська В.Я.						
Т. Контр.					Аркш.	Аркшів	
Н. Контр.					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Затв.	Бесарабська В.Я.				НН ММІ МІ-91		



50	Затилувальна				0,2	8	26
№ оп.	Найменування операції				S _т , мм/хв	V, м/хв	n, об/хв
					ДПБ МІ91.012.05.003 ТП		
Зм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Графічне зображення технологічного процесу		
Розроб.	Либачук Д.Р.						
Перев.	Бесарабська В.Я.						
Т. Контр.							
Н. Контр.					Лит.	Маса	Масштаб
Затв.	Бесарабська В.Я.						1:1
					Аркш.		
					Аркшів		
					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
					НН ММІ МІ-91		

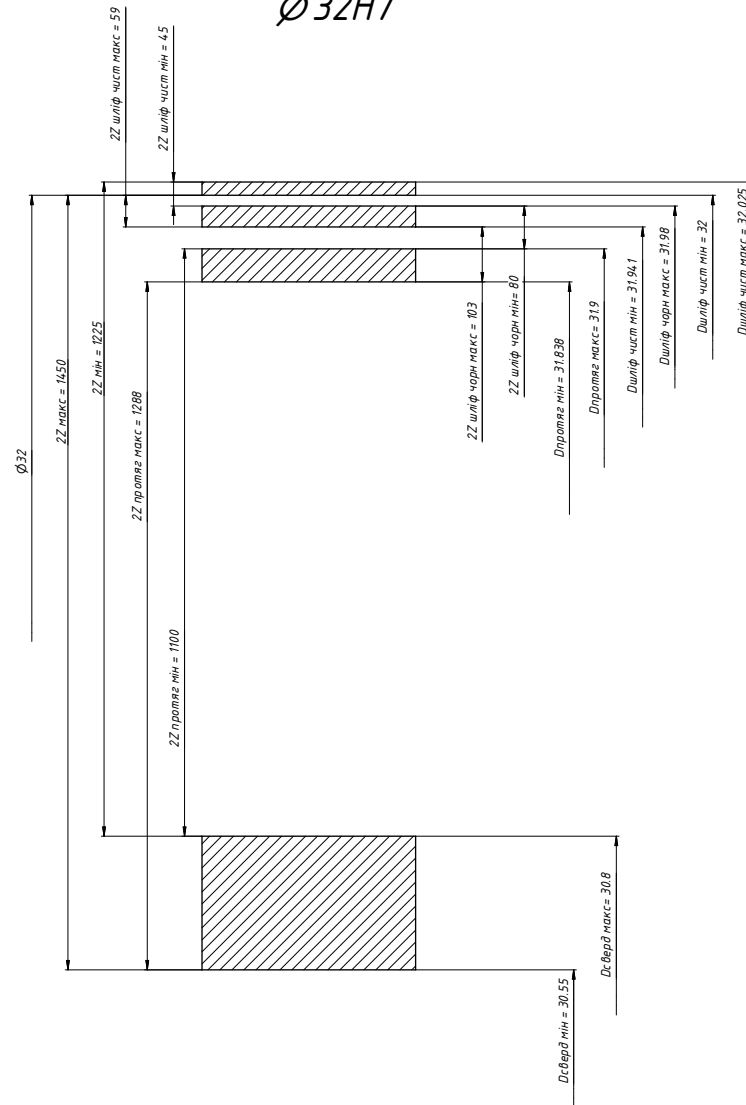


60	Шліфувальна (внутрішня)		0,6	0,5	0,01	25	15	240	200
№ оп.	Найменування операції		t, мм	S _т , мм/об	S _{поп} , мм/хв	V _{кр} , м/хв	V _{шр} , м/хв	ω _{шр} , об/хв	ω _{поп} , об/хв
		ДПБ МІ91.012.05.004 ТП							
Зм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Лит.	Маса	Масштаб		
Розроб.	Либачук В.Р.						1:1		
Перев.	Бесарабська В.Я.								
Т. Контр.							Аркш.	Аркшів	
Н. Контр.							КПІ ім. Ізоря Сікорського		
Затв.	Бесарабська В.Я.						НН ММІ МІ-91		

Розташування припусків та міжперехідних розмірів

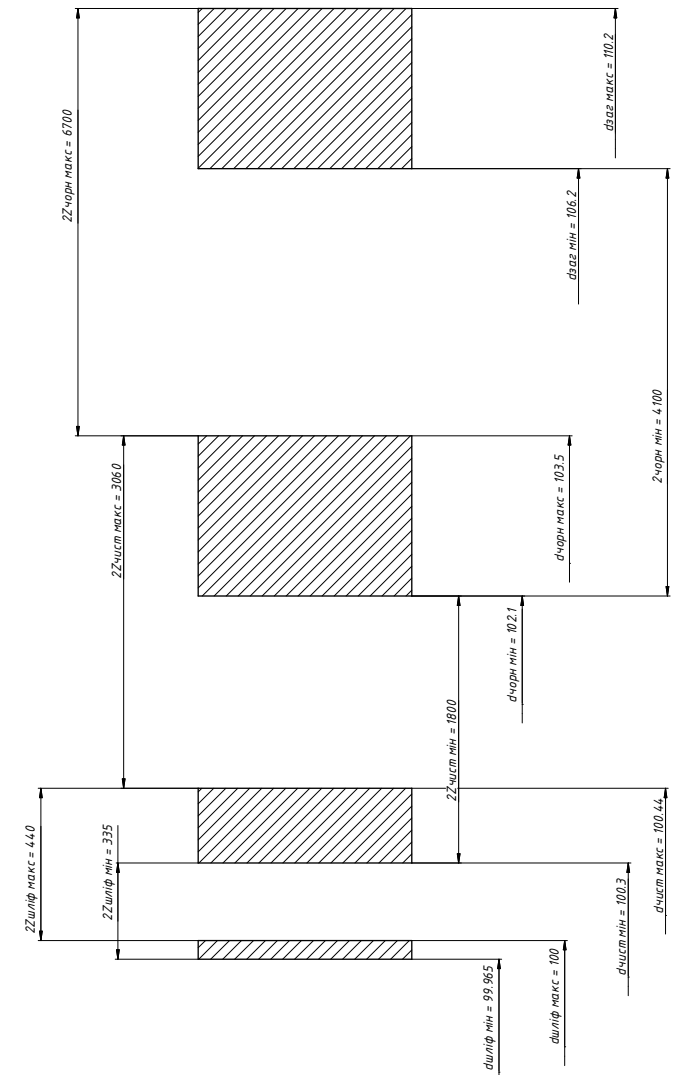
Розташування припусків та міжперехідних розмірів для поверхні

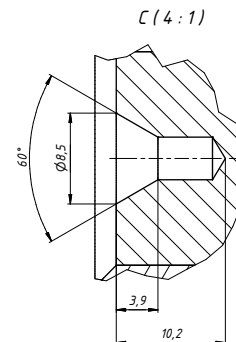
$\varnothing 32H7$



Розташування припусків та міжперехідних розмірів для поверхні

$\varnothing 100H7$



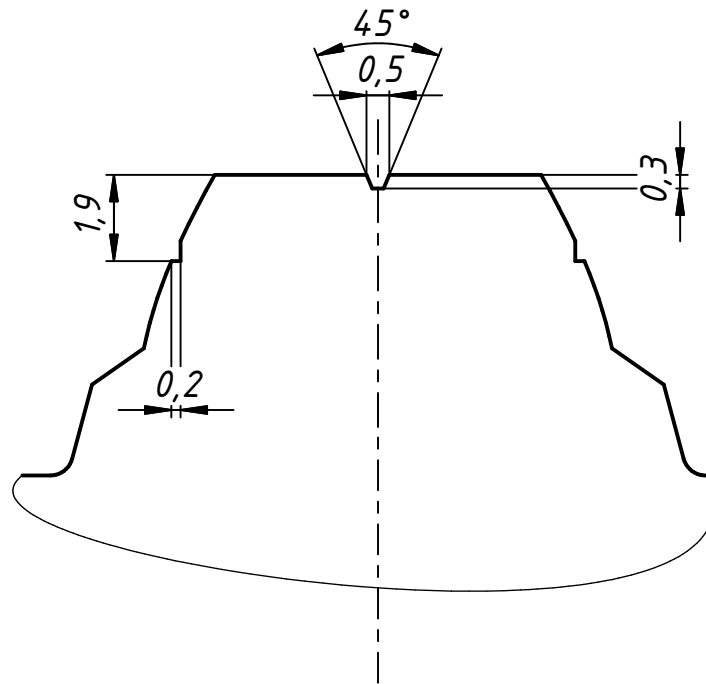


- | | | | | | | | |
|----------|-----------|----------|-------|------------------------|--|------|--------|
| | | | | ДПБ МІ91.012.02.000 СК | | | |
| №п/п | Лист | № докум. | Подп. | Дата | | | |
| Разработ | Льварчик | | | | | | |
| Провер | Бесарабев | | | | | | |
| Исполн | | | | | | | |
| И контр. | | | | | | | |
| Удосто | | | | | | | |
| | | | | | Пристосування для
шліфування посадкових
отвору | | |
| | | | | | Лист | Лист | Листов |
| | | | | | | | 1 |
| | | | | | КПІ ім. Ігоря Сікорського
НН ММІ М-91 | | |

[illegible]

Профілі поверхонь зубів за різного положення стружкороздільних канавок

Профіль А



Профіль Б

