



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ. ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОГО ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Технології машинобудування»
спеціальності 131 Прикладна механіка

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2025

Автори: *Петраков Юрій Володимирович*, д-р техн. наук, проф.
Охріменко Олександр Анатолійович, д-р техн. наук, проф.
Фролов Володимир Костянтинівич, канд. техн. наук.
Кореньков Володимир Миколайович, канд. техн. наук

Рецензент *Данильченко Ю.М.*, д-р техн. наук, проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор *Саленко О.Ф.*, д-р техн. наук, проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 7 від 08.05.2025р.)
за поданням вченої ради Навчально-наукового механіко-машинобудівного інституту
(протокол № 9 від 29.04.2025р.)*

Технології машинобудування. Виконання бакалаврського дипломного проєкту [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Технології машинобудування» спец. 131 Прикладна механіка / Ю. В. Петраков, О. А. Охріменко, В. К. Фролов, В. М. Кореньков; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 131 с.

Навчальний посібник містить рекомендації з виконання дипломного проєкту бакалавра з технології машинобудівного виробництва, вимоги до змістовної частини вирішених задач, яка має відображати компетенції студента, здобуті під час всього навчання, вимоги до оформлення як текстової частини, так і графічного матеріалу. Особливу увагу приділено частині дипломного проєкту, в якій вирішуються завдання, спрямовані на розроблення інноваційних рішень технології машинобудування

УДК 621.9

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>
Свідectво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© Ю.В. Петраков, О.А. Охріменко, В.К. Фролов, В.М. Кореньков, 2025
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	7
1.1. Вимоги до структури дипломного проєкту	7
1.2. Структура текстової частини	7
1.3. Графічна частина.....	8
1.4. Вимоги до оформлення текстової частини.....	8
1.5. Завдання	11
1.6. Захист дипломного проєкту	11
2. ЕТАПИ РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	13
2.1. Аналіз кресленика деталі та вихідних даних	14
2.2. Вибір способу отримання заготовки	15
2.2.1. Литі заготовки	17
2.2.2. Штамповані заготовки.....	18
2.3. Проектування послідовності операцій, переходів	19
2.3.1. Вплив типу виробництва на структуру технологічного процесу ..	19
2.3.2. Технологічні послідовності оброблення поверхонь деталі	20
2.4. Обґрунтування вибору технологічних баз	25
2.5. Проектування змісту технологічних операцій	28
2.6. Проектування інструментального забезпечення.....	31
2.6.1. Інструментальні матеріали для лезового оброблення.....	31
2.6.2. Інструментальні матеріали для алмазно-абразивного оброблення	34
2.7. Розрахунок режиму різання	37
2.7.1. Табличний метод.....	38
2.7.2. Аналітичний метод	39
2.7.3. Оптимізація режиму різання.....	40
2.8. Зміст технологічної частини в дипломному проєкті	42
3. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ	44
3.1. Загальні вимоги до розроблення технологічного оснащення	44

3.2. Пристрої для установки і затиску заготовки	45
3.3. Інструментальні пристрої.....	51
3.4. Контрольно-вимірювальні пристрої	54
4. ЗАВДАННЯ З ПОГЛИБЛЕНОГО РОЗРОБЛЕННЯ ОКРЕМИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РОЗДІЛІВ	59
4.1. Шорсткість поверхні при контурному фрезеруванні	61
4.2. Оптимізація режиму різання при точінні	64
4.3. Оптимізація режиму різання при торцевому фрезеруванні	66
4.4. Проектування безцентрового люнета	68
4.5. Визначення впливу частоти обертання шпинделя на силу затиску в патроні	70
4.6. Динамічні характеристики холостих переміщень на верстаті з ЧПК.....	72
4.7. Визначення подачі на рядок при фрезеруванні 3D- поверхонь	75
4.8. Визначення залежності швидкодії руки робота від маси деталі, що переноситься	78
4.9. Інструментальне забезпечення виготовлення внутрішніх евольвентних шліців	84
4.9.1. Розрахунок основних параметрів довбача	86
4.9.2. Приклади оформлення графічної частини по проектуванню довбача ..	92
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	95
5.1. Загальні визначення	95
5.2. Методика розрахунку собівартості	96
5.3. Приклад розрахунку повної собівартості деталі.....	99
Література	101
ДОДАТОК А. Титульний аркуш	103
ДОДАТОК Б. Завдання на дипломний проєкт.....	104
ДОДАТОК В. Приклади виконання графічної частини.....	106
ДОДАТОК Г. Схеми технологічних переходів	125

ВСТУП

У відповідності до рекомендацій [1] дипломний проєкт (ДП) – вид кваліфікаційної роботи здобувача ступеня вищої освіти «бакалавр», призначений для об'єктивного контролю ступеня сформованості умінь вирішувати типові завдання діяльності, які віднесені до інженерних (проектно-конструкторських, технологічних та експлуатаційних) виробничих функцій.

Дипломний проєкт є завершеною інженерною розробкою об'єкта проєктування (системи, пристрою, технологічного процесу, комп'ютерної програми тощо) і передбачає синтез об'єкта проєктування, який відповідає вимогам завдання на дипломний проєкт; із докладною розробкою певної функціональної частини (елемента, вузла, підсистеми, технологічної операції тощо) з урахуванням сучасного рівня розвитку відповідної галузі, досягнень науки і техніки, економічних, екологічних, експлуатаційних і ергономічних вимог, а також вимог охорони праці.

Дипломний проєкт бакалавра є комплексним технічним завданням, що підтверджує його освітньо-кваліфікаційний рівень за спеціальністю 131 Прикладна механіка освітньої програми «Технології машинобудування».

Виконання завдання потребують компетенцій, які сформовані на базі вивчення дисциплін загального плану підготовки (нормативних та дисциплін вільного вибору). При виконанні дипломного проєкту студент має продемонструвати набуті знання з математики, теоретичної механіки та опору матеріалів, теорії машин та механізмів, деталей машин, матеріалознавства, теорії автоматичного управління та основних фахових дисциплін.

Дипломний проєкт складається з текстової та графічної частин і повинен виконуватись із застосуванням сучасних програмних продуктів. В ході виконання проєкту студенту необхідно реалізувати стандартні алгоритми вирішення типових завдань, а в окремих випадках необхідно самостійно вдосконалювати відомі алгоритми і на їх основі вирішувати конкретні задачі.

Завершений дипломний проєкт представляється для захисту в Екзаменаційну комісію з відгуком керівника та відповідною рецензією.

ЗАГАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУВАННЯ



1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Вимоги до структури дипломного проєкту

Загальна структура дипломного проєкту має передбачати:

- а) титульний аркуш (дивись додаток А);
- б) завдання (дивись додаток Б);
- в) реферат (українською і англійською мовами – обсяг 500-600 знаків з пробілами);
- г) зміст;
- д) перелік умовних позначень (за необхідністю);
- е) вступ;
- ж) основну частину;
- и) поглиблений розгляд окремого питання з основної частини;
- к) висновки;
- л) список використаних джерел;
- м) додатки (за необхідністю).

1.2. Структура текстової частини

Титульний аркуш та завдання встановленого зразку повинні бути повністю оформлені та підписані студентом, керівником і завідувачем кафедри.

Реферат ДП повинен коротко відображати зміст виконаної роботи, відомості про обсяг проєкту, перелік ключових слів (словосполучень), що є найістотнішими для розкриття суті роботи і які друкуються курсивом у називному відмінку.

Зміст, який подається на наступному після реферату аркуші, повинен включати вступ, найменування всіх розділів, підрозділів, пунктів основної частини роботи, список використаних джерел, найменування додатків із зазначенням сторінок розміщення цих матеріалів.

Текстова частина ДП повинна відображати всі розрахунки та необхідні пояснення, викладені у послідовності вирішення завдання; розрахункові

схеми, математичні залежності, таблиці та алгоритми розв'язування конкретних задач.

Список використаних джерел включає тільки ті найменування, на які є посилання в тексті та має бути складений в алфавітному порядку з вихідними даними в стандартній формі. Кожне джерело, що включене до списку, має бути зазначено у тексті роботи. Бібліографічний опис джерел складають з урахуванням ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання».

Обсяг текстової частини (разом з рисунками і таблицями) 50-70 сторінок формату А4.

1.3. Графічна частина

Графічна частина складається з 6-7 аркушів формату А1. Рекомендується виконання всіх креслеників за допомогою відповідних систем тривимірної графіки (3D CAD). Крім того, рекомендується використовувати графічну і текстову частини при підготовці доповіді на захисті у вигляді презентації (наприклад з використанням Microsoft PowerPoint).

1.4. Вимоги до оформлення текстової частини

Текстова частина дипломного проєкту оформлюються відповідно до ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання».

Текстова частина представляється у текстовому редакторі Microsoft Word, поля: верхнє, нижнє та ліве – 25 мм, праве – 20 мм, шрифт – Times New Roman, 14 пт., міжрядковий інтервал 1,5, абзац 1,25 мм, вирівнювання за шириною.

Структурні елементи та розділи повинні починатися з нової сторінки. Слід намагатися, щоб сторінка, яка передує початку нового структурного елемента, була заповнена не менше ніж на половину.

Заголовки структурних елементів та розділів необхідно розміщувати на середині рядка та друкувати великими літерами без крапки в кінці. Не можна

розміщувати заголовок в нижній частині сторінки, якщо після нього залишається тільки один рядок тексту.

Розділи, підрозділи, пункти та підпункти нумеруються арабськими цифрами. Номер підрозділу складається з номера розділу та порядкового номера підрозділу, розділених крапкою, наприклад, 1.1, 1.2 тощо.

Сторінки роботи нумеруються арабськими цифрами в правому верхньому куті сторінок зі збереженням наскрізної нумерації всього тексту. На титульному аркуші номер сторінки не ставлять.

Ілюстрації необхідно розміщувати безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. На всі ілюстрації повинні бути посилання в роботі.

Ілюстрації нумеруються арабськими цифрами в межах розділу та вказуються “Рисунок 1.2 – *Назва*”, що разом з назвою ілюстрації розміщується під рисунком, наприклад, “Рисунок 3.2 – Схема складових сил різання” (другий рисунок третього розділу).

Таблицю слід розміщувати безпосередньо після тексту, в якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці. На всі таблиці повинні бути посилання в тексті. Слово “Таблиця” розміщується зліва над таблицею, наприклад, “Таблиця 2.1. Результати експерименту” (перша таблиця другого розділу).

Формули та рівняння наводять безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині рядка, з полями знизу та зверху в один рядок. Номер формули або рівняння складається з номера розділу і порядкового номера, розділених крапкою, наприклад, (2.4) – четверта формула другого розділу. Номер проставляється в круглих дужках на рівні формули в крайньому правому положенні на рядку. Пояснення символів та числових коефіцієнтів формул слід наводити безпосередньо під формулою, в тій самій послідовності, в якій вони надані в формулі. Перший рядок починають зі слова “де” без двокрапки.

Додатки потрібно розміщувати у порядку посилань на них у тексті. Кожний додаток повинен починатися з нової сторінки. Додатки позначають посередині рядка великими літерами /А, Б, В.../. Наприклад, “Додаток А”.

Далі, симетрично до тексту, друкується заголовок додатка. Додатки повинні мати спільну з рештою частиною роботи наскрізну нумерацію сторінок.

Приклади представлення таблиць, рисунків та формул

Таблиця 7.1 –Результати експериментів

№	Глибина різання, мм	Амплітуда коливань, мм		
		Z=8	Z=12	Z=16
1	1	0,006	0,004	0,003
2	1,5	0,007	0,006	0,005
3	2	0,009	0,008	0,054
4	2,5	0,011	0,083	0,091
5	3	0,014	0,115	0,144
6	3,5	0,02	0,148	0,23
7	4	0,121	0,193	р.п.с.
8	4,5	0,16	0,229	
9	5	0,195	р.п.с.	
10	5,5	0,224		
11	6	0,268		
12	6,5	р.п.с.		

Рисунок 1.1 – Приклад представлення таблиць

В напрямку вісі Z складова $F_{Z\Sigma}$, що визначається за формулою (6.2), діє на заготовку масою m , тоді як сила $(F_Z)_p$, що діє на опору в цьому напрямку, є реакцією зв'язку заготовки з опорою і може бути визначена з рівняння руху:

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + \lambda \frac{dz}{dt} + C_k z = F_{Z\Sigma}, \quad (6.8)$$

тоді

$$-\lambda \frac{dz}{dt} - C_k z = (F_Z)_p. \quad (6.9)$$

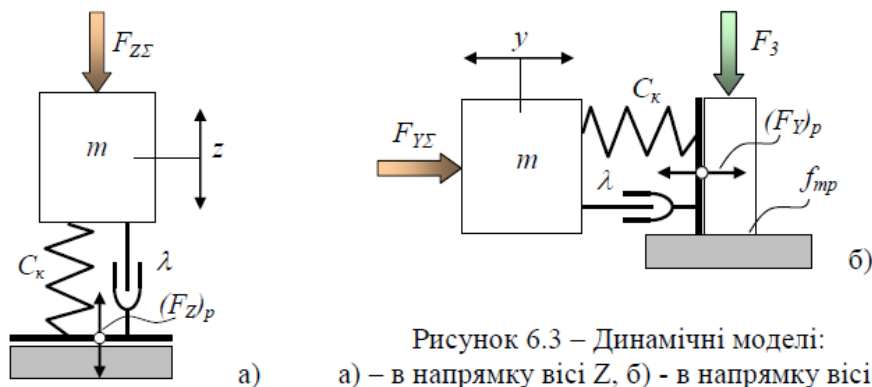


Рисунок 6.3 – Динамічні моделі:

а) – в напрямку вісі Z, б) - в напрямку вісі Y

Рисунок 1.2 – Приклад представлення формул та рисунків

1.5. Завдання

Завдання видається керівником дипломного проекту кожному студенту і затверджується відповідним наказом. Завдання має передбачати проектування технологічного процесу виготовлення деталі з зазначенням конкретної частини поглибленої розробки. Вихідні дані до проекту мають містити кресленик деталі, програму випуску та визначення поглибленої (індивідуальної) розробки за певним етапом технологічного процесу. Можливі теми для поглибленої розробки зазначені в розділі 4, вони мають відповідати основному завданню і тому обираються за розробленим технологічним процесом з узгодженням зі студентом. Зрозуміло, що перелік таких завдань не обмежується представленими в розділі 4. Головне – вони мають розкривати наукову складову проекту, базуватися на компетенціях бакалавра, здобутих за всім навчальним планом підготовки. Керівник разом зі студентом мають обирати таке завдання з орієнтацією на розділ 4.

Бажаємо визначати та сформулювати тему для ДП з орієнтацією на подальший її розвиток при виконанні магістерської дисертації на наступному етапі навчання студента в магістратурі. В такому сенсі тема має бути актуальною як для промисловості, так і для науки «Технологія машинобудування».

Приклад теми дипломного проекту: «Технологічний процес виготовлення деталі «Важіль» з контролем розмірів на верстаті з ЧПК».

1.6. Захист дипломного проекту

Дипломний проект розглядається на попередньому захисті комісії кафедри, яка приймає рішення про її винесення на Екзаменаційну Комісію (ЕК). Попередньо дипломний проект має пройти перевірку на плагіат з отриманням відповідної довідки.

На ЕК подаються:

- а) оформлений та завізований завідувачем кафедри примірник роботи;
- б) звіт подібності (довідка про оригінальність роботи);
- в) письмовий відгук наукового керівника з аналізом роботи та характеристикою виконавця роботи;

г) письмова рецензія фахівця, що працює в іншому науковому підрозділі (інша кафедра чи інший заклад), ніж той, де робота виконана, із зазначеною оцінкою роботи;

д) документи, що підтверджують апробацію або впровадження (при наявності).

Захист роботи відбувається в термін, встановлений графіком навчального плану. Захист починається з представлення секретарем студента членам ЕК. Для викладення основних положень студенту дається максимум 10 хвилин. Після цього він відповідає на запитання членів ЕК. Потім секретар зачитує відгук керівника.

Після захисту на засіданні ЕК обговорюються результати захисту по кожному студенту, приймається рішення про присвоєння освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра за спеціальністю 131 Прикладна механіка, освітня програма «Технології машинобудування» з відповідною оцінкою.

2. ЕТАПИ РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Під технологічним процесом механічного оброблення розуміють послідовну зміну форми, розмірів, властивостей заготовки з метою отримання деталі відповідно до заданих технічних вимог.

Будь-який технологічний процес складається з певних етапів, що виконуються послідовно. Технологічний процес механічного оброблення деталей має проектуватись і виконуватись таким чином, щоб за допомогою найбільш раціональних і економічних способів оброблення задовольнялися вимоги до деталей (точність оброблення і шорсткість поверхонь, взаємне розташування осей і поверхонь, правильності контурів тощо) [3].

Вихідними даними до розробки технологічного процесу є кресленик деталі, до якого можуть додаватись ті загальні види вузлів і машин, де використовується деталь, обсяг річної програми випуску (величина замовлення) та вимоги, яким деталь повинна задовольняти. Також можуть використовуватись додаткові дані щодо виробничих можливостей підприємства, на базі якого проектується технологічний процес, тобто основні відомості про наявність на заводі нормалізованого та спеціалізованого оснащення, обладнання, енергетичні потужності, також, за наявності, можуть використовуватись дані, що характеризують заготовку, її розміри та об'єкт виробництва.

Розробку технологічних процесів починають з вивчення вимог креслень, схем, технічних умов, стандартів, плану випуску продукції, відомостей та паспортів обладнання, каталогів на інструменти, сертифікатів на матеріали, інструкцій на випробування та приймання й інших вихідних матеріалів. Етапи розроблення технологічного процесу можна представити у вигляді алгоритму, що показує послідовність дій технолога з виготовлення деталі (рис. 2.1).

2.1. Аналіз кресленника деталі та вихідних даних

На першому етапі розроблення технологічного процесу студент повинен перевірити кресленик на наявність всіх необхідних даних для визначення конструкції й форми: проєкцій, розрізів та перерізів. Також потрібно перевірити дотримування правильних геометричних форм з необхідними розмірами і допусками на точність, шорсткість поверхонь, визначень взаємного положення елементів та інших технічних вимог, що висуваються до деталей (термічне оброблення, покриття поверхонь, твердість, балансування тощо).

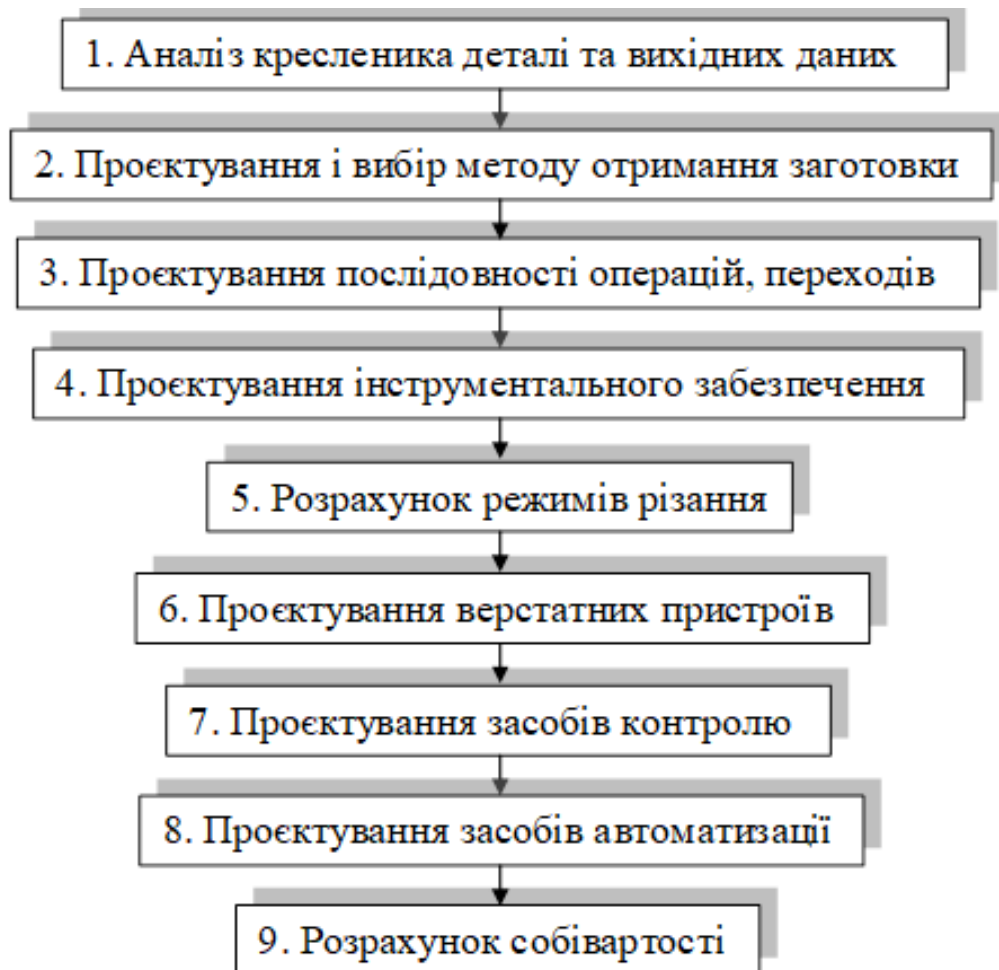


Рисунок 2.1 – Алгоритм проєктування технологічного процесу

При вивченні робочого кресленника деталі, з метою можливого поліпшення технологічності конструкції, з'ясовують, якій складальній

одиниці чи машині вона належить, встановлюють передбачувані умови її експлуатації (середа, навантаження і т. і.).

Основні вимоги до технологічності деталі наступні:

- конструкція деталі має переважно складатися зі стандартних і уніфікованих конструктивних елементів;
- розміри і поверхні деталі повинні мати раціональні точність і шорсткість;
- показники базової поверхні (точність, шорсткість) деталі мають забезпечувати точність установки при обробленні і контролю;
- сполучення поверхонь деталей різних класів точності і шорсткості повинні відповідати раціональним способам і засобам оброблення.

Коли при аналізі з'являється «нетехнологічна» деталь, то це свідчить або про елементарні помилки конструктора, який не урахував задачі стандартних технологій виготовлення, або про «конфлікт інтересів» з технологом. Така ситуація має призводити до виправлення помилок, або, при необхідності, імперативності конструкторських вимог. Тобто, як завжди, рушійною силою є «боротьба протилежностей».

2.2. Вибір способу отримання заготовки

Правильно вибрати спосіб отримання заготовки означає призначити найкращий процес її виготовлення з урахуванням матеріалу деталі, її конфігурації, розмірів та маси, точності та якості поверхонь, серійності випуску та умов експлуатації [4].

Заготовки мають відповідати наступним вимогам:

- форма та розміри заготовки повинні максимально наближуватись до форми та розмірів готової деталі або відповідати їм;
- мати низьку вартість виготовлення як самої заготовки, так і деталі;
- забезпечувати можливість досягнення високої точності розмірів, заданої шорсткості поверхонь та якості матеріалу деталі;
- форма заготовки повинна бути, по можливості, простою і технологічною у виготовленні, забезпечувати високий вихід придатної продукції;

- сприяти застосуванню механізації та автоматизації;
- забезпечувати підвищення продуктивності праці та використання повної потужності обладнання.

На вибір способу отримання заготовки в першу чергу впливає річна програма випуску виробів (величина замовлення). Розрізняють три типи виробництва: одиничне, серійне та масове. Серійне виробництво, в свою чергу, розділяється на малосерійне, середньосерійне та великосерійне. В будь-якому випадку собівартість виготовлення деталі, яка складається з вартості матеріалу, вартості отримання заготовки і вартості механічного оброблення, повинна бути мінімальною.

За технологічним принципом заготовки поділяють на такі види:

- виливки — це заготовки, які отримують шляхом заповнення порожнини форми рідким металом, що твердіє у цій формі;
- поковки — це заготовки, які одержують методом пластичної деформації металу при куванні або штампуванні;
- зливки, прокат — це заготовки, які отримують методом лиття рідкого металу у виливниці, а також шляхом оброблення тиском зливків на прокатних та інших станах;
- пресовані заготовки — це заготовки, які отримують з металевих порошків методами порошкової металургії;
- пластмасові заготовки — це заготовки, які отримують литтям або пресуванням неметалевих матеріалів на основі полімерних смол;
- збірні заготовки — це комбіновані заготовки з металевих і неметалевих матеріалів, що одержують зварюванням, паянням, склеюванням тощо.

На вибір технологічного процесу виготовлення заготовок впливають наступні фактори:

- конфігурація та розміри деталі;
- технологічні властивості матеріалу деталі, тобто його здатність оброблюватись литтям, тиском, зварюванням;
- річна програма випуску або тип виробництва — чим більша програма, тим досконаліший технологічний процес можна застосувати, тому що висока вартість обладнання та оснащення буде рознесена на велику кількість заготовок;

- необхідна точність виготовлення заготовки та якість поверхні (шорсткість, наклеп тощо);
- маса деталі (литі деталі масою до 500 кг, як правило, можна виготовляти спеціальними способами лиття, ковані заготовки масою до 400 кг – в штампах);
- виробничі властивості заготівельних цехів, тобто наявність відповідного обладнання, його завантаження, можливість швидкого переналагодження обладнання та оснащення тощо;
- час, що витрачається на підготовку виробництва (проектування та виготовлення моделей, прес-форм, штампів).

2.2.1. Литі заготовки

Процес проектування литих заготовок складається з наступних етапів:

- визначають групу складності виливка, групу серійності та тип виробництва (при цьому масу виливка приймають на 20-30% більшою від маси деталі);
- призначають та обґрунтовують спосіб лиття (у піщано-глинисті форми за дерев'яними моделями з ручним формуванням; у піщано-глинисті форми за металевими моделями з машинним формуванням; у кокілі; в оболонкові форми; під тиском; за моделями, які виплавляються; відцентрове лиття; електрошлакове лиття тощо);
- з урахуванням вимог до технології виготовлення виливків та технологічних баз призначають площину (площини) рознімання форми;
- визначають конфігурацію виливка, описують – які отвори, пази, заглибини і т.п. одержують литтям, а які – обробленням різанням;
- визначають положення форм при заливанні розплаву, кількість внутрішніх та зовнішніх стрижнів, їх конфігурацію та тип ливникової системи (верхня, нижня, бокова, ярусна; вона розширюється чи звужується);
- визначають клас розмірної точності виливка, ступінь жолоблення, ступінь точності поверхонь, клас точності виливка за масою, ряд

припусків, допустиму величину зміщення, позначають точність виливка;

- призначають орієнтовно кількість переходів (операцій), необхідних для забезпечення заданої точності та шорсткості оброблюваних поверхонь деталі, визначають допуски на розміри та припуски на оброблення поверхонь різанням;
- призначають величину формувальних уклонів, радіусів заокруглень та переходів, технологічні напуски тощо;
- розроблюють кресленик виливка та технічні вимоги до його виготовлення;
- вибирають ливарне обладнання, призначають температуру заливання розплаву, спосіб охолодження форм та режим термічного оброблення виливків;
- визначають вартість виливка.

2.2.2. Штамповані заготовки

Процес проєктування штампованих заготовок складається з наступних етапів:

- призначають і обґрунтовують спосіб виготовлення штампованої заготовки (штампування, кування), вибирають інструмент (плоскі бойки, підкладні штампи, облойний (відкритий) або безоблойний (закритий) штамп, штамп для видавлювання тощо);
- при застосовуванні штампа призначають поверхню його рознімання з урахуванням вимог до технології штампування, технологічних баз та застосовуваного обладнання;
- визначають конфігурацію штампованої заготовки, описують та вказують на кресленику – які отвори, заглибини, пази і т.п. отримують у поковці, а які – обробленням різанням;
- визначають клас точності штампованої заготовки, ступінь її складності, групу сталі, конфігурацію поверхні рознімання штампа;

- призначають для оброблюваних поверхонь основні та додаткові припуски, сумарний припуск на оброблення різанням, призначають допуски на розміри штампованої заготовки;
- призначають величину штампувальних нахилів, радіусів заокруглень та ковальські напуски;
- розроблюють кресленик штампованої заготовки та технічні вимоги до її виготовлення.

Кресленик заготовки має бути представлений в графічній частині ДП. Робочий кресленик заготовки повинен бути виконаний в масштабі 1:1. В залежності від розмірів деталі і заготовки бажано їх представити на одному або двох аркушах формату А1. Рекомендується також представлення 3D-зображення заготовки.

2.3. Проєктування послідовності операцій, переходів

2.3.1. Вплив типу виробництва на структуру технологічного процесу

В залежності від річного обсягу випуску виробів (величини замовлення) і визначеного типу виробництва розв'язок технологічних завдань здійснюється по-різному.

Для малосерійного виробництва розробляється одиничний технологічний процес, який має бути орієнтований на застосування верстатів з ЧПК, що дає можливість скорочувати час на підготовку виробництва, ефективно застосовувати універсальне обладнання і універсально-налагоджувальні пристрої.

Для серійного виробництва слід прагнути проєктувати технологічний процес, орієнтуючись на використання змінно-потоккових ліній, коли послідовно виготовляються партії деталей одних найменувань або розмірів, або групових потоккових ліній, коли паралельно виготовляються партії деталей різних найменувань. Тут також треба орієнтуватись на використання верстатів з ЧПК, роботів-маніпуляторів тощо.

Для масового виробництва необхідно передбачати можливість організації безперервної потокової лінії з використанням спеціальних і агрегатних

верстатів, спеціального переналагоджуваного технологічного оснащення і максимальної механізації та автоматизації виробничих процесів. Всі спеціальні та агрегатні верстати мають бути оснащені ЧПК і керуватись загальною системою управління виробництвом.

По ступеню деталізації інформації кожний із зазначених видів технологічних процесів передбачає різний виклад змісту операції й комплектність документації.

У маршрутному технологічному процесі зміст операцій викладається в маршрутній карті без технологічних переходів (допускається включати режими оброблення, тобто рядок зі службовим символом – Р). Така форма представлення інформації застосовується в одиничному і малосерійному типах виробництва.

В операційному технологічному процесі маршрутна карта містить найменування всіх операцій в технологічній послідовності, включаючи контроль і переміщення, а також перелік документів, застосовуваних при виконанні операції, технологічне обладнання і працевитрати. Зміст операції викладається в операційних картах. Така форма представлення інформації застосовується в великосерійному і масовому типах виробництв.

У маршрутно-операційному технологічному процесі передбачається короткий опис змісту окремих операцій у маршрутній карті, а інші операції оформлюються на операційних картах.

2.3.2. Технологічні послідовності оброблення поверхонь деталі

Конструкцію деталі можна розділити на сукупність типових геометричних фігур, які об'єднані загальним службовим призначенням деталі. Типовими елементами конструкції є: циліндричні, або конічні, зовнішні та внутрішні поверхні, сукупність площин, фасонні поверхні – гвинтові, евольвенті та інші.

Відповідно до цього, практикою машинобудівного виробництва накопичено виробничий досвід технологічних послідовностей економічного оброблення типових поверхонь для забезпечення заданої точності розмірів та параметрів шорсткості робочих поверхонь. Практично всі технологічні

довідники приводять такі послідовності. Типові технологічні послідовності оброблення поверхонь є рекомендаціями, які необхідно додатково аналізувати та уточнювати при технологічному проєктуванні.

Типові послідовності оброблення, економічна точність та шорсткість поверхонь, які при цьому можуть бути забезпечені, наведені в наступних таблицях.

Таблиця 2.1 – Типові технологічні послідовності оброблення зовнішніх циліндричних поверхонь та характеристики якості, що при цьому забезпечуються

Типова технологічна послідовність оброблення	Точність розмірів (квалітет)	Параметр шорсткості, мкм
Обточування одноразове	12	Ra=10...5
Обточування попереднє Обточування завершальне	11 – 10	Ra=5...2,5
Обточування одноразове Шліфування одноразове	10 – 9	Ra=2,5...0,63
Обточування попереднє Обточування завершальне Шліфування одноразове	9 – 7	Ra=1,25...0,63
Обточування попереднє (чистове) Обточування завершальне (напівчистове) Обточування викінчувальне	8 – 7	Ra=1,25...0,8
Обточування одноразове Шліфування попереднє Шліфування завершальне	8 – 6	Ra=0,63...0,32
Обточування попереднє Обточування завершальне Шліфування попереднє Шліфування завершальне	7 – 6	Ra=0,63...0,32
Обточування попереднє Обточування завершальне Шліфування попереднє Шліфування викінчувальне	6 – 5	Ra=0,63...0,16
Обточування попереднє Обточування завершальне Шліфування попереднє (чорнове) Шліфування завершальне (чистове) Шліфування викінчувальне	5	Ra=0,32...0,16

Таблиця 2.2 – Типові технологічні послідовності оброблення внутрішніх
циліндричних поверхонь та характеристики якості, що при цьому
забезпечуються

№ з/п	Типова технологічна послідовність оброблення	Точність розмірів (квалітет)	Параметр шорсткості, мкм
Оброблення поверхонь в суцільному матеріалі			
1	Свердління	12	Ra=40...20
2	Свердління Зенкерування одноразове	11	Ra=10...2,5
3	Свердління Розвертання	9	Ra=5...1,25
4	Свердління Протягування	9	Ra=2,5...0,63
5	Свердління Зенкерування одноразове Розвертання	9	Ra=2,5...0,63
6	Свердління Зенкерування одноразове Розвертання попереднє Розвертання завершальне	8 – 7	Ra=2,5...0,32
7	Свердління Розвертання попереднє Розвертання завершальне	8 – 7	Ra=2,5...0,32
8	Свердління Зенкерування одноразове Шліфування одноразове	8 – 7	Ra=1,25...0,32
9	Свердління Протягування попереднє Протягування завершальне	8 – 7	Ra=1,25...0,32
Оброблення поверхонь, що попередньо утворені в заготовці			
10	Зенкерування	12	Ra=10...5
11	Розточування одноразове	12	Ra=10...5
12	Розсвердлювання	12	Ra=40...10
13	Зенкерування попереднє Зенкерування завершальне	11	Ra=10...5
14	Розточування попереднє Розточування завершальне	11	Ra=5...2,5
15	Зенкерування одноразове Розвертання одноразове	9	Ra=5...1,25
16	Розточування одноразове Розвертання одноразове	9	Ra=5...1,25
17	Зенкерування одноразове Розточування одноразове	9	Ra=5...1,25
18	Зенкерування попереднє Зенкерування завершальне Розвертання одноразове	9	Ra=2,5...0,63

Таблиця 2.2 – Типові технологічні послідовності оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь та характеристики якості, що при цьому забезпечуються (продовження)

19	Розточування попереднє Розточування завершальне Розвертання одноразове	9	Ra=2,5...0,63
20	Зенкерування одноразове Розвертання попереднє Розвертання завершальне	9 – 8	Ra=1,25...0,32
21	Розточування попереднє Розточування завершальне Розвертання попереднє Розвертання завершальне	8 – 7	Ra=1,25...0,32
22	Розточування попереднє (чорнове) Розточування завершальне (напівчистове) Розточування викінчувальне	7 – 6	Ra=1,25...0,8
23	Розточування попереднє Розточування завершальне Шліфування попереднє Шліфування завершальне	7 – 6	Ra=0,63...0,16

При виборі технологічних послідовностей оброблення поверхонь необхідно приймати до уваги верстатне обладнання, що може забезпечити виконання такої послідовності оброблення. Перевагу необхідно віддавати таким послідовностям, що потребують мінімальної кількості різних типів верстатів для її реалізації.

Таблиця 2.3 – Типові технологічні послідовності оброблення зубів зубчастих колес та характеристики якості, що при цьому забезпечуються

Типова технологічна послідовність оброблення	Точність розмірів (квалітет)	Параметр шорсткості, мкм
Фрезерування попереднє	9 – 10	Ra=20...5
Фрезерування завершальне дисковою фрезою	8 – 9	Ra=10...5
Фрезерування завершальне черв'ячною фрезою	7 – 8	Ra=10...5
Довбання завершальне	6 – 8	Ra=5...1,5
Протягування	6 – 7	Ra=5...0,63
Стругання чистове	6 – 7	Ra=5...0,8
Шевінгування	6 – 7	Ra=2,5...0,63
Шліфування попереднє Шліфування завершальне	6 – 5	Ra=1,25...0,16

Таблиця 2.4 – Типові технологічні послідовності оброблення різбових поверхонь та характеристики якості, що при цьому забезпечуються

Типова технологічна послідовність оброблення	Поле допуску		Параметр шорсткості, мкм
	Зовнішня різьба	Внутрішня різьба	
Круглими плашками	8g	-	Ra=20...5
Мітчиками	-	6H	Ra=10...2,5
Фрезерування дисковою фрезою	6g	-	Ra=10...2,5
Фрезерування гребінчастими фрезами	6g	-	Ra=10...2,5
Фрезерування різбовими фрезами	4h	4H, 5H	Ra=5...0,8
Точіння різцем	4h	4H, 5H	Ra=5...0,8
Нарізання різьби гребінками	6g	-	Ra=10...1,25
Нарізання різцями, що обертаються	6g	6H	Ra=5...1,25
Нарізання різьби саморозкривними головками	4h	-	Ra=10...1,25
Накатування різьби плоскими плашками	6g	-	Ra=1,25...0,32
Накатування різьби різьбонакатними роликми	6g – 4g	-	Ra=1,25...0,32

Таблиця 2.5 – Типові технологічні послідовності оброблення площин та характеристики якості, що при цьому забезпечуються

Типова технологічна послідовність оброблення	Точність розмірів (квалітет)	Параметр шорсткості, мкм
Стругання:		
1.1 попереднє (чорнове)	14 – 11	Ra=40...10
1.2 одноразове (напівчистове)	12 – 11	Ra=20...5
1.3 завершальне (чистове)	10	Ra=5...2,5
1.4 викінчувальне (тонке)	9 – 7	Ra=2,5...0,8
Фрезерування циліндричними та торцевими фрезами:		
2.1 попереднє (чорнове)	14 – 11	Ra=40...10
2.2 одноразове (напівчистове)	12 – 11	Ra=20...5
2.3 завершальне (чистове)	10	Ra=5...2,5
2.4 викінчувальне (тонке)	9 – 7	Ra=2,5...0,8
Протягування:		
3.1 попереднє оброблення литих та штампованих поверхонь	11 – 10	Ra=10...2,5
3.2 завершальне (чистове)	8 – 7	Ra=2,5...0,63
Шліфування:		
4.1 попереднє (чорнове)	8 – 7	Ra=1,25...0,63
4.2 одноразове (напівчистове)	9 – 8	Ra=1,25...0,63
4.3 завершальне (чистове)	7	Ra=0,63...0,32
4.4 викінчувальне (тонке)	6	Ra=0,63...0,16

2.4. Обґрунтування вибору технологічних баз

Ефективність проектування технологічних процесів в значній мірі визначається обґрунтованим вибором технологічних баз. Загальний алгоритм вибору технологічних баз передбачає два послідовних етапи вирішення завдання.

На першому етапі обґрунтовується вибір загальних технологічних баз – ЗТБ. ЗТБ є незмінний комплект баз заготовки, застосування якого для більшості технологічних операцій дає змогу виконати оброблення більшості поверхонь деталі. Для визначення ЗТБ необхідно виконати класифікацію поверхонь деталі за службовим призначенням. Відповідно до цього поверхні будь-якої деталі можна розділити на: конструкторські основні та допоміжні бази, кріпильні та вільні поверхні. При проектуванні технологічного процесу дуже важливим є суміщення основних конструкторських баз (ОКБ) з загальними технологічними базами. Тому на першому етапі вибору технологічних баз необхідно перевіряти можливість такого суміщення, а саме ОКБ та ЗТБ. Аналіз типових технологічних процесів, що застосовується в виробничих умовах для оброблення деталей різних класів, показав, що безпосереднє суміщення ОКБ та ЗТБ можливе тільки для класу корпусних деталей.

Основними конструкторськими базами деталей класу валів та осей є поверхні, на яких встановлюються підшипники. Використати ці робочі поверхні для базування в процесі оброблення неможливо, що обумовлює необхідність створення додаткових технологічних баз. Такими базами для валів є центрові отвори, що виготовляються в торцевих поверхнях валу. Відповідно до цього ЗТБ валу є центрові отвори, що забезпечують можливість без їх зміни обробити всі поверхні.

У відповідності до класифікації баз за ступенями вільності, що втрачає заготовка при базуванні, комплект ЗТБ вала буде мати подвійну напрямну базу (4 ступені вільності) та опорну базу (1 ступінь вільності).

Після оброблення комплекту ЗТБ весь подальший технологічний процес проводиться при незмінних базах, що спрощує верстатні пристрої, які необхідні для оброблення.

Для деталей класу втулок та дисків характерним є неможливість спроектувати технологічний процес з незмінним комплектом ЗТБ. Конструктивними особливостями цих класів деталей є достатньо високі вимоги до просторового положення поверхонь основних (ОКБ) та допоміжних (ДКБ) конструкторських баз, в першу чергу встановлюються допуски співвісності названих поверхонь. Тому процес виготовлення деталі передбачає послідовне застосування як комплекту ЗТБ поверхонь основних та допоміжних КБ. В технологічному процесі застосовується принцип взаємозамінності технологічних баз, що забезпечує досягнення вимог креслення деталі.

Для технологічних операцій, що призначені для оброблення внутрішніх поверхонь, ЗТБ будуть співпадати з ОКБ, а для зовнішніх ЗТБ буде включати поверхні ДКБ. За такими принципами проєктуються технологічні процеси виготовлення зубчастих коліс та шківів.

На другому етапі, після обґрунтування ЗТБ, вирішується завдання вибору технологічних баз (ТБ) для оброблення ЗТБ. А оскільки ЗТБ необхідно обробити на самому початку технологічного процесу, це завдання формулюється як вибір ТБ для перших операцій. При цьому необхідно керуватися такими важливими закономірностями проєктування технологічних процесів:

- ТБ повинна забезпечувати оброблення всього комплекту баз ЗТБ за одну технологічну операцію, що забезпечить необхідне просторове положення всіх поверхонь ЗТБ;
- до комплекту ТБ для першої операції доцільно включити поверхні заготовки, які за технологічним процесом не обробляються, що забезпечить правильне просторове положення необроблених поверхонь відносно оброблених;
- повторне включення всіх необроблених поверхонь до комплекту ТБ для наступних операцій технологічного процесу не допускається;
- якщо комплект ЗТБ не може бути оброблений за одну операцію, то для її реалізації необхідно обов'язково обробити установчу базу, яку необхідно включити в комплект ЗТБ для наступних операцій;

- якщо всі поверхні заготовки повинні оброблятися, то в комплект ТБ для першої операції необхідно включити поверхні з мінімальними припусками, або поверхні заготовки, на яких не допускається брак;
- якщо є декілька комплектів ТБ для першої операції, то за бази необхідно прийняти поверхні, які зв'язані з поверхнями, що оброблюються найкоротшими розмірними ланцюгами;
- на поверхнях заготовки, що входять в комплект ТБ, не повинно бути лінії рознімання опоки, або штампу, залишків ливникової системи, додатку та, по можливості, доцільно їх формувати в одній частині штампу або опоки.

Поверхні, що є ТБ для першої операції, повинні забезпечувати просту установку заготовки та, по можливості, просту конструкцію пристрою.

Після обґрунтування вибору ТБ для першої операції необхідно навести ескіз базування заготовки та теоретичну схему базування. Вибір можливої схеми базування для першої операції буде залежати від верстатного обладнання, на якому буде вестися оброблення, та верстатного пристрою, що застосовується для установки заготовки. Обґрунтування вибору ТБ забезпечує проектування структури технологічного процесу та змісту технологічних операцій.

Таким чином, можна рекомендувати наступні узагальнені рекомендації та правила при визначенні технологічних баз:

- за технологічні бази необхідно приймати поверхні, що мають достатню жорсткість;
- за чорнові бази не можна приймати поверхні, що характеризуються великими штампувальними або ливарними ухилами;
- чорнова база використовується один раз і тільки на першій операції;
- за чистові бази необхідно приймати поверхні, оброблювані з максимальною точністю;
- за чистові бази доцільно вибирати основні установчі бази, а не допоміжні, причому прагнути до співпадіння технологічної та конструкторської баз;

- необхідно дотримуватись принципу послідовності зміни баз, тобто вибір поверхонь технологічних баз виконувати від менш точних до більш точних;
- необхідно дотримуватись принципу єдності баз, тобто, якщо можливо, обробляти заготовку з однієї установки, а за технологічні бази приймати одні і ті ж поверхні.

2.5. Проектування змісту технологічних операцій

Традиційно технологічний процес виготовлення деталі можна розділити на 4 етапи: чорнове оброблення, напівчистове, чистове та завершальне. Обґрунтованість такого поділу визначається тим, що кожен етап забезпечує вирішення певних технологічних завдань і їх необхідно приймати до уваги при проектуванні змісту технологічних операцій, вибору конструкцій різальних інструментів та режиму різання.

На етапі чорнового оброблення необхідно вирішити наступні завдання:

- обробити комплект ЗТБ;
- видалити максимально допустиму частину припуску на всіх поверхнях, що оброблюються;
- уточнити просторове положення необроблених поверхонь заготовки відносно оброблюваних;
- створити рівномірний припуск для наступних етапів оброблення;
- перевірити придатність заготовки для подальшого оброблення по відсутності браку на робочих поверхнях.

Оскільки на етапі чорнового оброблення практично не вирішуються завдання досягнення якісних характеристик поверхні, то основним критерієм вибору режимів різання є забезпечення максимальної продуктивності кожного технологічного переходу.

На етапі напівчистового оброблення:

- створюють такі умови оброблення, які забезпечують усталене формування характеристик якості робочих поверхонь заготовки та

призначити відповідні режими різання, що будуть обмежуватись технологічними факторами;

- забезпечити подальше уточнення просторового положення оброблюваних поверхонь відповідно заданих базових;
- не передбачати оброблення поверхонь, характеристики якості яких є достатніми за вимогами кресленника після чорнового оброблення.

На етапі чистового оброблення:

- забезпечити подальше підвищення характеристик поверхонь, що є недостатніми після попередніх етапів оброблення;
- забезпечити подальше уточнення просторового положення взаємопов'язаних поверхонь.

На етапі завершального оброблення передбачається остаточне оброблення поверхонь, якщо на попередніх етапах характеристики якості поверхонь є недостатніми і не відповідають вимогам кресленника деталі. Характерною ознакою переходу до кожного наступного етапу є зростання вимог до характеристик якості поверхонь, що обробляються, та зменшення кількості оброблюваних поверхонь.

Узагальнені закономірності проєктування змісту технологічних операцій передбачають:

- в першу чергу необхідно обробляти поверхні, які є технологічними базами для наступного оброблення;
- кожне наступне оброблення поверхні повинно підвищувати її характеристики якості;
- етап чорнового оброблення доцільно виділити в технологічному процесі і не суміщати з наступними;
- для своєчасного визначення браку на поверхнях, де це не допускається, їх оброблення необхідно планувати на початку технологічного процесу;

- на етапі чорнового оброблення в першу чергу необхідно обробляти поверхні, видалення припуску з яких найменше впливає на зниження жорсткості заготовки;
- після етапу чорнового оброблення доцільно передбачати часовий проміжок до наступних, що дає можливість створити умови природного старіння і відповідно підвищити якість виробу;
- оброблення ступінчастих валів необхідно виконувати в такій послідовності, що забезпечує мінімальну довжину робочих ходів інструмента;
- переходи в операції необхідно проєктувати в такій послідовності, яка забезпечує мінімальну довжину робочих ходів інструмента, що має найменшу стійкість;
- оброблення поверхонь з точним взаємним просторовим положенням доцільно виконувати за одну операцію при незмінній установці заготовки;
- оброблення складних поверхонь, що потребують особливого налагодження верстата, доцільно виділити в окрему операцію;
- завершальне оброблення відповідальних поверхонь деталі необхідно здійснювати на завершальному етапі останніми технологічними переходами;
- не передбачати об'єднання в одній наладці різних осьових інструментів – свердл, зенкерів та розверток, оскільки сприятливі умови оброблення суттєво відрізняються режимами різання;
- при обробленні на багатоцільових верстатах кількість необхідних інструментів не повинна перевищувати ємність магазину;
- технологічні канавки та фаски необхідно обробляти перед завершальним обробленням поверхні;
- якщо поверхня обробляється способами поверхневого пластичного деформування (ППД), то канавки та фаски потрібно обробляти після ППД;
- якщо технологічний процес реалізується на автоматичній лінії, то тривалість оброблення на позиціях повинна бути близькою або кратною;

- операції технічного контролю необхідно передбачати після тих технологічних операцій, де є збільшена ймовірність виникнення браку, а також після завершення оброблення та перед складальними операціями.

2.6. Проектування інструментального забезпечення

В ході виконання ДП необхідно обґрунтувати вибір інструмента та інструментальних пристроїв для його установки. Для вирішення завдання необхідно:

- визначити, які технологічні завдання будуть вирішуватись при застосуванні інструмента – етап оброблення, характеристики якості поверхні, які при цьому забезпечуються та інше;
- підібрати стандартні конструкції інструментальних пристроїв, які можуть бути застосовані для установки інструмента на конкретному верстаті;
- визначити теоретичну схему базування інструмента в пристрої та установки самого пристрою в шпинделі верстата;
- визначити конструктивні елементи пристрою, які застосовуються для його базування та закріплення в шпинделі верстата, передачі крутного моменту від шпинделя та регулювання положення інструмента.

2.6.1. Інструментальні матеріали для лезового оброблення

Інструментальні матеріали поділяють на п'ять основних груп: інструментальні сталі (вуглецеві, леговані і швидкорізальні); тверді сплави (групи ВК, ТК і ТТК); різальна кераміка (оксидна, оксикарбідна і нітридна); абразивні матеріали і надтверді матеріали на основі алмаза і кубічного нітриду бору [5].

Металообробний інструмент працює в умовах підвищених температур, тертя і зношування, а також значних силових навантажень. Тому інструментальні матеріали повинні відповідати певним експлуатаційним фізико-механічним характеристикам:

1. Висока твердість. Твердість інструментального матеріалу повинна бути вищою від твердості оброблюваного матеріалу не менше ніж в 1,5 – 2 рази.

2. Інструментальний матеріал повинен зберігати твердість при високих температурах різання, тобто мати високу теплостійкість зі збереженням твердості. Збільшення рівня теплостійкості інструментального матеріалу дозволяє йому працювати з великими швидкостями різання і, отже, забезпечувати ефективність оброблення (табл. 2.6) [5].

3. Важливою вимогою є висока міцність інструментального матеріалу. Якщо висока твердість матеріалу різальної частини інструмента не забезпечується необхідною міцністю, то це призводить до його руйнування і викришування різальних кромek. Таким чином, інструментальний матеріал повинен мати достатній рівень ударної в'язкості і чинити опір появі тріщин.

4. Інструментальний матеріал повинен мати високу зносостійкість при підвищеній температурі, тобто мати хороший опір стиранню оброблюваним матеріалом, що дозволяє довше забезпечувати первинне налагодження інструмента на розмір.

5. Інструментальний матеріал повинен відповідати основним технологічним властивостям, що забезпечують оптимальні умови його виготовлення. Серед них можна виділити наступні: хороша оброблюваність різанням і тиском; придатність до термічного оброблення (мала чутливість до перегріву і знеуглецьовування, хороші загартовуваність і прогартовуваність, мінімальні деформування і утворення тріщин при гартуванні тощо).

Таблиця 2.6 – Теплостійкість і допустима швидкість різання інструментальних матеріалів

Матеріал		Теплостійкість, °C	Допустима швидкість при різанні сталі 45, м/хв
Вуглецева сталь		200 – 250	10 – 15
Легована сталь		350 – 400	15 – 30
Швидкорізальна сталь		550 – 600	40 – 60
Тверді сплави	Група ВК	900 – 930	120 – 200
	Групи ТК і ТТК	1000 – 1030	150 – 250
	Безвольфрамкові	800 – 830	100 – 300
	З покриттям	1000 – 1100	200 – 300
Кераміка		1200 – 1230	400 – 600

Рекомендується застосовувати сучасний збірний інструмент провідних фірм (рис. 2.2-2.6) [16].



Рисунок 2.2 – Токарне оброблення циліндричних поверхонь

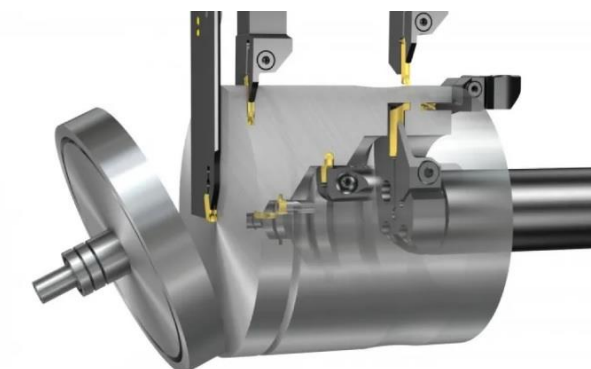


Рисунок 2.3 – Відрізання і оброблення канавок

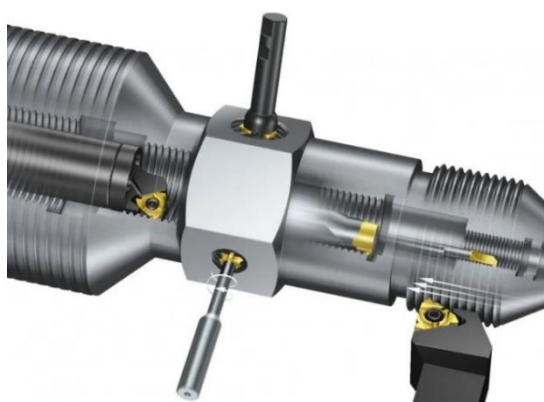


Рисунок 2.4 – Нарізання різьби



Рисунок 2.5 – Кінцева фреза



Рисунок 2.6 – Торцева фреза

2.6.2. Інструментальні матеріали для алмазно-абразивного оброблення

Поряд із загальними явищами, властивими і іншим видам оброблення металів різанням, процес шліфування має свої особливості:

- різальна кромка шліфувального круга не суцільна, а переривчаста, тому що зерна знаходяться один від одного на деякій відстані;
- зерна шліфувального круга неправильної, заокругленої в вершинах геометричної форми, довільно розташовані в шліфувальному крузі, що є причиною негативного і непостійного значення переднього кута різання;

- внаслідок пірамідальної та заокругленої форми різальної частини зерна виникає складна залежність між глибиною і шириною западини, утвореною на обробленій поверхні кожним зерном-різцем;
- в процесі роботи шліфувальний круг може самозагострюватись, тобто під дією підвищеного навантаження на затуплене зерно воно може розколюватись або, що буває найчастіше, викришуватись зі зв'язки, оголивши нові гострі зерна, які і будуть продовжувати різання.

Ці особливості роблять процес різання при шліфуванні складнішим, ніж при інших видах оброблення, і створюють великі труднощі як при теоретичному, так і експериментальному його дослідженні.

Абразивні матеріали, що застосовуються у вигляді різальних зерен, діляться на дві групи: природні і штучні. До природних абразивних матеріалів відносяться мінерали – алмаз, корунд і наждак. Основною складовою частиною корунду і наждаку є окис алюмінію (глинозем); вони містять також сторонні домішки, що знижують їх якість, а тому в сучасному машинобудуванні майже не застосовуються. До штучних абразивних матеріалів відносяться електрокорунд, карбід кремнію, карбід бору, синтетичний алмаз, ельбор.

Електрокорунд (штучний корунд) є кристалічним окисом алюмінію Al_2O_3 , одержуваний шляхом електроплавки бокситів, які складаються в основному з окису алюмінію і деяких домішок. Електрокорунд має високу твердість (поступаючись карбиду кремнію, карбиду бору, алмазу і Ельбору), значною в'язкістю, витримує високу температуру (до $2050^{\circ}C$), при його дробленні утворюються гострі різальні кромки. Залежно від вмісту окису алюмінію, домішок і присадок, а також від технології виготовлення, електрокорунд ділиться на 4 види:

- нормальний електрокорунд (Е)
- білий електрокорунд (ЕБ)
- монокорунд (М)
- легований електрокорунд (хромовий – ЕХ і титанистий – ЕТ).

Карбід кремнію (карборунд) є хімічною сполукою кремнію і вуглецю (SiC). Карбід кремнію виготовляється двох видів: чорний КЧ і зелений КЗ. Причому зелений карбід кремнію використовують в основному при заточенні

інструмента, оснащеного твердим сплавом. Карбід кремнію застосовують також і для безалмазної правки шліфувальних кругів після їх затуплення в процесі шліфування.

Карбід бору (B_4C) є хімічною сполукою бору з вуглецем. Він має велику твердість, що наближається до самого твердого матеріалу – алмазу, але крихкий. Карбід бору застосовують для доводки деталей з твердих сплавів і при притиральних роботах, які вимагають використання різального інструмента високої твердості.

Розмір зерен абразивних матеріалів коливається від 3,5 до 2500 мкм. Залежно від розміру зерен встановлюються наступні їх номери (зернистість): 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16, 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3, М63, М50, М40, М28, М20, М14, М10, М7 і М5. Найбільший розмір зерна має номер 200, найменший – М5.

Для з'єднання зерен в одне ціле застосовують спеціальні речовини, так звані зв'язки. Зв'язки діляться на органічні і неорганічні. До органічних зв'язок відносяться вулканітові (В), бакелітові (Б) і гліфталеві (ГФ). Вулканітова зв'язка складається з каучуку (гуми) і сірки (30%). Абразивний інструмент, виготовлений на вулканітовій зв'язці, має високу міцність, еластичність і не боїться вологи. Бакелітова зв'язка складається з бакеліта – штучної смоли, виготовленої з карболової кислоти і формаліну. Гліфталева зв'язка (синтетична смола з гліцерину і фталевого ангідриду) застосовується для виготовлення абразивного інструмента, який необхідний для доводочних і полірувальних робіт. До неорганічних зв'язок відносяться керамічна (К), магнезіальна (М) і силікатна (С).

Під твердістю абразивного інструмента мається на увазі здатність зв'язки утримувати зерно в інструменті при впливі на нього зовнішніх сил. Твердість характеризується за шкалою твердості абразивного інструмента: М1-М3 – м'який; СМ1 і СМ2 – середньо м'який; С1 і С2 – середній; СТ1-СТ3 – середньотвердий; Т1 і Т2 – твердий; ВТ – вельми твердий; ЧТ – надзвичайно твердий.

Приклад маркування абразивного інструмента приведений на рис. 2.7.



Рисунок 2.7 – Приклад маркування шліфувального інструмента

2.7. Розрахунок режиму різання

Визначення режиму оброблення різанням є найважливішою техніко-економічною задачею при проєктуванні технологічного процесу. В дипломному проєкті виконується розрахунок оптимального режиму різання для однієї операції [6,7], а для всіх інших операцій – за наближеними розрахунками з використанням даних довідників або фірм-виробників інструмента [16].

Режим різання для будь-яких видів оброблення завжди визначається трьома параметрами: швидкістю різання V , глибиною H і подачею F . Для оцінки режиму різання застосовується показник інтенсивності – швидкість видалення припуску (MRR – Material Removal Rate). За таким показником оцінюють процес чорнового оброблення, а для чистового оброблення використовують показник швидкості оброблення площі.

Для розрахунку режиму різання необхідні наступні вихідні дані, що обираються із креслеників заготовки та деталі, а також із урахуванням особливостей оброблення на даному обладнанні:

1) марка оброблюваного матеріалу і його характеристики міцності: для сталей – границя міцності R_m або твердість HB (HRC), для чавунів – твердість HB; спосіб отримання заготовки (штампування, кування, лиття, прокат); стан поверхні заготовки (ливарна кірка, окалина після гарячого прокатування, штампування тощо);

2) розміри заготовки та обробленої деталі;

3) необхідна точність (квалітет) і шорсткість обробленої поверхні, властивості поверхневого шару;

4) спосіб закріплення заготовки: в патроні, в центрах, в патроні із притисканням вільного торця центром задньої бабки (для верстатів токарної групи); на столі або у пристрої (для свердлильних і фрезерних верстатів). Наприклад, при обточуванні жорстких заготовок (тобто при відношенні довжини заготовки до її діаметра $L / d < 6$) закріплення здійснюється в патроні; при обробленні недостатньо жорстких заготовок ($6 < L / d < 12$) – або в двох центрах, або в патроні і центрі; при обробленні нежорстких заготовок ($L / d > 12$) – в центрах із встановленням люнета.

Визначення режимів різання в дипломному проєкті може здійснюватися трьома методами [5, 8]: табличний, аналітичний, машинний з використанням комп'ютерів і спеціальних програм розрахунку, як правило, калькуляторів різних фірм-виробників інструмента [16,17,18].

2.7.1. Табличний метод

При табличному методі зазвичай використовують нормативи режимів різання. Порядок вибору режиму оброблення наступний [5].

1. Виходячи із заданого припуску на оброблення, призначають глибину різання. Зазвичай глибину різання при такому методі розрахунку обирають таку, що дорівнює припуску на чорнове оброблення. Якщо припуск великий (це поняття відносне, для кожного способу оброблення різне), то призначають декілька проходів і відповідні глибини різання для кожного проходу.

2. Вибирають технологічно допустиму подачу, враховуючи наступні обмеження:

- необхідну, у відповідності до кресленика деталі, шорсткість обробленої поверхні деталі;
- жорсткість оброблюваної деталі, яка особливо важлива при обробленні деталей типу «вал» з відношенням довжини вала до діаметру більше 10;
- міцність різального інструмента.

Найменша з трьох подач є технологічно допустимою. Дане значення подачі уточнюють по технічним характеристикам верстата і остаточно визначають її величину. Оскільки в дипломному проєкті рекомендується використовувати верстати з ЧПК, то призначають саме розраховану величину подачі.

3. За таблицями нормативів, залежно від визначеної величини подачі і призначеної глибини різання, обирають швидкість різання і частоту обертання заготовки чи інструмента.

4. За визначеними значеннями частоти обертання і подачі знаходять ефективну потужність, витрачену на різання, за якою визначають необхідну потужність верстата.

Слід зазначити, що всі перелічені кроки алгоритму вибору ґрунтуються на використанні різних табличних даних, представлених в довідниках [5].

Табличний метод рекомендується використовувати у виробничих умовах, в проєктних організаціях при проєктуванні нових технологічних процесів, якщо до готової продукції не висувуються високі експлуатаційні вимоги.

2.7.2. Аналітичний метод

При аналітичному методі послідовність призначення режимів різання аналогічна табличному, проте необхідно відзначити наступні особливості.

1. Розраховують подачу, що забезпечує задану шорсткість обробленої поверхні. Розрахунок здійснюється за параметром Rz в залежності від виду оброблення за формулами, отриманими з аналізу геометричної взаємодії різального клину і заготовки [6]. Розрахована величина може корегуватися в залежності від оброблюваного матеріалу та параметрів технологічної оброблювальної системи.

2. Розраховують подачу, що допускається міцністю різального інструмента. При цьому використовують аналітичні залежності, що зв'язують режим різання, зокрема подачу, з силою різання. Допустиму силу різання (або її складову) визначають зі схеми процесу за формулами опору матеріалів.

3. Розраховують подачу, що допускається жорсткістю заготовки. При цьому так само необхідно використати схему установки заготовки, схему дії сили різання, залежності допустимої деформації від сили різання або її складової.

4. Швидкість різання визначають за залежностями, які ґрунтуються на забезпеченні необхідної стійкості інструмента [5, 6, 8].

5. При аналітичному способі розрахунку режиму оброблення вибір верстата проводиться за потужністю, що витрачається на процес різання.

Даний метод розрахунку режиму різання може бути використаний, якщо немає обмежень щодо вибору моделі верстата та його характеристик і аналітичні залежності для визначення подачі та швидкості різання мають достатню точність.

Розрахунок режиму різання має завершуватись визначенням машинного часу. Розрахунок виконується за формулами, які визначають машинний час операції як відношення шляху, пройденому інструментом відносно заготовки, до швидкості подачі в напрямку оброблення. Шлях визначається за видом оброблення з урахуванням врізання і перебігу інструмента, а швидкість подачі, як правило, визначається в напрямку формоутворення. Для оброблення на верстатах з ЧПК до машинного часу додається час холостих рухів. Така величина буде складовою штучно-калькуляційного часу при виконанні економічних розрахунків.

2.7.3. Оптимізація режиму різання

Оптимізація режиму різання передбачає постановку і вирішення задачі оптимізації. Перш за все визначають критерій (або критерії) оптимізації – це ті показники процесу, які мають бути приведені до максимуму або до мінімуму. При декількох критеріях оптимізації вирішують задачу бажаності за принципом Парето. В дипломному проєкті може вирішуватись

однокритеріальна задача оптимізації, коли в якості критерію приймається машинний час або собівартість оброблення. При обробленні на верстатах з ЧПК ці два критерія збігаються, оскільки машинний час буде визначати значну частину собівартості з причини великої вартості обладнання з ЧПК і визначеного часу його «старіння» ~ 5 років. Таким чином, апріорі, підвищення продуктивності буде визначати і мінімум собівартості, бо частина вартості верстата і обладнання з ЧПК, що закладається в собівартість, буде мінімальна.

Отже, задача оптимізації формулюється наступним чином: визначити режим різання, який призводить до мінімуму машинного часу при безумовному забезпеченні всіх вимог за якістю продукції. Цільова функція має визначати залежність продуктивності від параметру (чи параметрів), що керуються. Як правило, це подача чи швидкість різання, а продуктивність визначається за характеристикою MRR ($\text{мм}^3/\text{с}$) при чорновому обробленні і за площею в одиницю часу ($\text{мм}^2/\text{с}$) при чистовому обробленні.

Слід зауважити, що за цієї класичної постановки задачі оптимізації такі показники процесу оброблення, як шорсткість, точність тощо, прийматися за критерії не можуть. Вони присутні в обмеженнях, які накладаються на параметри, що керуються, і визначаються вимогами кресленика деталі, де однозначно визначені такі показники.

Вирішення задачі оптимізації для конкретної операції чи переходу може складати окрему частину дипломного проекту поглибленого дослідження.

Слід зауважити, що існує багато видів оброблення, зокрема складних поверхонь, коли умови різання змінюються в широкому діапазоні за формоутворюючою траєкторією. Оскільки таке оброблення виконується переважно на верстатах з ЧПК, постає необхідність визначення закону управління режимом різання для стабілізації процесу. Таке завдання може бути вирішене при моделюванні процесу різання за апріорною інформацією.

Взагалі, виходячи з реальних можливостей управління процесами різання на сучасних верстатах з ЧПК, рекомендується наступний алгоритм дій.

Спочатку визначають найбільш впливовий параметр режиму різання або сполучення двох параметрів, який/які приймаються в якості керованих. Частіш за все таким параметром може бути подача або одночасно подача і швидкість різання.

Далі вирішують задачу пошуку такого закону управління, який призводить до стабілізації процесу за всією формоутворюючою траєкторією. Потім виконують постановку і розв'язання задачі оптимізації за критерієм максимуму продуктивності. І нарешті, якщо це вимагається для виконання умов точності, вирішують задачу корекції траєкторії формоутворення на останньому проході. Вирішення таких актуальних задач виробництва може відбуватися за використанням апріорної, поточної або апостеріорної інформації. Можлива також їх комбінація. Слід зауважити, що найбільш просто реалізується управління за апріорною інформацією, яке передбачає попереднє моделювання процесу оброблення з метою визначення характеру зміни головного показника процесу різання – *MRR*.

В дипломному проєкті бакалавра проблема управління режимом різання з метою стабілізації на оптимальному рівні може вирішуватись в окремій частині поглибленого розроблення і дослідження.

2.8. Зміст технологічної частини в дипломному проєкті

Всі передбачувані етапи проєктування технологічного процесу мають бути відображені в його графічній частині.

Кресленик деталі має бути представлений в графічній частині ДП (аркуш №1 формату A1). Робочий кресленик деталі повинен бути виконаний в масштабі 1:1. Виняток робиться для деталей великих і малих розмірів. Рекомендується представляти 3D- зображення деталі.

Технологічний процес оброблення поверхонь деталі має бути представлений у вигляді схем технологічних операцій на 2-3 аркушах формату A1.

При цьому необхідно дотримуватись наступних умов виконання таких ескізів. На ескізі представляється:

- заготовка в стадії виконання оброблення певних поверхонь, які виділяються подвійною товщиною ліній з обов'язковим позначенням розміру і шорсткості;
- установчі елементи базування деталі, затискні елементи пристрою, системи важелі, тощо без розкриття всієї конструкції;

- інструменти з інструментальним пристроєм, конструкція якого представляється таким чином, щоб за ескізом було зрозуміло принцип його функціонування.

При виконанні таких ескізів можна використовувати зображення без масштабу, але з дотриманням пропорцій, що забезпечує наочне представлення. На ескізах лезовий різальний інструмент – різці, фрези, розточувальні борштанги показують в кінцевій точці траєкторії переміщення інструмента (коли оброблення закінчилося та інструмент знаходиться в точці траєкторії, де включається подача швидкого відводу), а осьові інструменти – свердла, зенкери, розвертки, мітчики – у вихідній точці.

При застосуванні верстатів з ЧПК, де функціонування кожного різального інструмента визначається відповідною керуючою програмою, доцільно показувати траєкторію руху інструментів. Рекомендується використовувати фрагменти зображень (screenshot), що відповідають певним етапам проєктування операції на верстаті з ЧПК за допомогою САМ- системи. Окремо потрібно представити фрагмент керуючої програми в G- кодах з поясненням відповідних команд прив'язкою до певної поверхні, що обробляється. Також для операцій, що виконуються на верстатах з ЧПК, необхідно послідовно пронумерувати всі різальні інструменти, які застосовуються для оброблення.

Для кожного інструмента даної технологічної операції необхідно вказати режим різання та основний час оброблення в таблиці, що розміщується над кутовим написом (штампом) відповідного аркуша.

3. ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ

3.1. Загальні вимоги до розроблення технологічного оснащення

До технологічного оснащення відносяться різні верстатні пристрої для установки і закріплення заготовки на верстаті, пристрої з додаткової підтримки заготовки з причини її малої жорсткості, пристрої для закріплення і встановлення різального і вимірювального інструмента на верстаті, пристрої для завантаження і вивантаження заготовки в зону оброблення верстата, пристрої для динамічного балансування і пристрої для гасіння коливань технологічної обробляючої системи тощо.

Конкретний пристрій визначається керівником і приймається до розробки студентом. При цьому може бути визначене додаткове завдання поглибленого визначення конструктивних і технологічних параметрів того чи іншого пристрою, яке представляється в окремій частині дипломного проєкту.

При виконанні цієї частини дипломного проєкту конструкція пристрою представляється в графічній частині у вигляді складального кресленника з використанням різних CAD- систем і дотриманням ДСТУ 3321:2003 [9], а розрахункова частина представляється в текстовій частині. Рекомендується також надавати 3D- зображення пристрою, проте 2D- складальний кресленник є обов'язковим. Пристрій зображується в масштабі 1:1 на аркуші формату A1, при великих або малих габаритних розмірах за узгодженням з керівником дозволяється застосовувати інші масштаби. При представленні 2D- кресленника верстатного пристрою обов'язково зображується заготовка (в стадії оброблення на операції) в положенні «затиснуто». Вона представляється у вигляді контуру тонкими лініями і вважається прозорою. Ця графічна частина дипломного проєкту представляється на одному або двох аркушах формату A1.

Складальний кресленник пристрою має представляти конструкцію таким чином, щоб за ним можна було б розробити робочі кресленники складових

деталей та виготовити сам пристрій. Це означає, що таке зображення має містити всі необхідні види, розрізи і перерізи для однозначного розуміння функціонування пристрою і призначення кожної його деталі. Рекомендується надавати пунктирними лініями зображення кінцевих положень частин пристрою, що мають рухатись при його функціонуванні.

На складальному кресленку обов'язково мають бути показані основні розміри, до яких відносяться:

- габаритні;
- посадочні;
- приєднувальні.

Крім того, мають бути приведені розміри переміщення вузлів пристрою при його функціонуванні та розміри, необхідні для розуміння конфігурації деяких деталей та компонентів пристрою. На складальному кресленку пристрою обов'язково мають бути зазначені (в тексті над кутовим штампом) технічні умови виготовлення, експлуатації або зберігання.

При визначенні окремого завдання поглибленого дослідження технологічного оснащення слід урахувати, що будь-який верстатний пристрій призначений для виконання технологічних процесів або окремих операцій і має забезпечувати досягнення необхідної якості і точності оброблення деталей машин. Верстатний пристрій для закріплення заготовки або підсилення її жорсткості функціонує в замкненій технологічній обробляючій системі в умовах змінних зовнішніх збурень у вигляді як випадкових коливань розмірних ланцюгів, так і квазістаціонарних силових характеристик. Тому математичні моделі, що представляють верстатний пристрій, мають адекватно відображати динамічні процеси, що відбуваються в процесі різання і, по можливості, бути стохастичними. Без таких моделей якісне проєктування верстатних пристроїв просто неможливе. Приклади виконання графічної частини цього розділу ДП наведені в додатках.

3.2. Пристрої для установки і затиску заготовки

Такі пристрої мають конструюватись для окремої технологічної операції, яка була розроблена в технологічному процесі виготовлення і для якої був

виконаний розрахунок режиму різання з визначенням його силових характеристик.

Перш за все, при проектуванні компоновки пристрою необхідно матеріалізувати призначену для технологічної операції схему базування, тобто вибрати тип і форму базуючих елементів. При цьому потрібно перевірити забезпечення нерухомості заготовки в обраній системі координат накладенням на неї шістьох двосторонніх геометричних зв'язків (правило шести точок) для певних поверхонь заготовки, які називаються установча, напрямна і опорна технологічні бази. При виконанні цієї частини проекту доцільно обирати нормовані та стандартизовані конструкції установчих елементів [10, 11, 12]. Форма контактних поверхонь цих елементів залежить від форми відповідної поверхні заготовки та її матеріалу. Головна вимога – забезпечення необхідної жорсткості в контакті заготовки і установчих елементів верстатного пристрою.

На цьому етапі рекомендується визначити похибку базування, яка є складовою загальної похибки оброблення. Для таких розрахунків використовують геометричні співвідношення між базовими і оброблюваними поверхнями. Слід зауважити, що при використанні верстатів з ЧПК, а переважно саме їх і треба застосовувати в дипломному проєкті при розробці технологічного процесу, похибка базування дорівнює нулю. Це відбувається завдяки тому, що оброблення здійснюється за керуючою програмою, яку обов'язково «прив'язують» до фактичного розташування заготовки в зоні оброблення.

При вирішенні задачі проектування пристрою для встановлення і затиску заготовки рекомендується в якості аналога брати зразки провідних фірм, адаптуючи їх до конкретної заготовки та операції технологічного процесу, що розробляється [19, 20, 21]. При цьому можна користуватись прийомами реінжинірингу. Широкий вибір затискних верстатних пристроїв представляє, наприклад, фірма Schunk.

Самоцентрівні верстатні лещата KSK для малих деталей із закритою геометрією ковзання показані на рис. 3.1. Зусилля ініціюється суто механічними засобами та реалізується через ліву та праву різьбу на гвинті, який можна обертати з обох сторін. Обидві затискаючі пластини закриваються чи відкриваються синхронно. Можливе центричне затискання як зсередини,

так і ззовні. Затискний верстатний пристрій KSK призначений для центрального затискання незавершених деталей і оброблених заготовок. Центральне положення можна встановити лише за допомогою затискних лещат KSK 100, послабивши три гвинти знизу.

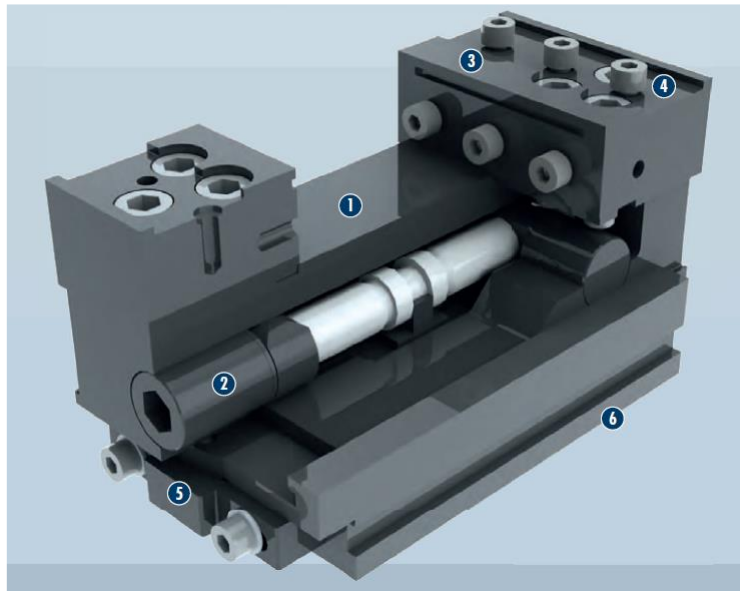


Рисунок 3.1 – Самоцентрівні верстатні лещата

Для автоматизації верстатних робіт і для забезпечення необхідної сили затиску використовуються затискні верстатні пристрої з пневматичним приводом. Затискний пристрій з пневматичним керуванням Schunk Tandem PGS3-LH 100 може бути безпосередньо встановлений на столах верстатів, ділильних головках або затискних станціях Vero-S NSL 150 обробляючих центрів за допомогою вбудованого фланця (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Блок Schunk Tandem PGS3-LH 100

Компактний дизайн і квадратна форма пристрою оптимізують доступність і забезпечують хід 6 мм на затискний кулачок. З силою затиску 4500 Н і точністю повторення 0,02 мм Schunk Tandem PGS3 вважається придатним для базових застосувань в металообробленні.

Також для зразків токарних патронів можна використовувати патрони з компенсацією дії відцентрової сили на силу затиску при обертанні патрона на верстаті (рис. 3.3).

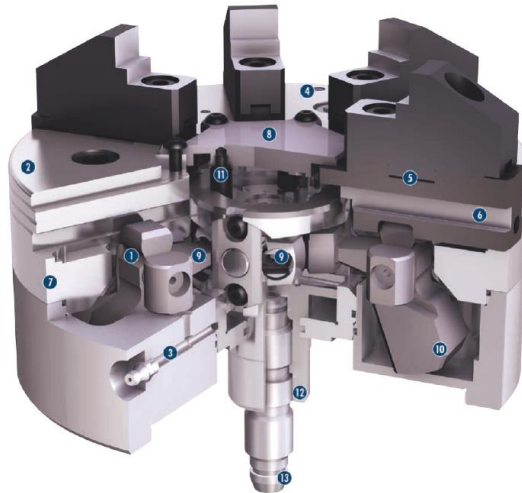


Рисунок 3.3 – Шестикулачковий патрон

Шестикулачковий компенсаційний патрон заснований на принципі конструкції кулачків патрона, які коливаються попарно. Дві базові губки завжди з'єднані з тілом маятника. Це забезпечує центрування заготовки між шістьма точками контакту, які можна регулювати попарно. Навіть необроблені частини можна центрувати без перекосів заготовки. Для певних застосувань маятникову компенсацію можна заблокувати, що призводить до центрального затискання губок. Розроблення аналогічних конструкцій та дослідження впливу відцентрової сили на зусилля затиску може складати спеціальну частину дипломного проекту.

Крім того, фірми-розробники верстатних пристроїв приділяють увагу розробці спеціальних пристроїв для підсилення жорсткості ТОС при обробленні м'якожорстких деталей. На рис. 3.4 представлені гідравлічні самоцентрівні люнети.

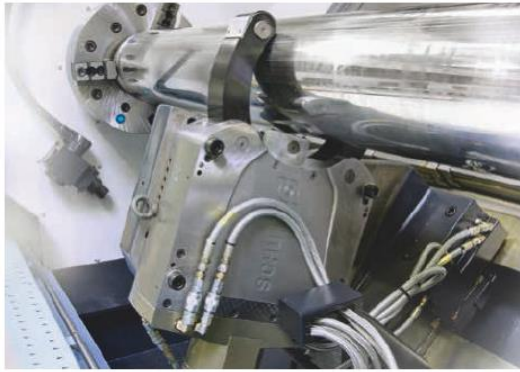


Рисунок 3.4 – Самоцентрівні лунети

Дослідження конструкцій таких лунетів може складати спеціальну частину дипломного проекту, де мають бути представлені необхідні розрахунки для здійснення функцій центрування нежорстких валів на токарному верстаті в широкому діапазоні.

В якості пристроїв, зокрема для верстатів з ЧПК, рекомендується використовувати універсально-збірні пристрої (УЗП) [10]. Такі пристрої містять набір нормалізованих деталей, які дозволяють складати різну кількість пристроїв одночасно для виконання заданих операцій. Універсальність полягає в тому, що після демонтажу такого пристрою з його деталей можна скласти інші пристрої для виконання інших операцій для оброблення даної чи іншої заготовки. Деталі основного набору розбивають на групи і складають їх специфікацію.

В I групу входять базові деталі – це квадратні і прямокутні плити, круглі столи (планшайби), базові кутники і т.п. Базові деталі оснащені Т-подібними пазами і елементами кріплення та орієнтації.

II група – корпусні і опорні деталі – це призми, кутники, підкладки, опори.

III група – напрямні деталі – кондукторні плити, кондукторні втулки, колонки, валики і т.п.

IV група – затискні деталі – це різного виду прихвати, гвинтові, ексцентрикові, клинові, шарнірні та інші затискні механізми.

V група – кріпильні деталі – болти, гайки, шпильки, шайби.

VI група – різні деталі – ручки, планки, пружини та інше.

Деталі комплексу повинні бути зносостійкими і міцними, тому основні деталі виготовляють із сталі 38 ХА, 40 ХА з гартуванням до HRC 40-45.

Напрямні і установочні деталі виготовляють з вуглецевих сталей У7А, У8А, У10А, HRC 50-55. Інші, менш відповідальні деталі (прихвати), – із сталі 45, шайби, шпонки – із сталі 20. УЗП комплектуються у відсотках від загального обсягу повного комплекту в залежності від груп верстатів: свердлильні – 60%, фрезерні – 30%, токарні – 7%, шліфувальні і інші – 3%.

При застосуванні УЗП на верстатах з ЧПК слід уникати використання плит з Т-подібними пазами, оскільки столи верстатів вже оснащені такими пазами. Таким чином, пристрій можна скласти безпосередньо на столі верстата, користуючись деякими елементами УЗП. Такі рішення приймаються в залежності від конкретних виробничих обставин, складності заготовки, програми випуску тощо.

Після визначення загальної компоновки верстатного пристрою необхідно виконати розрахунки на затиск заготовки (силові розрахунки). Затиск заготовки відбувається або механічними засобами або пневматичними чи гідравлічними приводами.

В затискних верстатних пристроях найчастіше в якості затискних механізмів використовуються гвинтові пари. Також можуть використовуватись ексцентричні, клинові та шарнірні механізми. В усіх конструкціях такі механізми є самогальмівними, а їх розрахунок полягає у забезпеченні необхідної сили затиску при прикладанні ручного зусилля на вхідному елементі затискного пристрою.

Якщо використовується затискний пристрій з пневматичним або гідравлічним затиском, то розрахунок полягає у виборі стандартного пневмо- або гідроциліндра, виходячи з необхідної сили затиску і стандартного тиску робочого тіла (повітря або рідини) на виробництві. Слід зауважити, що оскільки переважна більшість верстатів з ЧПК оснащуються пневматичними приводами, бажано уникати використання затискних пристроїв з гідравлічним затиском. В деяких випадках рекомендується використовувати затискні пристрої з гідропластними засобами затиску.

В будь-яких випадках, в дипломному проєкті при виконанні цієї його частини обов'язково необхідно представити схеми сил, що діють на заготовку зі сторони інструмента з одного боку і зі сторони затискних елементів з іншого. В поясненнях необхідно представити рівняння діючих сил так, щоб

заготовка знаходилась у рівновазі з певним коефіцієнтом запасу. При поглибленому вивченні таких питань, ураховуючи динаміку процесу різання, необхідно використовувати диференціальні рівняння руху, що може складати спеціальну частину дипломного проєкту.

Також необхідно представити схему передачі зусилля затиску від ручного привода чи від пневматичного або гідравлічного циліндра (в залежності від конструкції затискного пристрою). За визначеними схемами і відповідними рівняннями розраховують необхідні конструктивні параметри затискних пристроїв.

Увага! Наведені вище приклади верстатних пристроїв можна застосовувати в дипломному проєктуванні тільки в разі їх адаптації до операцій спроектованого технологічного процесу.

3.3. Інструментальні пристрої

В якості пристрою для розробки конструкції та адаптації до технології виготовлення деталі в дипломному проєкті може бути обраний інструментальний пристрій.

Оправки є інструментальним оснащенням для фрезерного верстата і призначаються для передачі крутного моменту від шпинделя до інструмента. Вони використовуються у фрезерних верстатах всіх типів. Конструкція фрезерної оправки залежить від типу верстата та інструмента. Оправка, як правило, має дві частини. Одна – для закріплення інструмента, друга – для встановлення оправки в конічний отвір відповідного розміру шпинделя верстата. Залежно від типу інструмента існують різні версії першої частини оправки. В залежності від типу затискача оправки і типу конуса шпинделя існує велика кількість варіантів їх виконання.

Конуси фрезерних оправок стандартизовані для зручності підбору інструмента. Дуже популярні фрезерні оправки 7:24, які відрізняються тільки розмірністю і допоміжними елементами. Також часто використовується конус Морзе та HSK. Останній варіант застосовується на верстатах з високою швидкістю обертання шпинделя – 15000 об./хв. та вище. Якщо конус оправки не збігається з конусом шпинделя, можна використовувати перехідні втулки.

Нижче представлені конструкції частин оправок для встановлення і закріплення інструмента.

Торцеві фрези, а також деякі дискові фрези, встановлюють на оправках, які мають коротку циліндричну частину. На торці оправки є два напрямні сухаря, які запобігають провертанню фрези відносно оправки. Затиск фрези здійснюється гвинтом, що закручується в торець оправки (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Оправка для торцевої фрези

Закріплення фрез і сверدل з циліндричним хвостовиком діаметром до 20 мм найзручніше проводити в цангових патронах, наприклад, ER (рис.3.6).



Рисунок 3.6 – Цанговий патрон



Рисунок 3.7 – Патрони для мітчиків

При звичайному нарізанні різьби без синхронізації частоти обертання шпинделя з подачею по осі Z необхідно використовувати спеціальні патрони, що компенсують похибку кроку по осі Z (рис. 3.7). Для нарізання різьби в глухих отворах необхідно використовувати патрони із запобіжною муфтою, яка захищає оправку від перевищення крутного моменту.

Модульна або збірна система – це оправка з фланцем, на якій закріплюються розточувальні головки різних типів – з одним різцем, з двома, для чорнового розточування і т.д. (рис. 3.8). Конструкція такої оправки разом

з напрямними для закріплення різального інструмента має бути пристосована для виконання однієї з операцій технологічного процесу.

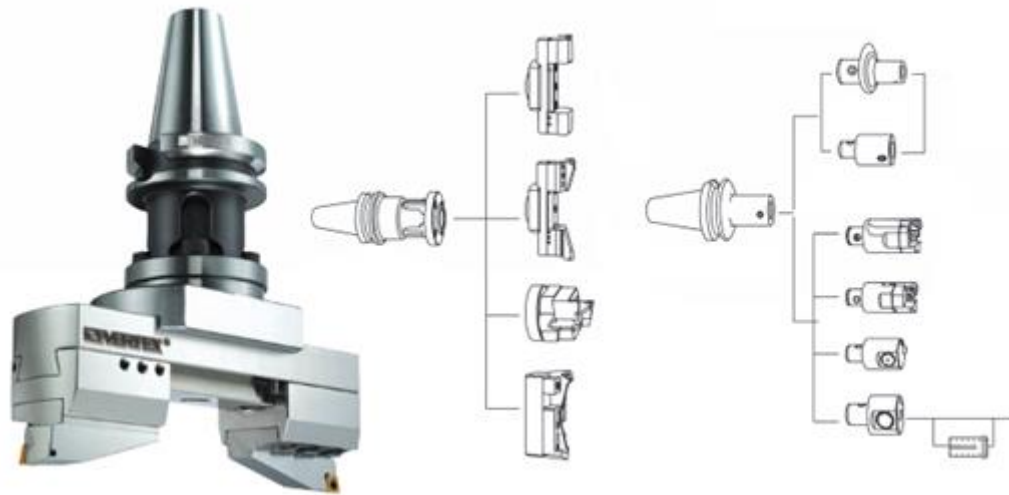
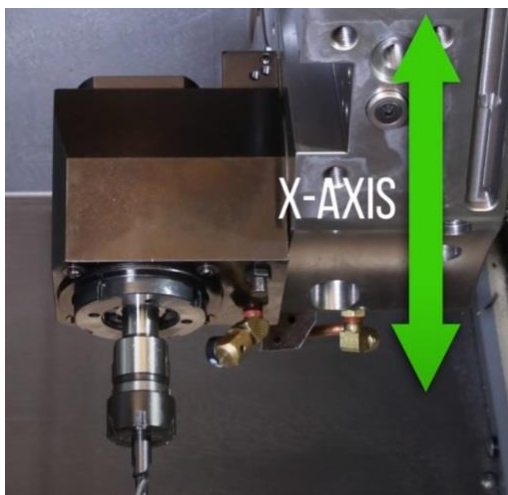
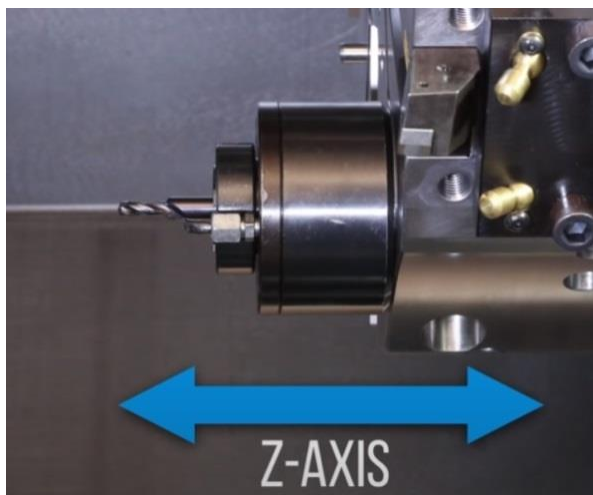


Рисунок 3.8 – Оправка з модульною системою

При використанні токарного верстата з ЧПК для операцій технологічного процесу в цій частині дипломного проєкту можна виконувати розроблення конструкцій приводних головок різного типу, що кріпляться в револьверній головці верстату (рис. 3.9).



а)



б)

Рисунок 3.9 – Кутова (а) и осьова (б) приводні головки

Окремим завданням розроблення верстатного пристрою може бути пристрій для балансування шліфувальних кругів (рис. 3.10).

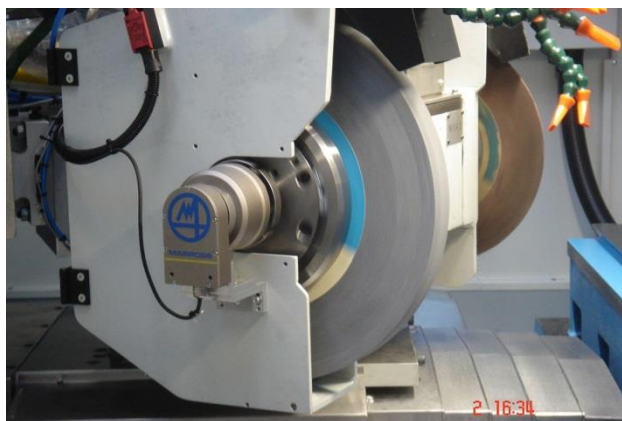


Рисунок 3.10 – Пристрій для балансування шліфувальних кругів

Оскільки в процесі експлуатації при виконанні правки шліфувальних кругів баланс може порушуватись, на деяких верстатах передбачається автоматичне балансування без зняття круга. Таке завдання може пропонуватися на рівні винаходу як розроблення конструкції та принципу дії пристрою автоматичного балансування шліфувальних кругів безпосередньо на верстаті.

Увага! Наведені вище приклади верстатних пристроїв можна застосовувати в дипломному проектуванні тільки в разі їх адаптації до операцій спроектованого технологічного процесу.

3.4. Контрольно-вимірювальні пристрої

Кожна операція має закінчуватись контролем обробленої поверхні (чи поверхонь) деталей. Такі вимірювання можуть виконуватись на спеціальних контрольно-вимірювальних пристроях (КВП) або безпосередньо на верстаті з ЧПК (так зване On Machine Verification – OMV).

Вимірювальна система складається з датчика (вимірювальної головки), приймача сигналу та інтерфейсу для зв'язку із системою ЧПК. Основна функція, що виконується системою, – надати сигнал до системи ЧПК про спрацювання датчика, після чого система ЧПК здійснює запис координат поточного положення щупа. Датчик – це основний елемент вимірювальної системи, і від того, наскільки швидко він спрацює (пройде деяку відстань) після торкання об'єкта, залежить точність вимірювання. В даний час компанія Renishaw – світовий лідер у галузі виробництва інноваційного метрологічного

обладнання – виготовляє два типи вимірювальних головок, що відрізняються за принципом спрацювання: кінематичні та тензометричні.

При використанні вимірювань за способом OMV в дипломному проєкті необхідно обрати конкретний датчик, розробити керуючу програму для проведення таких вимірювань і представити очікувані результати використання.

Під час конструювання контрольно-вимірювального пристрою рекомендується вивчити умови виникнення первинних похибок і виявити шляхи їхнього зменшення або повного усунення. На вибір принципової схеми КВП також впливає задана продуктивність контролю. Наприклад, при цілковитій перевірці деталей у потоковому виробництві час контролю не має перевищувати темп роботи потокової лінії. При вибіркового контролю деталей вимоги щодо продуктивності КВП можуть бути знижені.

Контрольно-вимірювальні пристрої можна класифікувати наступним чином:

- стаціонарні – для перевірки деталей на одному робочому місці;
- переносні – для перевірки деталей на одному чи декількох робочих місцях;
- пасивні – застосовують після завершення виконання операції оброблення;
- активні – контролюють деталі під час оброблення, даючи сигнал на виконавчі ланки верстата або робітнику на припинення оброблення або зміну технологічних умов при виявленні браку;
- звичайні та автоматичні.

КВП складаються з установчих, затискних, вимірювальних і допоміжних елементів, які кріпляться на корпусі пристрою. Для встановлення на базові площини застосовують постійні опори зі сферичними і плоскими головками, опорні пластини і спеціальні деталі (сектори, кільця) залежно від форми базової поверхні. Опори зі сферичними головками застосовують для встановлення деталей на необроблені бази. Для підвищення зносостійкості опори термічно оброблюють до твердості HRC 56...61.

Для встановлення на зовнішні циліндричні поверхні застосовують призми. Для підвищення точності КВП і підвищення зносостійкості призм

застосовують призми з роликами, переставними валиками або з пластинками з твердого сплаву, що напаяють на робочі поверхні.

Для підвищення продуктивності контролю застосовують багатовимірні КВП, які дозволяють одночасно перевіряти декілька розмірів за один установ деталі. Це можливо, якщо одна поверхня деталі є установчою і вимірювальною базою для всіх розмірів, що перевіряються. Наприклад, на рис. 3.11 зображено багатовимірний КВП для перевірки торцевого биття.

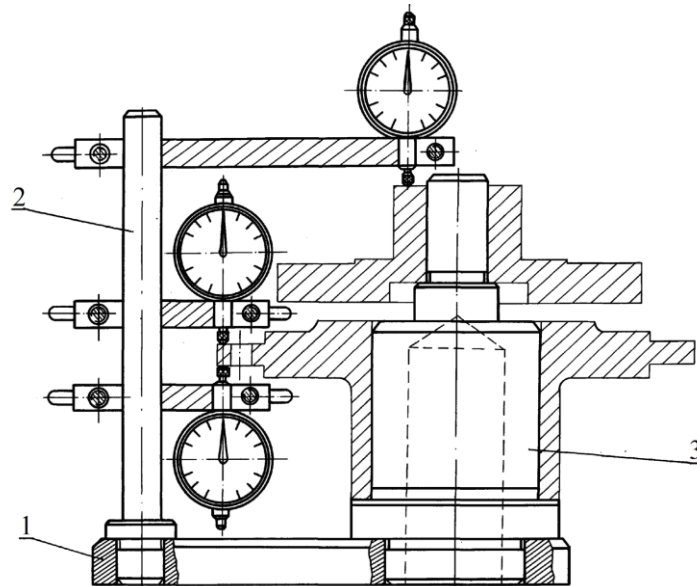


Рисунок 3.11 – Багатовимірний контрольно-вимірювальний пристрій

Для контролю складних 3D- поверхонь використовують контрольно-вимірювальні машини (КВМ). Традиційна «мостова» КВМ є триосьовою з X, Y і Z осями. Осі ортогональні одна до одної і утворюють звичайну тривимірну систему координат (рис. 3.12).

Кожна вісь має свій масштаб, що визначає розташування цієї осі. КВМ зчитує дані з сенсорного датчика за вказівкою оператора або комп'ютера. Потім КВМ використовує X, Y, Z- координати кожної з цих точок, щоб визначити розмір та розташування. При використанні такого контролю обробленої поверхні в дипломному проєкті слід розробити пристрій для розміщення деталі на столі КВМ та керуючу програму для вимірювання певного розміру і координат розташування тої чи іншої поверхні.



Рисунок 3.12 – Контрольно-вимірювальна машина ALTERA

Останнім часом набули розповсюдження безконтактні системи вимірювання на базі лазерного сканера, який, отримуючи дані відбитого випромінювання, формує відповідні скани поверхонь деталі (рис. 3.13).



а)



б)

Рисунок 3.13 – Безконтактні пристрої сканування: а) – рука з пристроєм безконтактного сканування, б) – вимірювання блоку циліндрів

Даний вид сканування є найпоширенішим та економічно вигідним. Безконтактна система сканування розширює можливості традиційного

контролю та підвищує продуктивність. Безконтактне лазерне сканування дозволяє оцифровувати об'єкти з практично будь-яким типом поверхні у довільній формі. При цьому для сканування доступні об'єкти великих розмірів.

Незамінним методом при виконання реінжинірингу є отримання геометричного зображення деталі з прив'язкою до розмірної системи координат та загального вигляду виробу. Тому при виконанні такого завдання в дипломному проєкті рекомендується представити і деталізувати саме такий процес.

Увага! Наведені вище приклади пристроїв можна застосовувати в дипломному проєктуванні тільки в разі їх адаптації до операцій спроектованого технологічного процесу.

4. ЗАВДАННЯ З ПОГЛИБЛЕНОГО РОЗРОБЛЕННЯ ОКРЕМИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РОЗДІЛІВ

Поглиблене розроблення окремих технологічних чи конструкторських розділів проєкту передбачає виконання досліджень процесів, пристроїв, систем тощо, які були задіяні в технологічному процесі виготовлення деталі, або стосуються основних дисциплін, які вивчались студентом. Такі завдання визначаються за власною (разом з керівником) ініціативою. Приклади таких розробок наведені нижче. Отже, обов'язковою умовою виконання цього розділу є прив'язка розробок, досліджень до конкретних операцій технологічного процесу, що був спроектований, або іншого предмету, що складає основу дипломного проєкту. Такі розробки мають бути спрямовані на підвищення якості виконання дипломного проєкту і мають знайти відображення в економічних показниках. Наприклад, оптимізація процесу оброблення різанням призводить до зменшення часу виконання операції, що зменшує собівартість всієї деталі.

Завдання з цього розділу проєкту мають за мету дати студенту можливість продемонструвати вміння вирішувати проблеми з технологічної підготовки виробництва, використовуючи знання з усіх дисциплін навчального плану підготовки бакалавра. Таким чином, ця частина проєкту повинна мати наступну структуру.

1. Завдання (конкретна проблема, обов'язково пов'язана з технологічним процесом, що розробляється в першій частині проєкту і вимагає застосування знань з якоїсь дисципліни навчального плану – бажано з його нормативної частини).

2. Загальні відомості з сутності проблеми, її актуальність та вплив на ефективність виробництва.

3. Пояснення для можливого вирішення проблеми, завдання. Напрям дій для розв'язання і представлення в дипломному проєкті. Схеми, моделі – як графічні так і аналітичні.

4. Приклади вирішення (за потреби).

5. Варіанти (за потреби).

Нижче представлені приклади завдань, які можуть бути доповнені та сформульовані керівником в індивідуальному порядку.

- **Експериментальна частина.** Виготовлення виробу, результати вимірювань. За результатами експериментальної частини підтвердження, наприклад, обраних режимів різання, які отримали раніше, або проведення корекції.
- **Контроль виробу.** Виконання необхідних розрахунків параметрів норм точності, контрольного інструмента, схем контролю. Конструювання і розрахунок контрольних пристроїв.
- **Розробка різального інструмента.** Перевірка існуючого інструмента на придатність для отримання необхідної форми деталі (профілювання) тощо.
- **Теорія управління технологічними процесами.** Розрахунок динамічної системи та уточнення параметрів оброблення відповідно до раніше вибраних режимів різання, розрахунок припусків, інше.
- **Автоматизація та роботизація виробництва / Складання виробів.** Вибір обладнання для забезпечення цих процесів, його розташування, завантаження та інше в рамках розробленої технології.
- **Адитивні технології.** Побудова моделі з використанням Slicers, проєктування подальшого механічного оброблення. Побудова моделей деталей ливарної форми, яка може бути виготовлена адитивними технологіями (наприклад, при отриманні заготовки способом лиття по моделям, що виплавляються).
- Інші складові та розрахунки, що розширюють питання експлуатації, виготовлення базової деталі, виробу чи його складання – питання, що розкривають тематики вибіркового дисциплін.

4.1. Шорсткість поверхні при контурному фрезеруванні

Завдання: визначити залежність детермінованого параметру шорсткості при контурному фрезеруванні від геометричних параметрів та режиму різання.

Таке завдання розширює діапазон розробок дипломного проєкту, в якому була використана операція контурного фрезерування. В дипломному проєкті була розроблена технологія виготовлення деталі, яка передбачає контурне 2,5D- оброблення фрезеруванням кінцевою фрезою. Приклад наведений на рис. 4.1. Поверхня деталі містить як зовнішні, так і внутрішні ділянки контуру опуклої, прямолінійної або увігнутої форми.

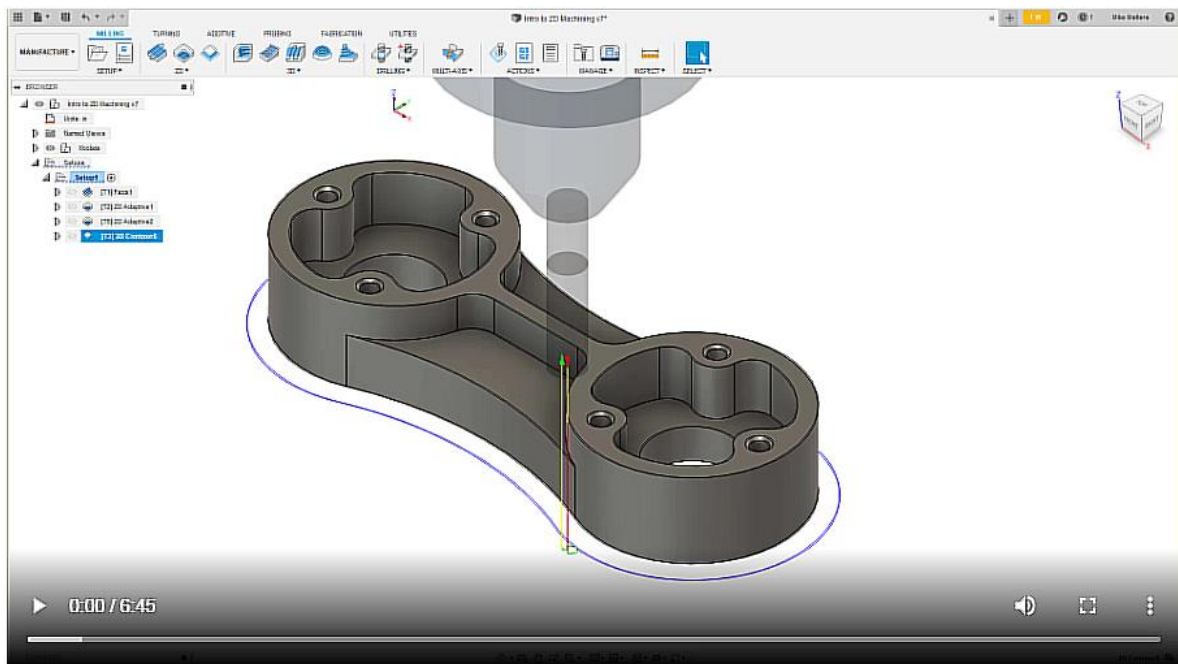


Рисунок 4.1 – Інтерфейс САМ- системи Autodesk

При виконанні такої операції важливо визначити параметри процесу різання: діаметр фрези, кількість зубців, частоту обертання, швидкість різання, подачу тощо. Такі параметри, крім іншого, впливають на шорсткість обробленої поверхні. Тому прогнозування шорсткості за її геометричною складовою є актуальною задачею, яка дозволить визначити керування процесом для забезпечення визначеної шорсткості на всіх ділянках контуру.

На рис. 4.2 представлені спрощені схеми утворення геометричного параметру R_z шорсткості оброблюваної поверхні при обробленні плоскої (а), опуклої (б) та увігнутої (в) поверхні.

Зі схем ясно, що висота R_z профілю шорсткості залежить від радіуса R_k кривизни контуру, що обробляється, радіуса R_ϕ фрези, кількості зубців z , частоти n обертання і подачі f . Такі залежності можна отримати з геометричних взаємовідношень. При виконанні завдання необхідно доробити і деталізувати представлені схеми для пояснення наведених нижче формул.

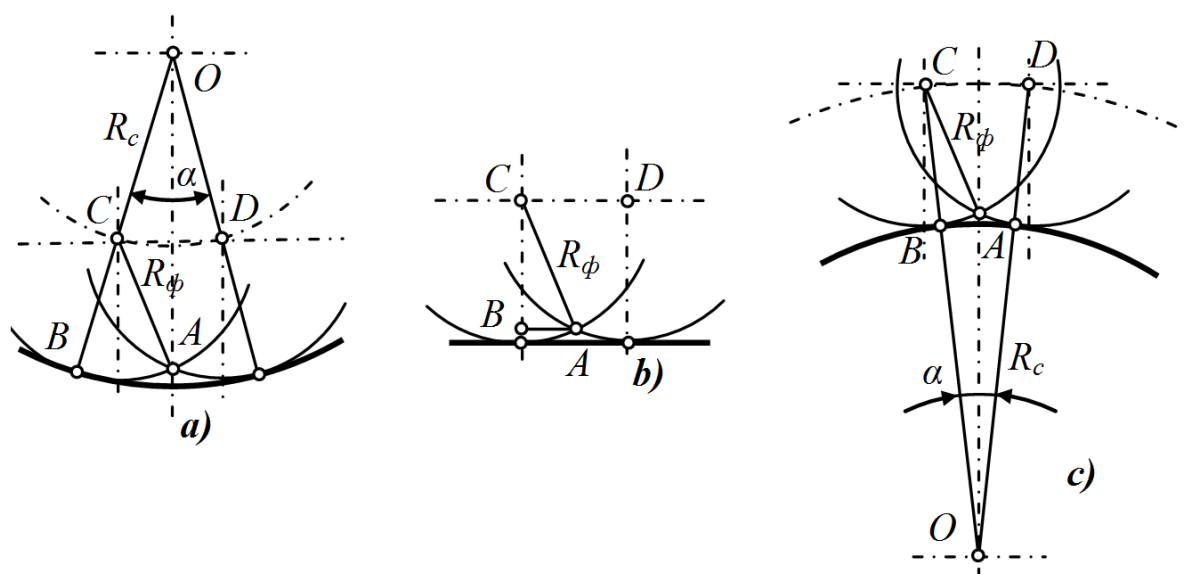


Рисунок 4.2 – Схеми утворення параметру R_z шорсткості

На рис. 4.2 показані три можливі випадки формування детермінованої складової шорсткості при кінцевому фрезеруванні для увігнутої ділянки контуру, для плоскої та опуклої. Користуючись правилами нарисної геометрії, потрібно визначити залежність параметру від радіуса R_k кривизни контуру, що обробляється, радіуса R_ϕ фрези, кількості зубців z , частоти n обертання і подачі f . Такі залежності в заданому діапазоні змін доцільно представити у вигляді графіків з відповідними поясненнями.

Створена математична модель може бути покладена в основу прикладної програми, створеної студентом, з використанням будь-якої мови об'єктно-орієнтовного програмування. Приклад інтерфейсу такої програми показаний на рис. 4.3.

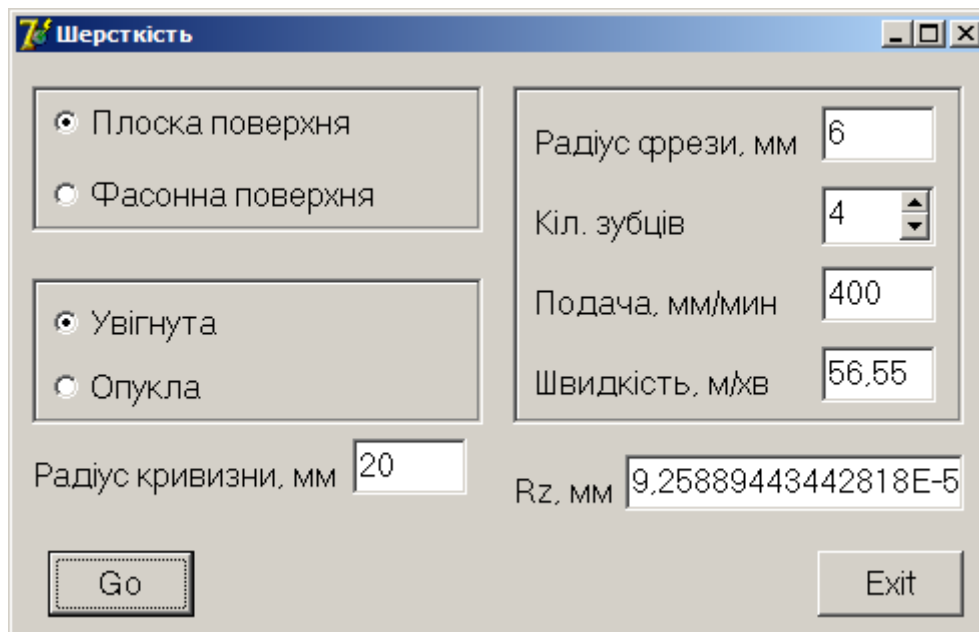


Рисунок 4.3 – Інтерфейс прикладної програми

За допомогою створеної програми можна побудувати графіки залежності R_z шорсткості від параметрів процесу. Такі графіки представляють залежності, що допоможуть обрати необхідні параметри процесу для виконання умов за шорсткістю, або керування, наприклад, подачею.

Практична корисність такого дослідження визначається тим, що наразі найбільш передові фірми (Solid Works, Siemens-NX) на ринку високих технологій починають пропонувати програмні продукти (CAM- системи) зі стабілізацією умов різання при обробленні складних поверхонь, так звані iMachining- технології. Вони передбачають управління подачею f при контурному фрезеруванні для стабілізації силових характеристик процесу. В той же час, зміна подачі і зміна кривизни контуру призводить до зміни шорсткості. Тому дослідження, яке дозволить прогнозувати вплив таких змін на шорсткість обробленої поверхні, є актуальним при оцінці ефективності таких управлінь.

Крім того, слід визнати, що на шорсткість поверхні впливає не тільки подача f , а й частота n обертання фрези, такі ж самі параметри впливають на силові характеристики процесу. Тому при вирішенні задачі управління треба шукати компромісне рішення за рахунок одночасного управління як подачею, так і частотою обертання фрези. Таке завдання може бути покладене в основу дослідження майбутньої магістерської дисертації.

4.2. Оптимізація режиму різання при точінні

Завдання: сформулювати задачу оптимізації, визначити критерій (або критерії), визначити управління, обмеження, цільову функцію і вирішити задачу для конкретних умов токарної операції розробленого технологічного процесу.

Відомо, що на практиці при виконанні будь-якого процесу різання жоден з його параметрів не залишається постійним. Це визначається безперервною модифікацією як зовнішніх збурень, так і характеристик самої технологічної обробляючої системи (ТОС). Наприклад, при точінні циліндричної поверхні відбуваються випадкові зміни припуску, твердості, зона оброблення переміщується вздовж заготовки, внаслідок чого змінюється точка прикладання сили в пружній ТОС та пружні зсуви, з плином часу зношується інструмент, відбуваються зміни температури зони різання, верстата тощо. Тому в кожному моменті часу процесу для підтримання його вихідних характеристик на оптимальному рівні необхідно безперервно визначати нові оптимальні величини впливів, що управляють, і діяти ними на процес різання.

Таким чином, оптимальне управління повинно бути перманентним, урахувати змінні умови різання і виконуватись автоматично. Для задоволення таким вимогам найбільш підходять системи автоматичного управління, що управляють подачею, швидкістю різання, а інколи – і глибиною різання.

При застосуванні САМ- систем для підготовки управляючої програми раціональним є оптимальне управління, що реалізоване програмними засобами на основі апріорної інформації. Таким чином, основою будь-якої системи оптимізації процесу різання є його оптимізаційна математична модель, що зв'язує критерій оптимізації з керуючим впливом – подачею і швидкістю різання. В результаті розв'язання задачі оптимізації знаходять керуючий вплив, що забезпечує максимум продуктивності або мінімум собівартості при безумовному виконанні вимог обмежень за якістю оброблення. Крім традиційних критеріїв оптимізації (продуктивність чи собівартість) в залежності від результатів техніко-економічного аналізу застосовують критерій максимальної інтенсивності видалення припуску

(Material Removal Rate – MRR). Часто на виробництві ставиться таке завдання – досягнення максимальної продуктивності або мінімальної собівартості при заданих значеннях стійкості інструмента.

Для випадку оброблення різанням на токарному верстаті за один прохід з постійною глибиною різання, що дорівнює припуску на оброблення (ідеальний випадок), режим різання буде оптимальним при такому поєднанні подачі і швидкості різання, коли основний технологічний час буде мінімальним. Таке оптимальне рішення знаходять, відшукуючи такі невід’ємні значення управляючих впливів (подачі S і частоти обертання n шпинделя) при задоволенні всім обмеженням, що складають мінімум критерію оптимальності. Таким чином, задача оптимізації може бути представлена наступним чином:

1. Критерій $nS \rightarrow \max$;
2. Обмеження за потужністю;
3. Обмеження за силою подачі;
4. Обмеження за шорсткістю;
5. Обмеження за міцністю;
6. Обмеження за жорсткістю.

Отже, створення математичної моделі, яка представляє залежності обмежень від режиму різання, і є завданням поглибленого розроблення з науковою складовою, що спирається на компетенції, набуті студентом в ході вивчення фахових дисциплін плану підготовки.

Крім того, в цій частині дипломного проєкту студентом може бути розроблена програма для автоматизації вирішення задачі оптимізації режиму різання. Як приклад, на рис. 4.4 представлений інтерфейс такої програми.

При переміщенні лінії nS в полі інтерфейсу в положення проходження через точку А і натисканні на ліву клавішу у вікні «ОПТИМАЛЬНИЙ РЕЖИМ РІЗАННЯ» з’являються визначені дані. Програма може бути побудована будь-яким способом з іншим інтерфейсом, але з відповідними поясненнями і подальшою демонстрацією під час захисту.

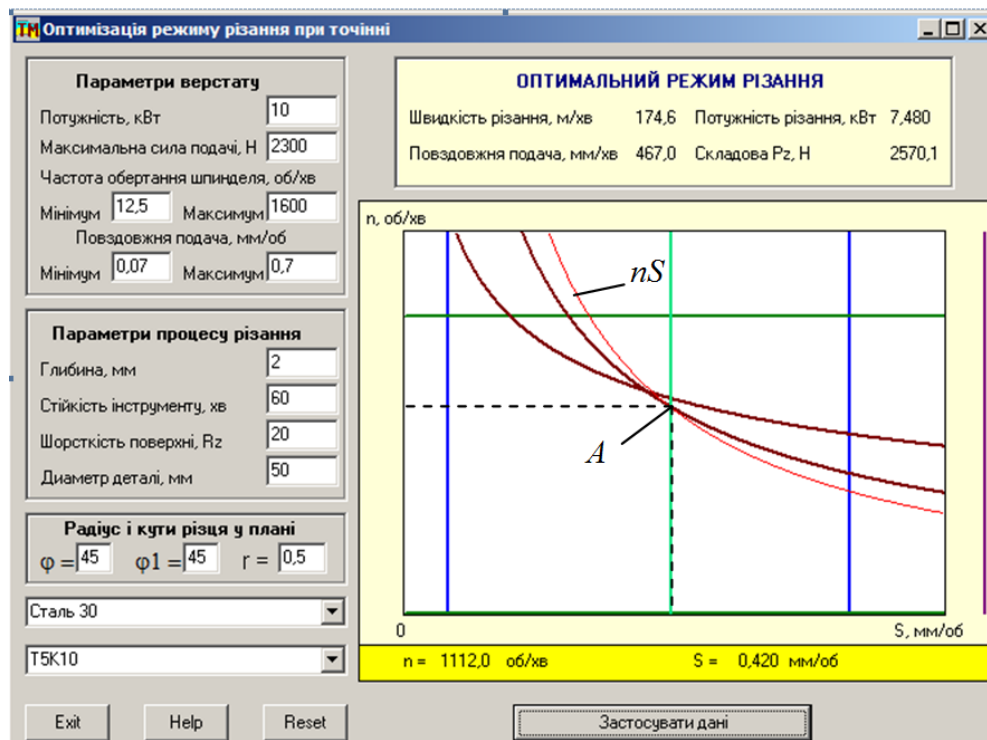


Рисунок 4.4 – Інтерфейс програми

4.3. Оптимізація режиму різання при торцевому фрезеруванні

Завдання: сформулювати задачу оптимізації, визначити критерій (або критерії), визначити управління, обмеження, цільову функцію і вирішити задачу для конкретних умов фрезерної операції розробленого технологічного процесу.

Торцеве фрезерування є найбільш розповсюдженим процесом оброблення плоских поверхонь деталей машин. У сучасному виробництві для виконання таких технологічних операцій використовують верстати з ЧПК, а технологічну підготовку виробництва здійснюють за допомогою прикладних пакетів САМ- систем.

Однак, не зважаючи на значну допомогу технологу при вирішенні завдань підготовки виробництва, такі системи, як правило, не визначають режим різання, а у кращому випадку надають можливість вибору з існуючої бази даних так званим «табличним» методом. Такі методи розраховані на використання універсальних фрезерних верстатів, тобто адаптовані до

існуючих рядів подач і частот обертання шпинделя, тоді як верстати з ЧПК зазвичай мають безперервний діапазон регулювання. В результаті призначений у більшості випадків з досвіду користувача режим різання виявляється далеким від оптимального, що значно погіршує виробничі показники.

Задача оптимізації режиму торцевого фрезерування може бути сформульована наступним чином: знайти такі невід'ємні значення управлінь – повздовжньої подачі S та частоти n обертання шпинделя, – які задовольняють всім обмеженням за якістю і обумовлюють мінімум критерію оптимальності – технологічному часу. Таким чином, задача оптимізації процесу у такій постановці відноситься до класичних однокритеріальних задач нелінійного програмування, що не мають принципових труднощів у розв'язанні. Проте, визначення системи обмежень та створення дійового, надійного і простого у використанні інструмента вирішення становлять досить актуальну задачу сучасного машинобудівного виробництва і можуть бути представлені в частині поглибленого розроблення.

Таким чином, обмеження за стійкістю інструмента і потужністю різання визначаються аналітичними залежностями із застосуванням класичної теорії різання. Проте, для визначення обмежень за шорсткістю поверхні достовірних залежностей чи рекомендацій або недостатньо, або просто немає. Для визначення такого обмеження, яке може бути одним із утворюючих областей можливих значень параметрів, що керують, у задачі нелінійного програмування доцільно розглянути схему формування шорсткості плоскої поверхні при торцевому фрезеруванні (рис. 4.5).

Аналіз геометричних побудов рис. 4.5 показує, що шорсткість поверхні формується аналогічно формуванню шорсткості поверхні при токарному обробленні, тобто зуб фрези видаляє шар матеріалу подібно токарному різцю, але висота мікронерівностей залежить не тільки від геометричних параметрів зуба фрези і режиму різання, а й відстані E від центру фрези до траєкторії вимірювання. При вимірюванні профілю шорсткості за перетином $A-A$ крок детермінованої складової дорівнює подачі на зуб фрези, тоді як для перетину $B-B$ він є значно меншим.

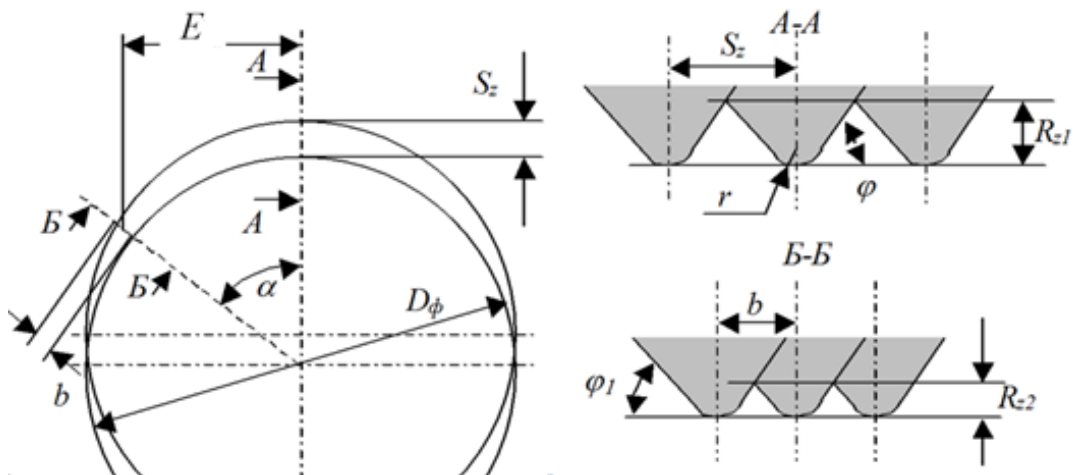


Рисунок 4.5 – Формування шорсткості поверхні

Таким чином, крім створення математичної моделі оптимізації і її вирішення, а також дослідження процесу утворення шорсткості при торцевому фрезеруванні, створення відповідної 3D моделі з використанням будь-якої CAD- системи є завданням цієї частини дипломного проєкту. Тут також можуть бути продовжені теоретичні дослідження з впливу розташування положення осі інструмента на шорсткість обробленої поверхні.

Отже, визначені завдання представляються в частині поглибленого визначення режиму різання при торцевому фрезеруванні з науковою складовою, що спирається на компетенції, набуті студентом в ході вивчення фахових дисциплін плану підготовки. Крім того, в цій частині дипломного проєкту можуть бути представлені розробки з автоматизації розрахунків за допомогою створеної прикладної програми (рис. 4.4).

4.4. Проєктування безцентрового люнета

Завдання: якщо довжина деталі, що складає тему дипломного проєкту і обробляється на токарному верстаті, у 10...12 разів більша за її діаметр, то в якості частини поглибленого розроблення можна використовувати проєкт безцентрового люнету.

Люнет є верстатним пристроєм, що забезпечує додаткову опору для заготовок, які обертаються при обробленні, і усуває прогин під дією сили різання, або власної ваги заготовки, підвищує вібросталість всієї ТОС. Люнети найчастіше застосовують при обробленні довгих маложорстких валів на

токарних, круглошліфувальних, різбошліфувальних, шліцефрезерних верстатах тощо. Люнети за способом встановлення на верстаті розділяються на нерухомі (закріплюються на напрямних верстата) і рухомі (встановлюються на супорті, каретці і переміщується разом з ними).

На верстатах з ЧПК найбільше застосування зайшли самоцентрівні люнети з гідроприводом. Такі люнети виготовляють декілька світових фірм: ROHM, Kitagama, Schunk, Sajrai Technologies та інші.

На рис. 4.6 показаний самоцентрівний люнет SMW-AUTOBLOK SLU з овальним гідравлічним поршнем. У напрямних корпусу 1 розташований повзун 2, що зв'язаний зі штоком 3 гідравлічного циліндра і містить два копії 4. З копіями 4 взаємодіють ролики поворотних важелів 5 і 6. На кінцях важелів і повзуна встановлені ролики-опори люнета 7, 8 і 9.

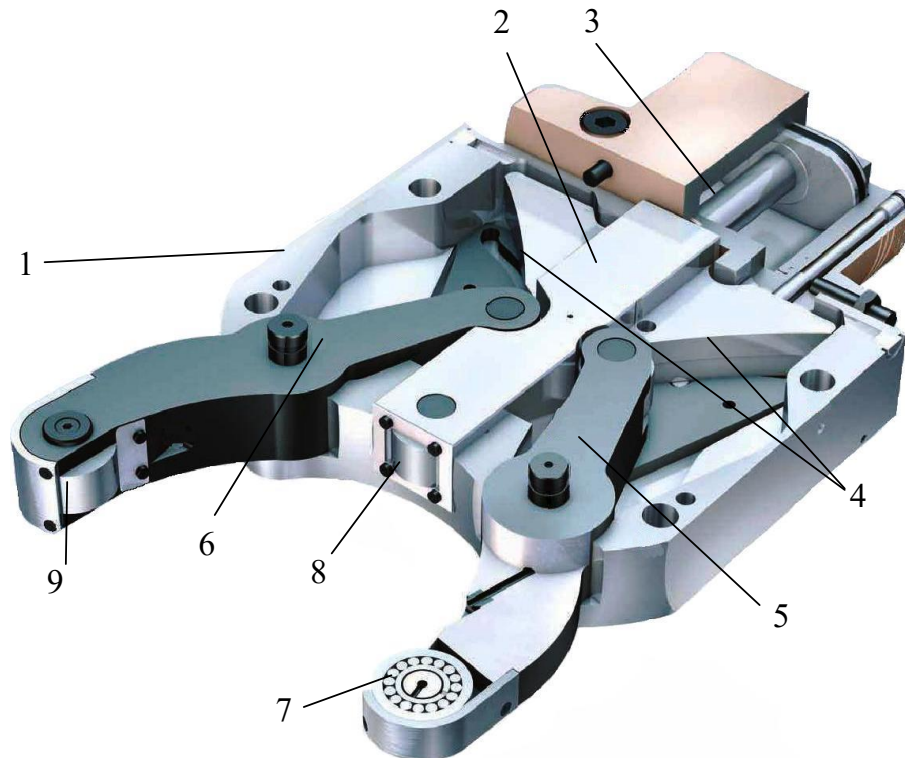


Рисунок 4.6 – Самоцентрівний люнет

Головною задачею такої частини дипломного проєкту є визначення геометричних параметрів профілю копіїв 4 люнета. Для цього можна використовувати схему рис. 4.7.

На схемі до змін діаметрів (D_{max} - D_{min}) деталі нижня частина важелів показана пунктирною лінією під час виконання функцій підтримки для D_{min} .

Один ролик контактує з деталлю, а другий – з копіром, який завдяки переміщенню першого ролика просувається вперед і змінює умови контакту з другим роликом. Так само рухається і верхня частина.

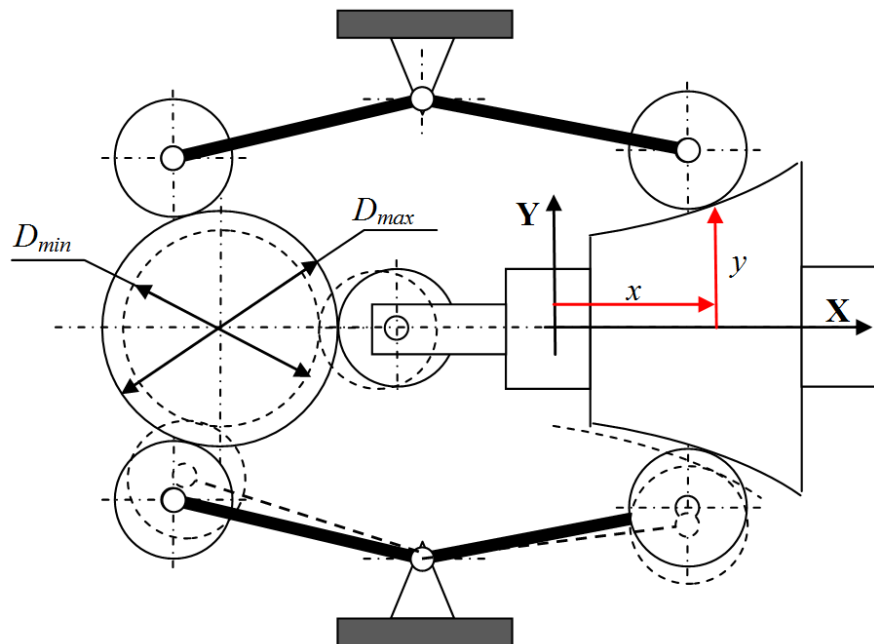


Рисунок 4.7 – Розрахункова схема

Отже, використовуючи знання і компетенції, набути при вивченні курсів нарисної геометрії, теоретичної механіки тощо, необхідно знайти функцію $y = f(x)$, за якою можна спрофілювати копір, а також виготовити його на верстаті з ЧПК. В цьому розділі бажано також представити керуючу програму в G- кодах для фрезерного верстату.

4.5. Визначення впливу частоти обертання шпинделя на силу затиску в патроні

Завдання: представити математичну модель впливу частоти обертання шпинделя на силу затиску в патроні токарного верстатf, визначити відповідність розрахунків результатам досліджень провідних фірм світу, наприклад фірм Schunk або Forkardt, представити заходи зі зменшення такого впливу.

Підвищення технічного рівня верстатів з ЧПК вимагає відповідного підвищення якості оснащення, що використовується. Тенденції розвитку

верстатів з ЧПК, окрім систем управління, полягають у підвищенні потужності, жорсткості, точності, частоти обертання шпинделя. Сучасні токарні верстати з ЧПК для використання переваг високошвидкісного оброблення оснащуються шпинделями з відповідними приводами безступінчастого регулювання, які мають верхню межу 6000 об./хв. і вище.

Однак підвищення частоти обертання шпинделя викликає збільшення відцентрових сил в патроні, що зменшує силу затиску заготовки. Так, за даними фірми Forkardt, сила затиску при частоті обертання 4000 об./хв. для патрона 3NH250 знижується майже наполовину.

На рис. 4.8 представлені графіки експериментальних залежностей фірми Schunk [19], отримані для наступних умов: лінія 1 – кулачок SHB FR-130 масою 0,4 кг, лінія 2 – кулачок SWB FR-132 масою 1,0 кг, лінія 3 – кулачок FR AL-130 масою 0,4 кг. Як видно з графіків, сила затиску для кулачка SWB FR-132 масою $m_2 = 1,0$ кг при частоті обертання шпинделя 4000 об./хв. дорівнює 32,9 кН (лінія 2), а для кулачка FR AL-130 масою $m_3 = 0,4$ кг такої ж форми, але виготовленого з алюмінію, дорівнює 40,9 кН (лінія 3).

Spannkraft-Drehzahl-Diagramm ROTA NCD 132-32

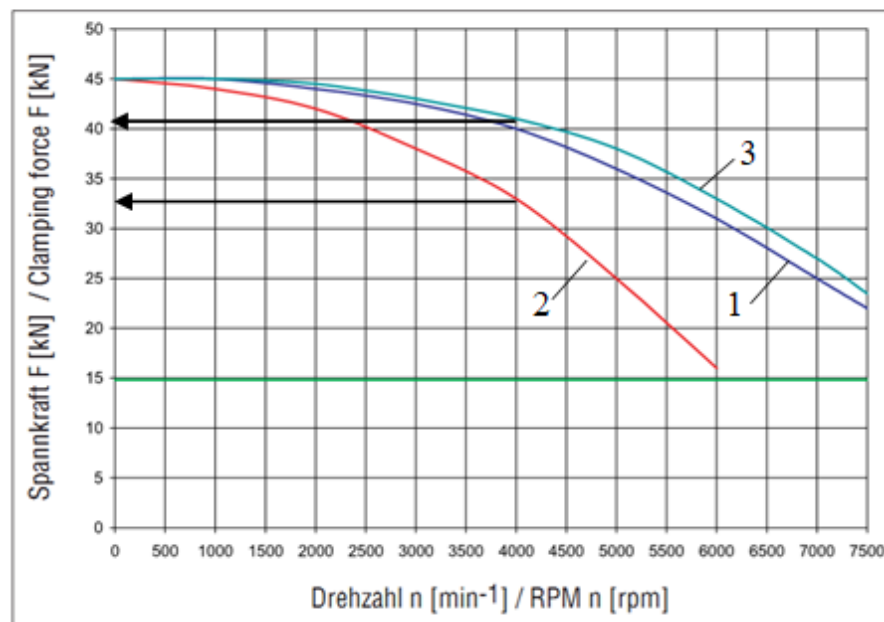
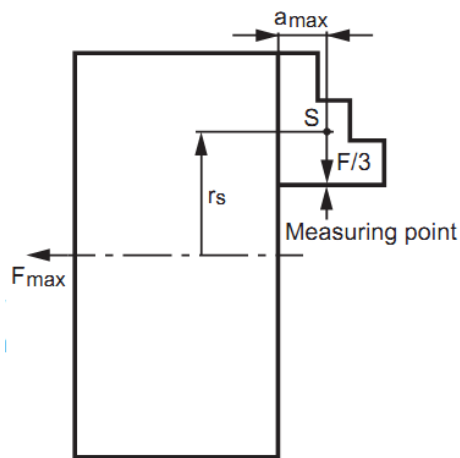


Рисунок 4.8 – Залежність сили затиску від частоти обертання шпинделя [19]

Для пояснення дії відцентрових сил в патроні токарного верстата треба розробити схему, де представити положення затискного механізму при торканні заготовки кулачком. Під дією сили F_{max} відбувається деформація всього ланцюгу передачі зусилля і механізм займає певне положення затиску. Далі необхідно скласти рівняння руху кулачка, який знаходиться під дією сили затиску з одного боку та відцентрової сили – з іншого.

Для подальших розрахунків можна скористатися схемою експериментальних вимірювань, що представлена на рис. 4.9.



$F/3$ – сила затиску на одному кулачку;

S – центр мас кулачка;

r_s – радіус центра мас кулачка,

a_{max} – відстань центра мас в осьовому напрямку;

F_{max} – сила на приводі;

Measuring point – точка вимірювань

Рисунок 4.9 – Схема експериментальних вимірювань [19]

4.6. Динамічні характеристики холостих переміщень на верстаті з ЧПК

Завдання: проектування траєкторії холостого руху при фрезеруванні заданого контуру (2D-) з використанням геометричних співвідношень. Вихідними даними є контур деталі (чи ділянка контуру), складений з прямих і дуг кола та радіус інструмента. Можуть розглядатися варіанти контурного фрезерування чи токарного оброблення. Студент має представити аналітичні залежності і кресленики еквідистанти з урахуванням особливих точок (рис. 4.10), де відсутня похідна.

Кресленик може бути перевірено в одній із CAD- систем чи в особисто розробленій програмі на одній з мов об'єктно-орієнтованого програмування.

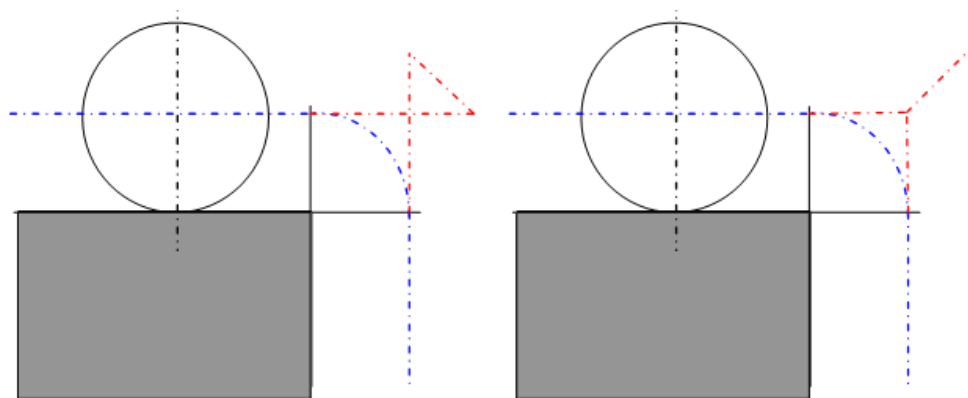


Рисунок 4.10 – Еквідистанти та технологічні траєкторії для особливої точки

При побудові геометричної еквідистанти до довільного контуру в місцях стиків примітивів при кутах більше ніж 180° виникає розрив еквідистанти – так звані особливі точки. Для отримання повної замкнутої еквідистанти траєкторія в даних точках має бути побудована. Таку траєкторію називають технологічна еквідистанта. Існує багато різноманітних варіантів побудови в особливих точках. Деякі з них наведені на рис. 4.11 (а, б – лінійна побудова; в, г – криволінійна побудова).

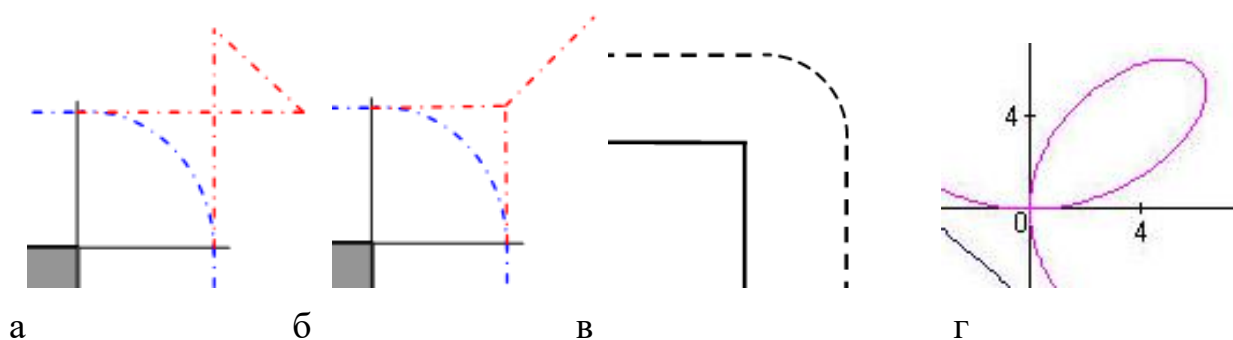


Рисунок 4.11 – Побудова траєкторій холостих рухів в особливих точках:
а – «трикутник»; б – «шпиль»; в – дуга кола; г – Декартів лист

Оскільки при виконанні рухів приводами верстата за технологічною траєкторією в особливих точках напрямок руху, як правило, змінюється, доцільно у якості критерію оптимальності прийняти динамічні характеристики такої траєкторії, а саме прискорення за осями координат. Отже, оптимальною вважається траєкторія, яка матиме найменше значення прискорення. Не менш важливим є відсутність розривів у других похідних, що завжди негативно відбивається на виконанні програми, призводить до її затримки, навіть зупинки руху та може викликати брак на оброблюваній поверхні.

Наразі в сучасних САМ- системах технолог не може вплинути на вибір технологічної еквідистанти. Цей вибір робить САМ- система автоматично без врахування недоліків чи переваг. Найпопулярнішими технологічними траєкторіями в сучасних САМ- системах є лінійні траєкторії. Але є програмні продукти, які використовують добудову в вигляді дуги кола. Очевидно, що силові, в тому числі ударні, навантаження на механізм подач верстата в різних випадках будуть різні, що може суттєво вплинути на термін експлуатації верстата, швидкість оброблення, вібрації при обробленні та якість поверхні деталі.

Таким чином, доцільно детально дослідити варіанти добудови в особливих точках. Для визначення похідних від траєкторій, які (особливо прискорення) впливають на динамічні характеристики, доцільно використовувати чисельні методи диференціювання. Проте, в представленні кривих аналітичними залежностями можна використовувати традиційний підхід диференціювання функції.

Наприклад, популярність при високошвидкісному фрезеруванні (HSM) набули траєкторії типу «петля». Застосування такої стратегії при обході особливих точок в контурному фрезеруванні, як правило, вимагає її трансформації у криві, які можуть виконувати спряження, наприклад, Декартів лист (рис. 4.12).

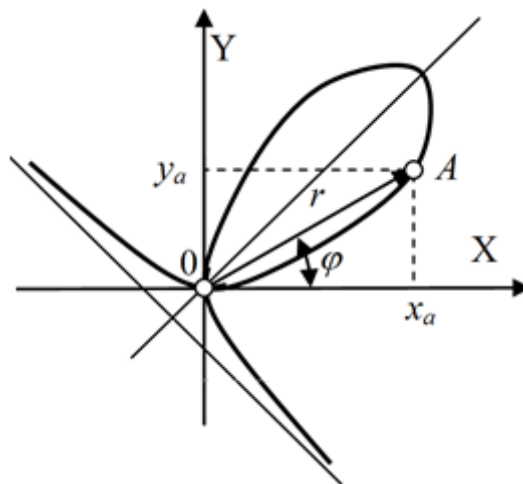


Рисунок 4.12 – Декартів лист

Траєкторію за Декартовим листом в її позитивній частині зручно представити у полярній системі координат:

$$r = \frac{3a \sin \varphi \cos \varphi}{\sin^3 \varphi + \cos^3 \varphi}, \quad (4.1)$$

де r – полярний радіус, φ – полярний кут, a – параметр кривої.

Координати будь-якої точки знаходяться за простими залежностями:

$$\begin{cases} x_a = r \cos \varphi \\ y_a = r \sin \varphi \end{cases} \quad (4.2)$$

Користуючись правилами диференціювання, можна знайти необхідні залежності швидкості і прискорення, які і визначатимуть динамічні навантаження.

В ході дослідження варіантів добудови в особливих точках траєкторії необхідно встановити, які варіанти мають найкращі динамічні параметри, тобто не мають розривів, а максимальна величина прискорення мінімальна.

4.7. Визначення подачі на рядок при фрезеруванні 3D-поверхонь

Завдання: визначити залежність геометричного параметру шорсткості при фрезеруванні 3D- поверхонь від геометричних параметрів та режиму різання.

Таке завдання може бути вирішене, якщо в дипломному проєкті була розроблена технологія виготовлення деталі, що передбачає 3D- оброблення фрезеруванням фрезою зі сферичним накінцівником, наприклад, прес-форми для виготовлення пляшок (рис. 4.13). Поверхня прес-форми обробляється на верстаті з ЧПК при русі фрези за рядками у відповідності до керуючої CNC-програми.

В умовах сучасного виробництва фрезерування на верстатах з ЧПК є однією з найпоширеніших операцій механічного оброблення. Оброблення складних 3D- поверхонь, як правило, виконується кінцевими фрезами зі сферичною вихідною інструментальною поверхнею і тому характерною особливістю 3D- фрезерування, є труднощі, які пов'язані з призначенням стратегії видалення припуску. Наявність нерівномірного розподілу припуску

вздовж оброблюваної поверхні викликає значні коливання сили різання і досить часто є причиною втрати точності та якості обробленої поверхні.

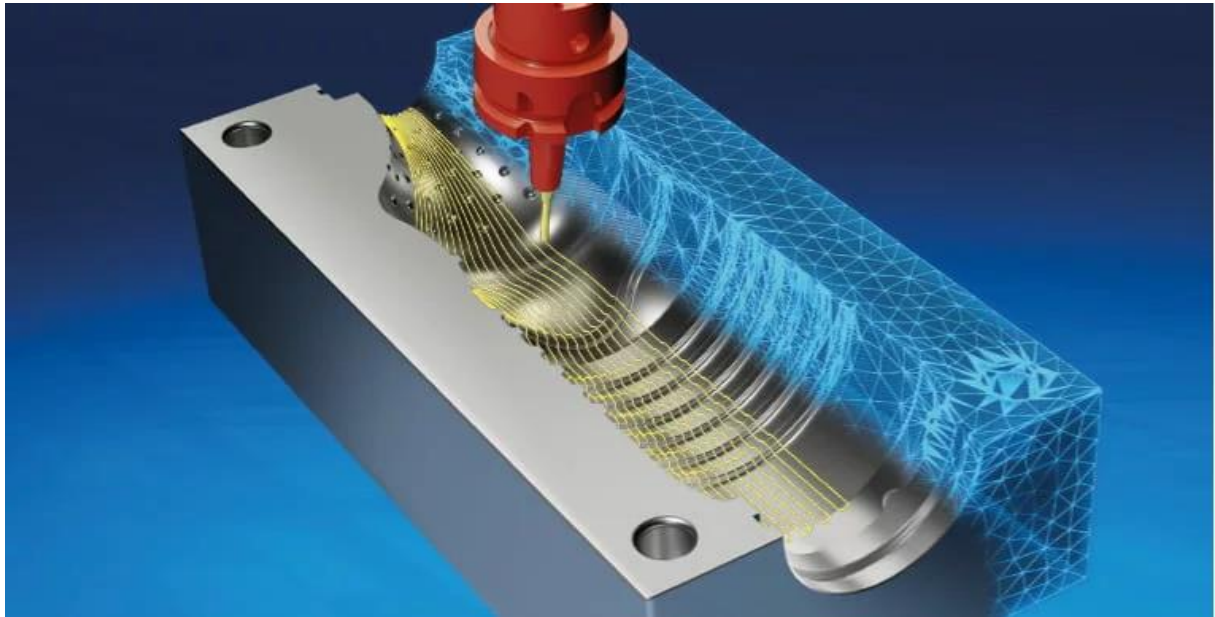


Рисунок 4.13 – Схема фрезерування прес-форми

Для програмування верстатів з ЧПК застосовуються САМ- системи, які надають можливість вибору стратегій оброблення та режиму різання. Проте, вибір стратегії та значень складових режиму різання, в тому числі подачі на рядок проходу різального інструмента, призначається, виходячи із досвіду оператора-програміста, причому надається можливість призначення постійних величин на всьому шліху формоутворюючої траєкторії. Консервативність даної методики полягає в тому, що не використовуються можливості верстатів з ЧПК щодо гнучкого регулювання складових режиму різання, тоді як умови оброблення за формоутворюючою траєкторією є змінними. При такому підході режим різання призначається за умови отримання необхідної якості при обробленні ділянок поверхні з найскладнішими умовами, що призводить до значної втрати продуктивності.

Для визначення подачі на рядок, що забезпечуватиме необхідну шорсткість оброблення (за висотою гребінця, що утворюється між сусідніми проходами інструмента), необхідно розглянути схеми формоутворення, представлені рис. 4.14. Оскільки на поверхні детермінована складова шорсткості обробленої поверхні утворюється при перетині двох сусідніх положень сферичної фрези при зміні кривизни оброблюваної поверхні.

Розв’язання такої задачі дозволить розрахувати крок зміни подачі «на рядок», що необхідно для формування програми управління формоутворенням.

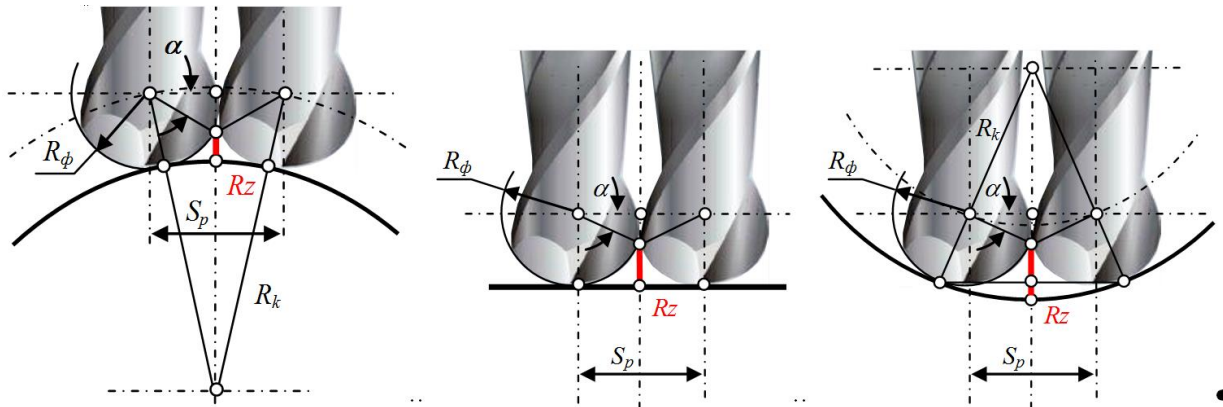


Рисунок 4.14 – Схеми формоутворення для поверхонь:

а) – опукла, б) – плоска, в) – увігнута

Оскільки центр фрези рухається за формоутворюючою траєкторією з певною подачею, то подача S_p на рядок визначається також за цією траєкторією. Отже, з геометричних співвідношень схеми за рис 4.14, користуючись знаннями з нарисної геометрії, необхідно визначити аналітичні залежності висоти Rz гребінця від параметрів процесу різання. Рекомендується радіус кривизни поверхні, яка оброблюється, у математичних залежностях приймати зі знаком «+» для опуклої поверхні і зі знаком «-» для увігнутої.

Для аналізу впливу кривизни поверхні, яка оброблюється, і радіуса фрези на висоту гребінця рекомендується, користуючись знаннями з інформатики, розробити прикладну програму моделювання. Приклад інтерфейсу такої програми представлений на рис. 4.15.

Лініями 1 представлені залежності висоти гребінця від радіуса кривизни при радіусі фрези $R_\phi = 5$ мм, лініями 2 – $R_\phi = 10$ мм, лініями 3 – $R_\phi = 15$ мм і лініями 4 – при $R_\phi = 20$ мм. Програма дозволяє змінювати величину подачі на рядок і досліджувати вплив цієї складової режиму різання на висоту гребінця.

Слід зауважити, що розрахована таким чином висота гребінця дає тільки детерміновану складову шорсткості поверхні, яка оброблюється, а для прогнозування з урахуванням випадкових складових необхідно користуватися методикою, яка представлена в роботі [15].

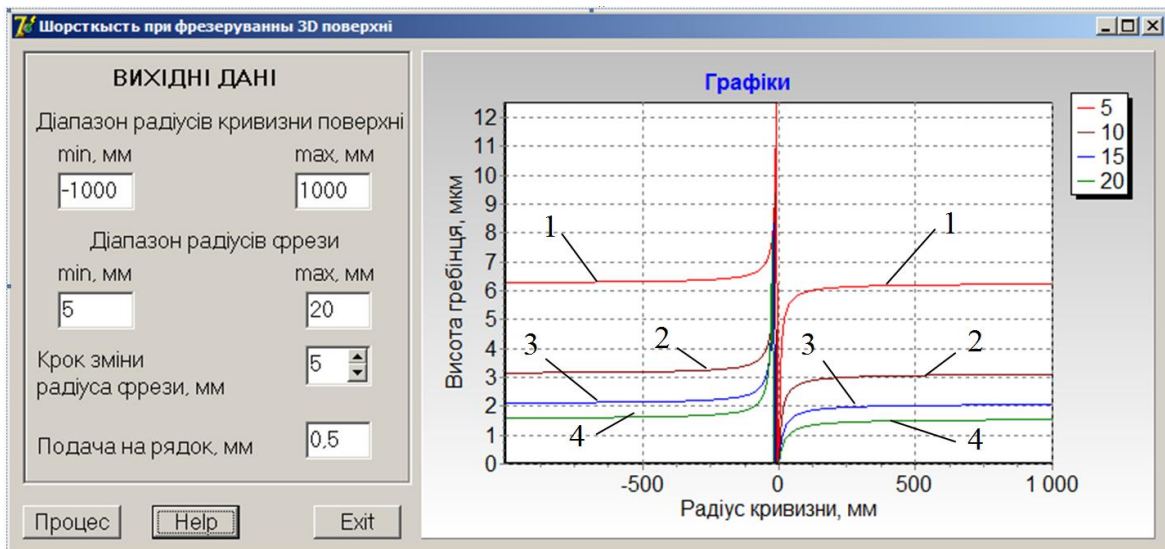


Рисунок 4.15 – Інтерфейс програми моделювання

Висновки

1. Проєктування керуючої програми для фрезерування складних 3D-поверхонь має ураховувати математичну модель формоутворення, що забезпечує задані параметри шорсткості за всією поверхнею, яка оброблюється.
2. Використання отриманих результатів гарантує підвищення продуктивності, причому виграш тим більший, чим ближче обраний діаметр фрези до максимально допустимої величини і чим більше зміна кривизни поверхні.

4.8. Визначення залежності швидкодії руки робота від маси деталі, що переноситься

Завдання: визначити залежність швидкодії і перерегулювання руки робота при повороті за однією координатою від маси деталі, що переноситься.

Таке завдання може вирішуватись, якщо в дипломному проєкті була розроблена технологія виготовлення деталі, що передбачає використання верстатів з ЧПК, об'єднаних в дільницю, або модуль, де виконання холостих рухів (завантаження, розвантаження, перенесення тощо) забезпечується роботами та промисловими маніпуляторами (рис.4.16).



Рисунок 4.16 – Роботизований модуль

В процесі вирішення такого завдання рекомендується розробити кінематичну схему приводу руху (повороту) руки робота. Система управління поворотом кожної ланки робота представляє замкнену САУ, яка управляється системою ЧПК. Функціональна схема САУ в спрощеному вигляді показана на рис. 4.17.

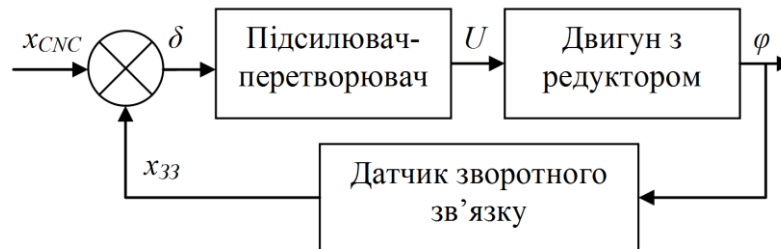


Рисунок 4.17 – Функціональна схема САУ

Вихідний кут повороту ланки забезпечується двигуном з редуктором, що входить до САУ, замкненою за кутом через датчик зворотного зв'язку з коефіцієнтом передачі k_z . Таким чином, при функціонуванні САУ за сигналом x_{CNC} , що формується системою ЧПК, порівняльним пристроєм утворюється помилка $\delta = x_{CNC} - x_{zz}$, яка через підсилювач-перетворювач виробляє напругу U , що забезпечує рух (обертання) двигуна редуктором, який повертає ланку робота на кут φ . Кут вимірюється датчиком і перетворюється на сигнал зворотного зв'язку. Так зводиться баланс в системі і кут повороту відповідає заданому сигналу.

Для вирішення завдання необхідно визначити математичну модель САУ і провести моделювання. Причому в математичну модель має входити маса деталі, також має бути враховане обмеження за максимально можливим моментом, яке існує для будь-якого реального приводу.

Передатну функцію підсилювача-перетворювача можна представити у вигляді безінерційної ланки з коефіцієнтом передачі (підсилення) k_{nn} . Двигун постійного струму, що використовується в приводах, може бути представлений передатною функцією реальної інтегруючої ланки:

$$W_o(s) = \frac{k_o}{(T_o s + 1)s}, \quad (4.3)$$

де k_o – коефіцієнт передачі двигуна, T_o – постійна часу двигуна, s – оператор Лапласа.

У відповідності зі спрощеною функціональною схемою двигун представляється разом з ланкою робота, редуктором і навантаженням – масою m_o деталі, що переноситься. В такому представленні рівняння руху має вигляд:

$$M_o = J_\Sigma \frac{d\omega}{dt}, \quad (4.4)$$

де M_o – момент двигуна; $J_\Sigma = J_o + J_n/k_p^2$ – момент інерції, приведений до валу двигуна (J_o – момент інерції ротора двигуна); $J_n = J_p + m_o r^2$ – момент інерції навантаження – сумарний момент інерції J_p плеча ланки і момент інерції від маси деталі (r – довжина плеча ланки робота); k_p – коефіцієнт передачі редуктора; ω – кутова швидкість двигуна.

З урахуванням електромеханічної характеристики двигуна постійного струму, його рівняння руху має вигляд [14]:

$$M_o = k_1 U - k_e \omega, \quad (4.5)$$

де k_1 – коефіцієнт пропорційності між моментом двигуна і напругою U живлення; k_e – коефіцієнт нахилу електромеханічної характеристики.

Таким чином, з рівнянь (4.4) і (4.5) маємо приведену (з урахуванням деталі, що переноситься) постійну часу T_{on} і коефіцієнт k_o передачі двигуна:

$$T_{on} = \frac{J_\Sigma}{k_e}, \quad k_o = \frac{k_1}{k_e}. \quad (4.6)$$

Структурна схема САУ робота утворюється з функціональної схеми (рис. 4.17) заміною найменувань елементів їх передатними функціями (рис. 4.18).

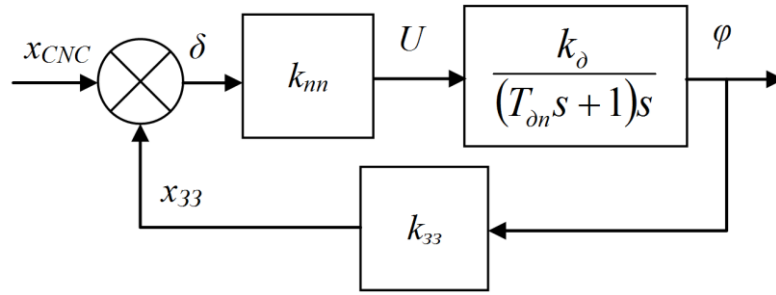


Рисунок 4.18 – Структурна схема САУ

Отже, моделювання руху ланки робота виконується з урахуванням замкненості САУ робота, що отримується зі структурної схеми за правилами перетворення структурних схем [14]:

$$W(s) = \frac{k_{nn} \frac{k_{\delta}}{(T_{\delta n}s + 1)s}}{1 + \frac{k_{nn}k_{\delta}k_{33}}{(T_{\delta n}s + 1)s}} = \frac{1/k_{33}}{\left(\frac{T_{\delta n}}{k_{nn}k_{\delta}k_{33}}s^2 + \frac{1}{k_{nn}k_{\delta}k_{33}}s + 1 \right)}. \quad (4.7)$$

Для моделювання доцільно використати модифіковану прикладну програму для визначення характеристик динамічної системи за її передатною функцією з курсу «Теорія автоматичного управління технологічними системами» [14].

Наприклад, визначення залежності швидкодії і перерегулювання можна провести моделюванням САУ ланкою робота за прикладною програмою для наступних вихідних даних:

1) двигун: момент інерції ротора $J_{\delta} = 0,12 \text{ кгм}^2$; постійна часу $T_{\delta} = 0,03 \text{ с.}$; коефіцієнт передачі $k_{\delta} = 1,8 \text{ рад./Вс}$;

2) навантаження: довжина ланки $r = 0,5 \text{ м}$; маса деталі $m_{\delta 1} = 2,5 \text{ кг}$; $m_{\delta 2} = 5 \text{ кг}$; $m_{\delta 3} = 7,5 \text{ кг}$;

3) обмеження за моментом двигуна $M_{max} = 0,5 \text{ Нм}$.

Таким чином, передбачається моделювання для трьох мас деталі, причому враховується також і маса самої руки робота через її момент інерції $J_p = 1,2 \text{ кгм}^2$, як зосередженої в середині маси.

Для отримання передатної функції САУ, придатної до моделювання в прикладній програмі, необхідно провести деякі обчислення. По-перше, визначаємо моменти інерції навантаження для трьох деталей:

$$J_{n1} = m_{o1}r^2 + J_p = 2,5 \cdot 0,5^2 + 1,6 = 1,825 \text{ кгм}^2;$$

$$J_{n2} = m_{o2}r^2 + J_p = 5 \cdot 0,5^2 + 1,6 = 2,45 \text{ кгм}^2;$$

$$J_{n3} = m_{o3}r^2 + J_p = 2,5 \cdot 0,5^2 + 1,6 = 3,075 \text{ кгм}^2.$$

По-друге, необхідно розрахувати коефіцієнт k_e нахилу електромеханічної характеристики двигуна. Для цього можна використати залежність як для двигуна без навантаження:

$$k_e = \frac{J_o}{T_o} = \frac{0,12}{0,03} = 4.$$

Звідки приведена постійна часу двигуна при коефіцієнті передачі редуктора $k_p = 4$:

$$T_{on1} = \frac{J_{\Sigma}}{k_e} = \frac{J_o + J_{n1}/k_p^2}{k_e} = \frac{0,12 + 1,825/4^2}{4} = 0,0585 \text{ с};$$

$$T_{on2} = \frac{J_{\Sigma}}{k_e} = \frac{J_o + J_{n2}/k_p^2}{k_e} = \frac{0,12 + 2,45/4^2}{4} = 0,0683 \text{ с};$$

$$T_{on3} = \frac{J_{\Sigma}}{k_e} = \frac{J_o + J_{n3}/k_p^2}{k_e} = \frac{0,12 + 3,075/4^2}{4} = 0,078 \text{ с}.$$

Тепер, при коефіцієнті підсилювача-перетворювача $k_{nn} = 32$ і коефіцієнті зворотного зв'язку $k_{33} = 1$ за залежністю (4.7) можна визначити передатні функції САУ руки робота. Таких передатних функцій буде три, у відповідності до прийнятої задачі моделювання для трьох деталей різної маси:

$$W_1(s) = \frac{1/k_{33}}{\frac{T_{on1}}{k_{nn}k_o k_{33}}s^2 + \frac{1}{k_{nn}k_o k_{33}}s + 1} = \frac{1}{\frac{0,0585}{32 \cdot 1,8 \cdot 1}s^2 + \frac{1}{32 \cdot 1,8 \cdot 1}s + 1} = \frac{1}{0,001016s^2 + 0,01736s + 1};$$

$$W_2(s) = \frac{1/k_{33}}{\frac{T_{on2}}{k_{nn}k_o k_{33}}s^2 + \frac{1}{k_{nn}k_o k_{33}}s + 1} = \frac{1}{\frac{0,0683}{32 \cdot 1,8 \cdot 1}s^2 + \frac{1}{32 \cdot 1,8 \cdot 1}s + 1} = \frac{1}{0,001186s^2 + 0,01736s + 1};$$

$$W_3(s) = \frac{1/k_{33}}{\frac{T_{on3}}{k_{nn}k_o k_{33}}s^2 + \frac{1}{k_{nn}k_o k_{33}}s + 1} = \frac{1}{\frac{0,078}{32 \cdot 1,8 \cdot 1}s^2 + \frac{1}{32 \cdot 1,8 \cdot 1}s + 1}$$

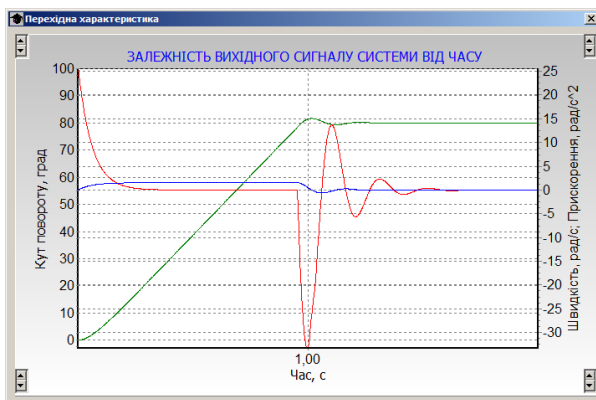
$$\frac{1}{0,001354s^2 + 0,01736s + 1}.$$

На рис. 4.19 показаний інтерфейс програми моделювання, яка була модифікована з програми визначення характеристик за їх передатними функціями.

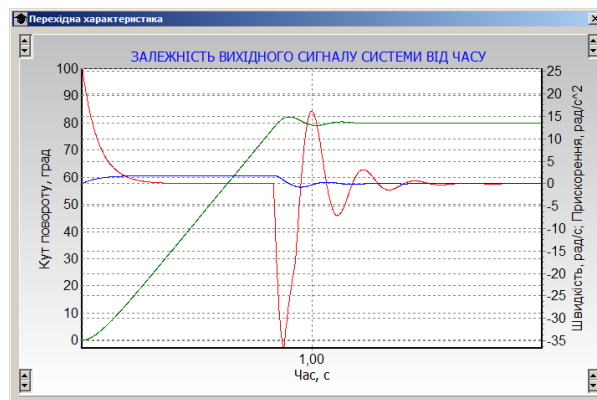
Рисунок 4.19 – Інтерфейс програми моделювання

Результати моделювання при обмеженні САУ за моментом (потужністю) $M_{max} = 1,5$ Нм представлені на рис. 4.20.

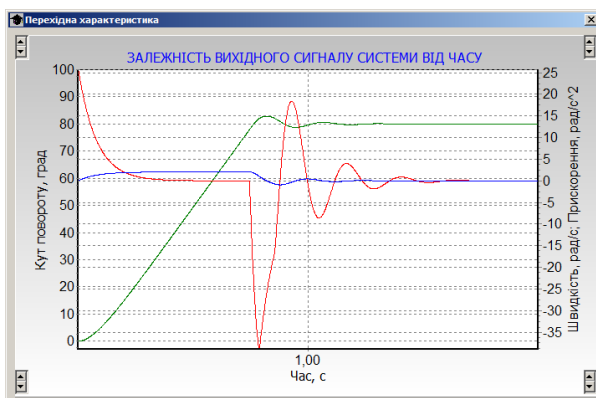
Далі необхідно провести аналіз отриманих результатів, за критеріями оцінки якості перехідних процесів визначити швидкодію, відносно перерегулювання тощо. Бажано розширити межі експерименту як в кількісному, так і у якісному плані, тобто збільшити діапазон мас деталей, що досліджувались, спробувати визначити якість регулювання при зміні моменту, який обмежує потужність двигуна тощо.



а)



б)



в)

Рисунок 4.20 – Результати моделювання руху руки робота (зелена лінія – кут повороту, синя лінія – швидкість, червона лінія – прискорення) при: а) маса деталі 2,5 кг; б) маса деталі 5 кг; в) маса деталі 7,5 кг

4.9. Інструментальне забезпечення виготовлення внутрішніх евольвентних шліців

Завдання: відповідно до рис. 4.21 спроектувати інструмент для оброблення евольвентних внутрішніх шліців 65x2,5x11Н.

Таке завдання може вирішуватись, якщо в дипломному проєкті була розроблена технологія виготовлення деталі, що в своїй конструкції містить шліцьові з'єднання.

Для початку проєктування необхідно визначити основні конструктивні розміри елементів внутрішніх евольвентних шліців, показаних на рис. 4.21. Розрахунки зведені в табл. 4.1.

Умовне позначення отвору	65x2,5x11H	
Модуль	<i>m</i>	2,5
Число зубців	<i>z</i>	24
Кут профіля зуба	<i>L</i>	30°
Зміщення вихідного контуру	<i>Xm</i>	+1,125
Діаметр ролика	<i>Dm</i>	4,5
Розмір між роликами	<i>Mi</i>	55,552
Номінальна ділительна окружна товщина зуба	-	5,226
Ділительна окружність ширина западини втулки	<i>e</i>	5,226
Діаметр ділительної окружності	<i>d</i>	60

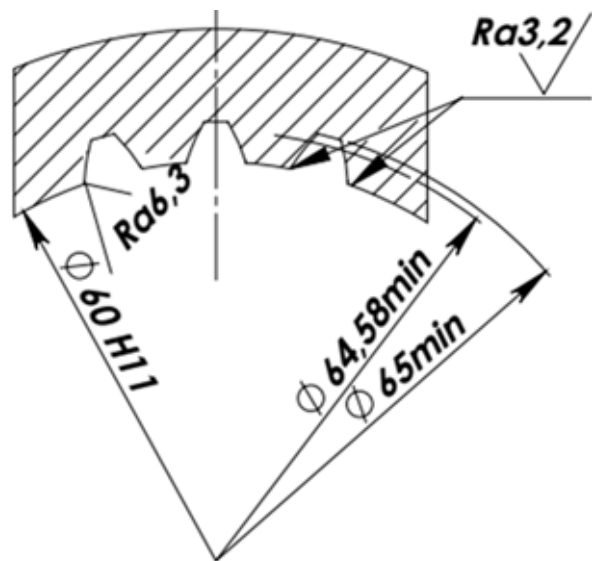


Рисунок 4.21 – Основні елементи евольвентної шліцевої втулки 65x2,5x11H

Таблиця 4.1 – Основні конструктивні розміри елементів внутрішніх евольвентних шліців

Назва параметру	Величина параметру
Модуль	$m = 2,5$
Кількість зубів шліців	$z = 24$
Кут профілю вихідного контуру	$\alpha = 30^\circ$
Ділительний коловий крок зубів	$P = \pi \cdot m = 3,14 \cdot 2,5 = 7,85$
Діаметр ділительного кола, мм	$d = m \cdot z = 2,5 \cdot 24 = 60$
Діаметр основного кола, мм	$d_0 = m \cdot z \cdot \cos \alpha = 51,962$
Висота ніжки зуба шліца, мм	$H_f = 0,77 \cdot m = 1,925$
Висота головки зуба шліців, мм	$H_a = 0,45 \cdot m = 1,125$
Висота шліца, мм	$H = H_a + H_f = 3,05$
Радіус кривизни перехідної кривої зуба, мм	$\rho_{min} = 0,15 \cdot m = 0,375$
Номінальний діаметр з'єднання, мм	$D = 65$
Діаметр кола западини втулки, мм	$D_{fmin} = D + 0,44 \cdot m = 66,1$
Діаметр кола вершин зубів втулки, мм	$D_a = D - 2m = 60$
Зміщення вихідного контуру	$x = \frac{1}{2m} (D - m \cdot z - 1,1m) = 0,45$

Таблиця 4.1 – Основні конструктивні розміри елементів внутрішніх евольвентних шліців (продовження)

Номінальна ширина впадини втулки на ділильному колі, мм	$e = 0,5 \cdot \pi \cdot m + 2 \cdot x \cdot m \cdot \tan \alpha = 5,226$
Відхилення ширини западини втулки по полю допуску 11Н, мкм	$ES=+160$ $EI=+60$
Граничні розміри товщини западини на ділильному колі, мм	$e_{max} = e + ES = 5,386$ $e_{min} = e + EI = 5,286$
Діаметр кола граничних точок евольвенти зуба, мм	$D_1 = 64,58$

4.9.1. Розрахунок основних параметрів довбача

Визначаємо кількість зубів довбача: для цього необхідно вибрати значення, яке б не мало спільних множників з числом зубів шліцевої втулки для того, щоб в процесі оброблення всі зуби довбача приймали участь у формоутворенні, а не тільки окремі зуби, які попадали б в одну й ту саму западину шліцевої втулки.

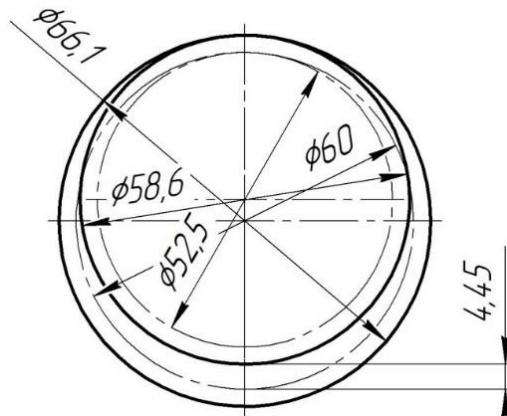


Рисунок 4.22 – Визначення можливості оброблення втулки довбачем $Z=21$.

Обираємо кількість зубів довбача $Z=21$ і графічно перевіряємо можливість обробки таким довбачем з умови розташування внутрішнього зачеплення (рис.4.22), де ділильний діаметр довбача

$$d_1 = m \cdot z_1 = 52,5 \text{ мм.}$$

За проведеними графічними побудовами обробка можлива, так як залишається зазор (рис. 4.22) між зубцями втулки і вершинами зубів довбача на величину 4,45 мм, що є достатнім.

Вихідна інструментальна поверхня довбача для обробки евольвентної поверхні є евольвентна поверхня з основним радіусом, що вираховується за наступною залежністю:

$$rb_1 = 0,5 \cdot d_1 \cdot \cos \alpha = 20,568 \text{ мм.}$$

Відповідно рівняння проєкції евольвентного профілю довбача запишеться наступним чином [15]:

$$\begin{aligned} w &= \frac{0,5 \cdot \pi \cdot m - 2 \cdot m \cdot x \cdot \tan \alpha_n + \Delta S}{2 \cdot r_d}; \\ \Theta &= \tan \alpha_n - \alpha_n; \\ w_0 &= w - \Theta; \\ w_y &= w_0 + \tan \left(\arccos \left(\frac{r_b}{r_i} \right) \right) - \arccos \left(\frac{r_b}{r_i} \right); \\ x_e &= r_i \cdot \sin w_y; \\ y_e &= r_i \cdot \cos w_y, \end{aligned} \tag{4.8}$$

де x_e , y_e – координати точок евольвентного профілю, S – товщина зуба на ділильному колі, r_i – радіус точки евольвенти, що розглядається.

За залежностями (4.8) були побудовані профілі евольвентних шліців по розрахунковим даним (рис. 4.21) та профіль довбача, для якого параметри радіусів точок були наступні: $ra_1 = 29,3$, $rf_1 = 25$, товщина зуба на ділильному колі складала 5,386 мм. Результати побудови профілів в зачепленні показано на рис. 4.23.

Наступним етапом перевірки є обкатка утвореним профілем довбача і порівняння отриманого профілю втулки з номінальним для визначення правильності параметрів вихідної інструментальної поверхні довбача. Рівняння для визначення спряженого профілю втулки з довбачем наведені в [15], розрахункова схема – на рис. 4.24.

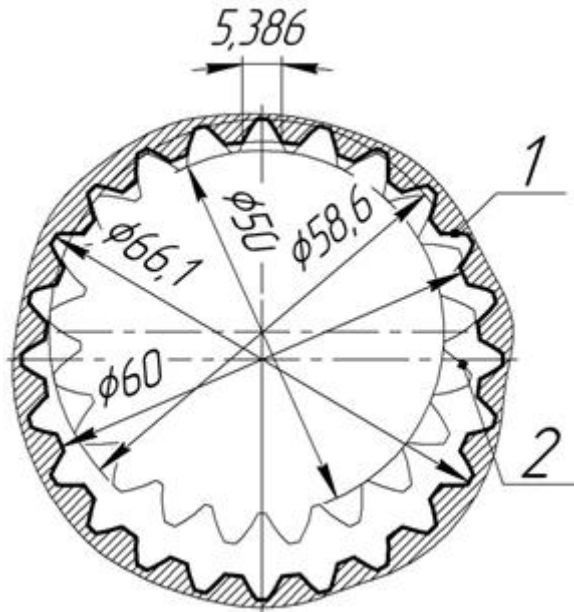


Рисунок 4.23 – Зачеплення профілю шліцевої втулки та довбача:
1 – профіль втулки; 2 – профіль довбача

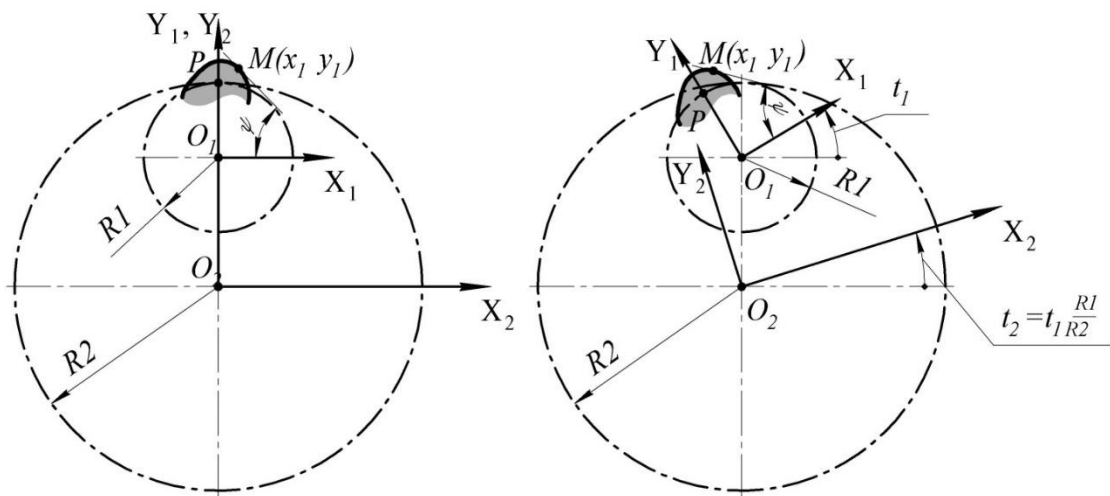


Рисунок 4.24 – Схема зачеплення
при обкочуванні внутрішнього зачеплення кола по колу

$$\begin{aligned}
 X_2 = & (X_1 \cos t_1 - Y_1 \sin t_1) \cos \left(t_1 \frac{R_1}{R_2} \right) \\
 & + (R_2 - R_1 + Y_1 \cos t_1 + X_1 \sin t_1) \sin \left(t_1 \frac{R_1}{R_2} \right);
 \end{aligned}
 \tag{4.9}$$

$$\begin{aligned}
Y_2 = & (-X_1 \cos t_1 \\
& + Y_1 \sin t_1) \sin \left(t_1 \frac{R_1}{R_2} \right) + (R_2 - R_1 + Y_1 \cos t_1 \\
& + X_1 \sin t_1) \cos \left(t_1 \frac{R_1}{R_2} \right); \\
t_1 = & \arcsin \left(\frac{Y_1 \sin \psi + X_1 \cos \psi}{R_1} \right) - \psi,
\end{aligned}$$

де R_1, R_2 – радіуси обкату довбача та втулки; X_l, Y_l – координати точок профілю довбача; ψ – кут нахилу дотичної до профілю довбача в точках X_l, Y_l ; t_l – розв’язок рівняння контакту; X_2, Y_2 – координати спряжених точок профілю втулки при обкаті його довбачем.

Використовуючи залежності (4.9) та програмне забезпечення Scilab, за результатами розрахунків отримано рисунок формоутворення западини внутрішнього зачеплення втулки зубом довбача (рис. 4.25, рис. 4.26).

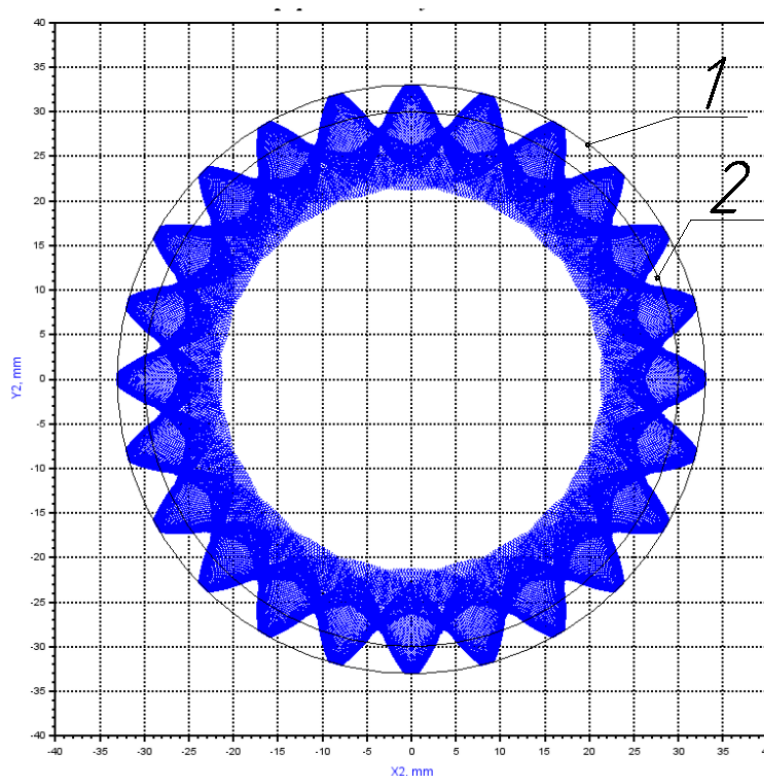


Рисунок 4.25 – Зворотна обкатка довбачем $Z=21$ внутрішнього зачеплення $Z=24$ по повному профілю:

1 – діаметр западин втулки; 2 – діаметр вершин втулки

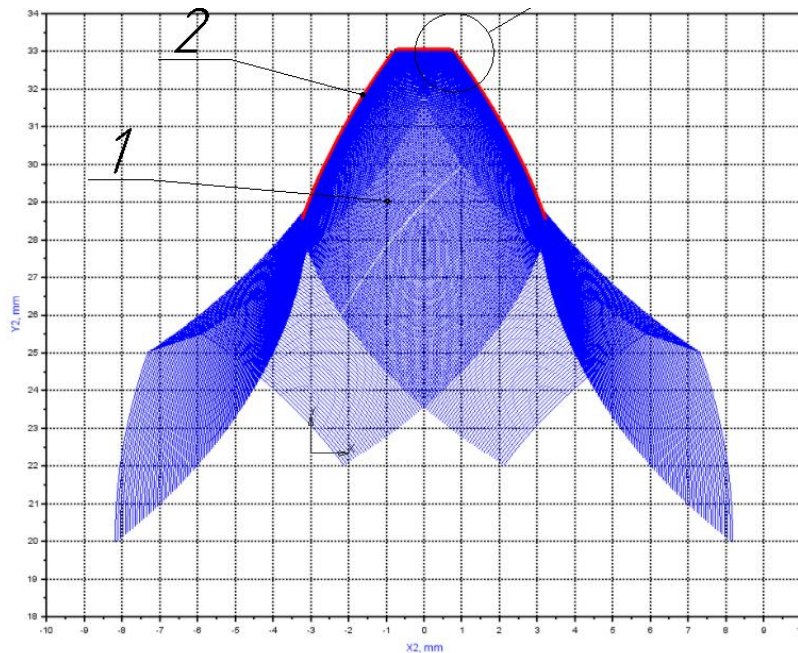


Рисунок 4.26 – Зворотна обкатка довбачем $Z=21$ внутрішнього зачеплення $Z=24$ однієї западини:

1 – послідовні положення профілю довбача; 2 – огинаюча

В результаті аналізу виявлено, що бічна евольвентна сторона втулки на ділянці западини переходить у вершинну частину через перехідну криву (рис. 4.27). Таким чином відбувається зменшення висоти робочої частини, цей діаметр регламентується відповідним стандартом і для даного шліцевого евольвентного з'єднання становить не менше 64,58 мм. Було розраховано розміри перехідної кривої і визначено діаметр переходу евольвентної бічної кривої в перехідну криву при обробленні вихідної інструментальної поверхні розрахованого довбача (рис. 4.28).

За результатами розрахунків значення цього діаметру становить 66,016 мм (рис. 4.28) і, таким чином, воно більше, ніж мінімально допустиме значення 64,58 мм, що означає – вихідна інструментальна поверхня розрахованого довбача придатна для оброблення даної шліцевої втулки.

Для розробки кресленика довбача і визначення основних конструктивних параметрів скористаємося стандартом «Довбачі зуборізні чистові для валів і отворів шліцевих з'єднань з евольвентним профілем». Конструкція довбача відповідає типу 2 – чашковий довбач, які рекомендуються для довбачів з діаметром ділильного кола 50 мм (рис. 4.29).

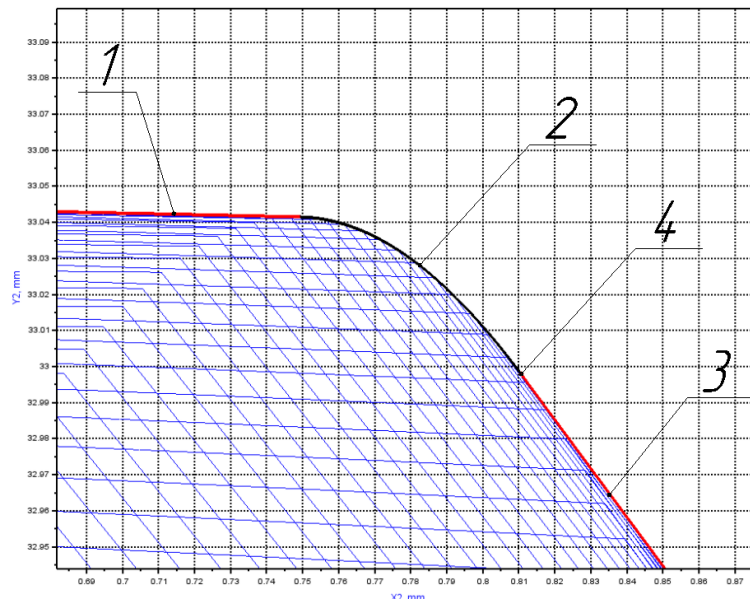


Рисунок 4.27 – Перехідна крива западини:

1 – огибаюча від вершинної ділянки зуба довбача; 2 – перехідна крива западини; 3 – огибаюча евольвентної бічної сторони; 4 – гранична точка евольвентної кривої бічної сторони

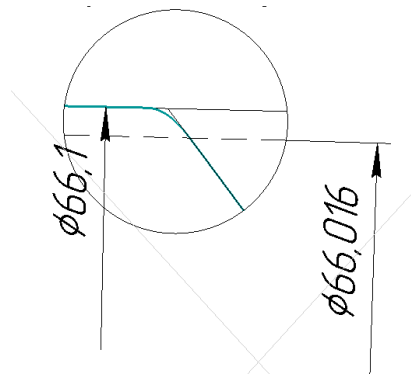


Рисунок 4.28 – Визначення максимального діаметра евольвентної частини бічної сторони втулки

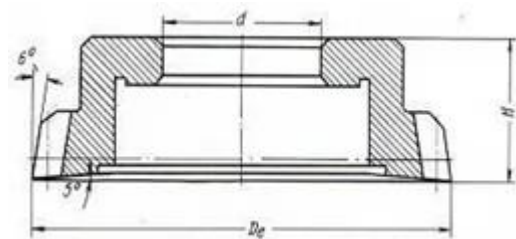


Рисунок 4.29 – Конструктивні параметри довбача

Для розрахунку конструкції необхідно визначити вихідний контур довбача, так як він корегує вихідний контур довбача. Приймаємо передній кут $\gamma=5^0$, задній кут при вершині $\alpha=6^0$, тоді кут вихідного контуру довбача розраховується за наступною залежністю:

$$a = \arctan\left(\frac{\tan(\alpha_\delta)}{1 - \tan(\alpha_v) \tan(\gamma_v)}\right) = 30,23 = 30^0 14'.$$

Значення $30^0 14'$ приймаємо за кут профілю вихідного контуру довбача.

Також необхідно визначити максимально допустиме значення висоти переточування довбача, при якому він вважається придатним до оброблення даної шліцевої втулки, на кресленику він позначається як «вихідний переріз»:

$$a_c = \frac{(\text{inv } \alpha_\delta - \text{inv } \alpha_c)(d_\delta - d_{\delta u})}{2 \tan \delta_s} = 3,75.$$

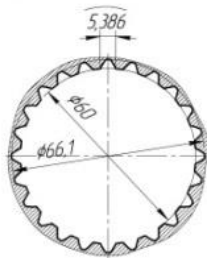
Це значення приймаємо за номінальне.

4.9.2. Приклади оформлення графічної частини по проєктуванню довбача

Відповідно до розрахованих і прийнятих розмірів довбача оформлюємо робочий кресленик, представлений нижче. В якості інструментального матеріалу приймаємо швидкорізальну металопошкову сталь Р6М5К5МП.

Дані про виріб: евольвентне шліцеве з'єднання
65x2,5x11H

Умовне позначення з'єднання по ГОСТ 6033-80	65x2,5x11H
Модуль	m 2,5
Число зубів	z 24
Кут профілю зуба	α 30°
Довжина внутрішньої контури	Lm +1,125
Діаметр розіски	Dm 65
Розмір між розісками	MS 65,652
Номінальна діаметральна окружна товщина зуба	- 5,226
Діаметральна окружність, нормована за діаметром розіски	a 5,226
Діаметр дієвляної окружності	d 60

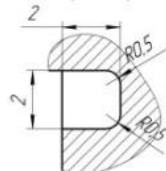


√Ra3,2 (✓)

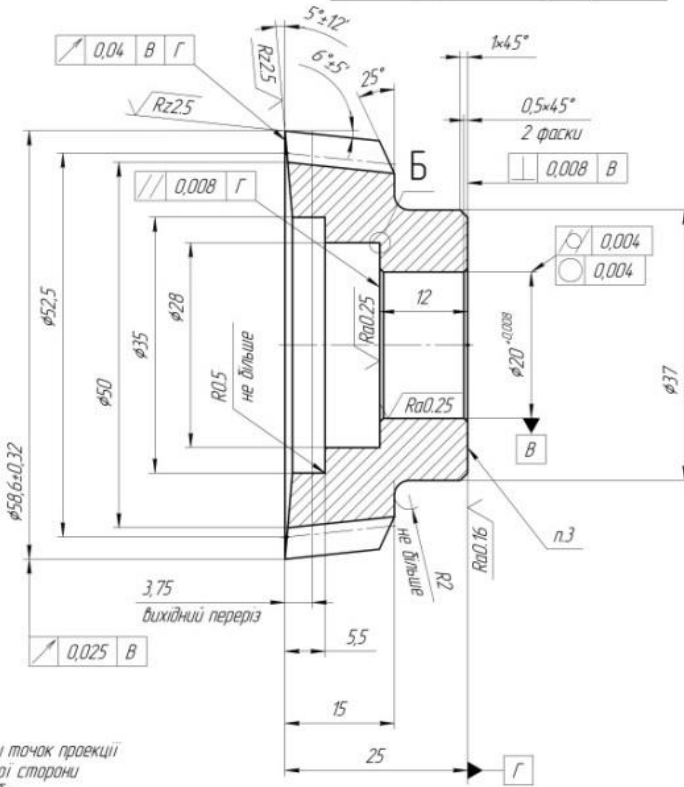
Модуль нормальний	m	2,5
Кут профілю нормальний	α _n	30°14'
Кут профілю в проекції на торцеву площину додавача	α _s	30°
Кількість зубів	Z ₁	21
Дієвляний діаметр	d _f	52,5
Діаметр западин	d ₁	50
Відхилення профілю	f _{ro}	0,0125
Відхилення висоти голови зуба	f _{hso}	±0,04
Різниця сусідніх колових кроків	f _{so}	0,008
Накопичена похибка колового кроку	F _{ro}	0,025

ДП МТ91.006

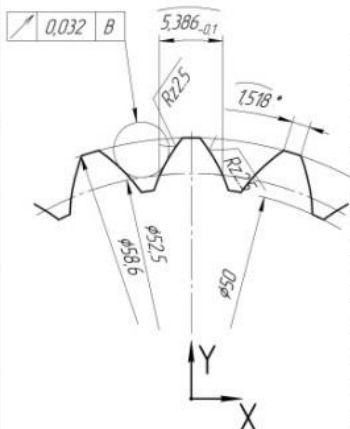
Б(10:1)



A



A(4:1)



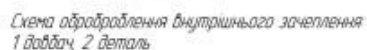
Координати точок проекції
правої бічної сторони
профілю зуба

№	X	Y	№	X	Y
1	3,189	24,796	26	2,194	27,105
2	3,16	24,808	27	2,144	27,197
3	3,13	24,98	28	2,092	27,289
4	3,099	25,073	29	2,04	27,381
5	3,067	25,165	30	1,987	27,473
6	3,034	25,257	31	1,933	27,565
7	3	25,35	32	1,878	27,657
8	2,966	25,442	33	1,822	27,748
9	2,93	25,534	34	1,766	27,84
10	2,894	25,627	35	1,709	27,931
11	2,856	25,719	36	1,651	28,023
12	2,818	25,812	37	1,592	28,114
13	2,779	25,904	38	1,533	28,205
14	2,739	25,997	39	1,473	28,296
15	2,698	26,089	40	1,412	28,387
16	2,657	26,182	41	1,35	28,478
17	2,614	26,274	42	1,287	28,569
18	2,571	26,367	43	1,224	28,66
19	2,527	26,459	44	1,16	28,75
20	2,482	26,552	45	1,095	28,84
21	2,436	26,644	46	1,029	28,931
22	2,389	26,736	47	0,963	29,021
23	2,342	26,829	48	0,896	29,111
24	2,294	26,921	49	0,828	29,201
25	2,244	27,013	50	0,759	29,29

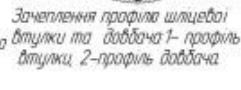
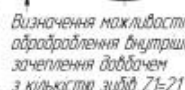
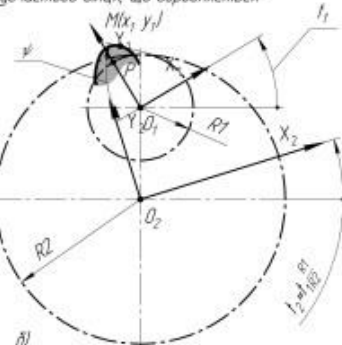
- 1 HRCe 62..66.
- 2 ДСТУ ISO 2768-mK
- 3 Маркування: 65x2,5x11H Z21 α30° B.
- 4 На різальних кромках не допускається припай та бездуглицевий шар.
- 5 . Всі інші технічні умови додавача по ГОСТ 6762-79.
- 6 * Розміри для довідок.

ДП МТ91.006					
Лист	№ докум.	Листів	Лист	Додавач для евольвентного шліцевого з'єднання 65x2,5x11H	Лист
1	1	1	1	21	1
Лист	2	Листів	2	Сталь Р6МСК5Н1	2
Копіювати	Формат	A2			

Mod N^0 ramifiziert	Mod N^0 unramifiziert	Reste und N^0	Mod N^0 stabil	Mod N^0 invariant
-----------------------	-------------------------	-----------------	------------------	---------------------



Подметают эффе́ктивного́ бонца́ шо одбо́бляється

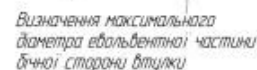
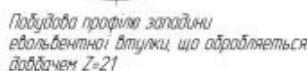
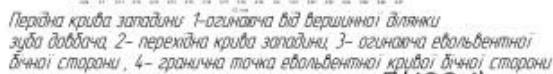
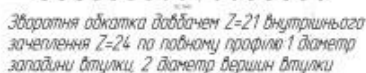
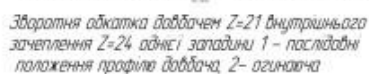


$$\begin{aligned} X_2 &= (N_1 \cos \alpha_1 - F_1 \sin \alpha_1) \cos(\beta_1) + (R/2 - R/1 + F_1 \cos \alpha_1 + X_1 \sin \alpha_1) \sin(\beta_1) \frac{R/1}{R/2} \\ F_2 &= (-X_1 \cos \alpha_1 + F_1 \sin \alpha_1) \sin(\beta_1) + (R/2 - R/1 + F_1 \cos \alpha_1 + X_1 \sin \alpha_1) \cos(\beta_1) \frac{R/1}{R/2} \end{aligned}$$

$$t_1 = \arcsin\left(\frac{Y_1 \sin \psi' + X_1 \cos \psi'}{R_1}\right) - \psi'$$

Схема формоутворення при обробленні внутрішнього зачеплення: а) початковий стан; б) додільний стан системи в русі; де де R_1, R_2 – радіуси одитку додбача та втулки, x_1, y_1 – координати точок профілю додбача; ψ – кут нахилу дотичної до профілю додбача в точках x_1, y_1 ; i – розв'язок рівняння контакту, x_2, y_2 – координати спряжених точок профілю втулки при одитку його додбачем.

Збільшення об'єкта перевірки повільності змінених параметрів дослідження



Діаметр кола граничних точок евольвентів зуба
D1=64,58< отримане значення D1=66,01%
умова виконється, ВП1 додочка додаткової
для оброблення даної вилучки

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1. Загальні визначення

В ході дипломного проектування необхідно розрахувати собівартість продукції. Собівартість продукції - це витрати на її виробництво та продаж, виражені готівкою. Вона включає оцінку цінності природних ресурсів, сировини, матеріалів, палива, енергії, основних активів, робочих ресурсів, що використовуються у виробничому процесі, а також інші витрати на виробництво та продаж продукції споживачеві.

Собівартість продукції включає предмети прямих витрат, які мають пропорційний взаємозв'язок з обсягом виробничої продукції. Прямі витрати включають грошові витрати на основні матеріали, придбані компоненти підрозділів та напівфабрикату, паливо та енергію для технологічних потреб, витрати на працю основних виробничих працівників, забезпечення виробництва продукції та зносу спеціального технологічного обладнання та інструментів.

Статті непрямих витрат, що входять до вартості, не мають пропорційного зв'язку з обсягом виробництва і включаються до вартості певного типу продукту відповідно до попередньо встановленої функції. Непрямі витрати - це загальні виробничі витрати, включаючи витрати на утримання та експлуатацію обладнання та цехові витрати, загальні бізнес та комерційні витрати.

У процесі вирішення проблеми необхідно надати початкові дані, розрахунки прямих та непрямих статей витрат, розрахунку вартості щорічної програми та одиниць продукції.

Наприкінці розділу необхідно надати аналіз структури вартості виробництва та відповідних висновків щодо резервів його зменшення.

5.2. Методика розрахунку собівартості

Для розрахунку собівартості продукції мають бути визначені вихідні дані, що стосуються запропонованої технології виготовлення, а також вихідні дані загального характеру, що стосуються машинобудівних підприємств України.

Розрахунок витрат B_m на основні матеріали за вирахуванням зворотних відходів здійснюється за формулою:

$$B_m = [m_d \cdot C_m - (m_z - m_d) \cdot C_{\text{відх}}] \cdot n, \quad (5.1)$$

де m_d – маса деталі, кг;

m_z – маса заготовки, кг;

C_m – ціна матеріалу, грн;

$C_{\text{відх}}$ – ціна відходів матеріалу, грн;

n – програма випуску.

Витрати на технологічну енергію $B_{\text{те}}$ (у тому числі термообробка деталі) визначаються виходячи з норми її витрати та ціни на технологічну енергію за формулою:

$$B_{\text{те}} = q_{\text{нв}} \cdot m_d \cdot C_e \cdot n, \quad (5.2)$$

де $q_{\text{нв}}$ – норма витрат технологічної енергії, кВт·год./кг;

C_e – ціна енергії (приймається за заводськими даними), грн/кВт·год.

Амортизаційні витрати B_o на обладнання, розраховуються за формулою:

$$B_o = A_v \cdot t_{\text{шт.-к.}} \cdot n \quad (5.3)$$

де A_v – амортизаційна вартість верстато-хвилини,

$t_{\text{шт.-к.}}$ – штучно-калькуляційний час оброблення деталі на верстатах.

Витрати на інструмент можуть бути визначені у відсотках від амортизаційних витрат на обладнання. Такі дані приймаються за заводськими даними та можуть бути уточнені в разі використання унікального, дороговартісного інструменту.

Витрати за основною заробітною $V_{озп}$ платою робітників визначаються в залежності від витраченого часу на оброблення деталі:

$$V_{озп} = (1 + k_d) \cdot \frac{s_{год}}{60} \cdot t_{шт.-к.} \cdot n, \quad (5.4)$$

де k_d – коефіцієнт доплат, пов'язаний з виконанням виробничого завдання, за заводськими даними, але не більше 0,4;

$s_{год}$ – погодинна тарифна ставка робітника в залежності від розряду складності роботи.

Витрати $V_{дзп}$ на додаткову заробітну плату, що пов'язані з технологічним підготовленням виробництва, можуть бути розраховані як відсоток від основної заробітної плати:

$$V_{дзп} = V_{озп} \cdot \frac{H_{взп}}{100}, \quad (5.5)$$

де $H_{взп}$ – норма відрахувань додаткової заробітної плати.

Витрати $V_{сп}$, пов'язані з відрахуванням на соціальні потреби, розраховуються у відсотках від основної і додаткової заробітної плати разом:

$$V_{сп} = (V_{озп} + V_{дзп}) \cdot \frac{H_{сп}}{100}, \quad (5.6)$$

де $H_{сп}$ – норма відрахувань на соціальні потреби.

Загальновиробничі і загальногосподарські витрати визначаються як дотичні, накладні витрати V_n , за базу розрахунку яких може бути прийнята основна заробітна плата робочих. Таким чином:

$$B_H = B_{\text{озп}} \cdot \frac{H_{\text{зв}} + H_{\text{зг}}}{100}, \quad (5.7)$$

де $H_{\text{зв}}$ – норма відрахувань на загальновиробничі витрати;

$H_{\text{зг}}$ – норма відрахувань на загальногосподарські витрати.

Комерційні витрати B_K є витратами на реалізацію продукції. В якості бази для розрахунку рекомендується приймати виробнича собівартість продукції:

$$B_K = C_B \cdot \frac{H_{\text{кв}}}{100}, \quad (5.8)$$

де C_B – виробнича собівартість продукції,

$H_{\text{кв}}$ – норма відрахувань на комерційні витрати.

Нижче, в таблиці 5.1, наведений приклад початкових даних, необхідних для розрахунку собівартості продукції.

Таблиця 5.1 – Початкові дані для обчислення повної собівартості

№ з/п	Найменування даних	Кількість
1	Програма випуску, шт.	200
2	Вага деталі, кг	2,4
3	Вага заготовки, кг	3,7
4	Вартість матеріалу, грн/кг	120
5	Ціна відходу, грн/кг	20
6	Норма витрат технологічної енергії, кВт·год./кг	0,5
7	Штучно-калькуляційний час, хв.	27,5
8	Амортизаційна вартість верстато-хвилини, грн	21,6
9	Витрати на інструмент, %	1,2
10	Розряд складності роботи	4
11	Додаткова заробітна плата, %	18
12	Відрахування на соціальні потреби, %	31
13	Загальновиробничі витрати, %	300
14	Загальногосподарські витрати, %	40
15	Комерційні витрати, %	6

5.3. Приклад розрахунку повної собівартості деталі

Вихідними для прикладу розрахунку собівартості продукції є дані, що наведені в таблиці 5.1. Нагадуємо, що розрахунки представляються наступним чином: вихідна формула → підставлені значення → результат.

Розрахунок витрат V_M на основні матеріали здійснюється за формулою (5.1):

$$\begin{aligned} V_M &= [m_d \cdot C_M - (m_z - m_d) \cdot C_{\text{відх}}] \cdot n = \\ &= [2,4 \cdot 120 - (3,7 - 2,4) \cdot 20] \cdot 200 = 52400, \text{ грн} \end{aligned}$$

Витрати на технологічну енергію $V_{\text{те}}$ розраховуються при ціні енергії 8 грн/кВт год. – заводські дані:

$$V_{\text{те}} = q_{\text{нв}} \cdot m_d \cdot C_e \cdot n = 0,5 \cdot 2,4 \cdot 8 \cdot 200 = 1920, \text{ грн}$$

Амортизаційні витрати V_o на обладнання, розраховуються за формулою (5.3):

$$V_o = A_B \cdot t_{\text{шт.-к.}} \cdot n = 21,6 \cdot 27,5 \cdot 200 = 118800, \text{ грн}$$

Витрати на інструмент при нормі відрахувань 1,2% від амортизаційної вартості верстато-хвилини $V_i = V_o \cdot 0,012 = 118800 \cdot 0,012 = 1425,6 \text{ грн}$

Витрати за основною заробітною $V_{\text{озп}}$ визначаються за формулою (5.4) при коефіцієнті доплат 0,25 і погодинній тарифній ставки робітника четвертого розряду 125 грн/год:

$$V_{\text{озп}} = (1 + k_d) \cdot \frac{S_{\text{год}}}{60} \cdot t_{\text{шт.-к.}} \cdot n = (1 + 0,25) \cdot \frac{125}{60} \cdot 27,5 \cdot 200 = 14322,92 \text{ грн}$$

Витрати $V_{\text{дзп}}$ на додаткову заробітну плату (5.5):

$$B_{\text{дзп}} = B_{\text{озп}} \cdot \frac{H_{\text{взп}}}{100} = 14322,92 \cdot \frac{18}{100} = 2578,13 \text{ грн}$$

Витрати $B_{\text{сп}}$, пов'язані з відрахуванням на соціальні потреби (5.6):

$$B_{\text{сп}} = (B_{\text{озп}} + B_{\text{дзп}}) \cdot \frac{H_{\text{сп}}}{100} = (14322,92 + 2578,13) \cdot \frac{31}{100} = 5239,32 \text{ грн}$$

Загальновиробничі і загальногосподарські витрати розраховуються за формулою (5.7):

$$B_{\text{н}} = B_{\text{озп}} \cdot \frac{H_{\text{зв}} + H_{\text{зг}}}{100} = 14322,92 \cdot \frac{300 + 40}{100} = 48697,93 \text{ грн}$$

Таким чином, виробнича собівартість продукції:

$$\begin{aligned} C_{\text{в}} &= B_{\text{м}} + B_{\text{те}} + B_{\text{о}} + B_{\text{і}} + B_{\text{озп}} + B_{\text{нсп}} + B_{\text{н}} \\ &= 52400 + 1920 + 118800 + 1425,6 + 14322,92 + 2578,13 \\ &\quad + 5239,32 + 48697,93 = 245383,9 \text{ грн} \end{aligned}$$

Звідки собівартість $C_{\text{д}}$ однієї деталі:

$$C_{\text{д}} = \frac{C_{\text{в}}}{n} = \frac{245383,9}{200} = 1229,92 \text{ грн}$$

Комерційні витрати розраховуються за формулою (5.8):

$$B_{\text{к}} = C_{\text{в}} \cdot \frac{H_{\text{кв}}}{100} = 245383,9 \cdot \frac{6}{100} = 14723,03 \text{ грн}$$

Література

Література основна

1. Рекомендації до структури та змісту кваліфікаційних робіт здобувачів ступеня бакалавра та магістра. URL:
https://osvita.kpi.ua/sites/default/files/downloads/Rekomendacii_DP_DR_MD_0.pdf // Схвалено Методичною радою КПП ім. Ігоря Сікорського Протокол №2 від 30.09.2022 р. 32С.
2. Випускна кваліфікаційна робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 – Прикладна механіка / В. І. Солодкий, Ю. Й. Бесарабець, В. В. Вовк, Д. О. Красновид ; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Третя редакція. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,38 Мбайт). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 221 с. – Назва з екрана. /
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45842>
3. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А., Петраков Ю. В. Технологія машинобудування. Підручник.: ЖДТУ, Житомир.–2005, 835 с
4. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С. Проектування і виробництво заготовок / підручник. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 353 с. – Бібліогр.: с. 346 – 353 – 500 пр. ISBN 978-966-7599-81-2
5. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
6. Петраков Ю.В. Лабораторно-комп'ютерний практикум з теорії різання. Навчальний посібник + CD, Київ: Політехніка, 2006.-190с.
7. Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням: Навчальний посібник + CD Міністерство освіти і науки України, Київ 2004.-384с
8. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К.

- Новосьолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ-2000, 2011. – 422 с.
9. ДСТУ 3321:2003 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять
 10. Боровик А.І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва: підручник – К.: «Кондор», 2008, 726с
 11. Технологічна оснастка : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 123 с.
 12. Медведєв В. С., Тулупов В. І., Онишук С. Г. Технологічна оснастка : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / Краматорськ : ДДМА, 2021. – 108 с.
 13. ДСТУ 2691-94 Деталі та складальні одиниці універсально-складальних пристроїв до металорізальних верстатів. Технічні вимоги. Методи контролю. Маркування, пакування, транспортування та зберігання
 14. Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням: Навчальний посібник. – Київ: УкрНДІАТ, 2004.- 383 с.
 15. Равська Н.С. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці / Н.С. Равська, П.П. Мельничук, О.В. Мамлюк , Т.П. Ніколаєнко, О.А Охріменко; К.: Вид. СКД-Друк 2013 - 215с.

Література додаткова

16. Sandvik Coromant URL: <https://www.sandvik.coromant.com>
17. Walter URL: <https://www.walter-tools.com>
18. ISCAR URL: <https://www.iscar.com>
19. Schunk URL: <https://schunk.com>
20. Forkardt URL: <https://forkardthardinge.de>
21. Kitagawa URL: <https://www.kitagawa.com>
22. SINUMERIK Adaptive Control & Monitoring suite URL: <https://www.siemens.com/us/en/products/automation/systems/sinumerik-cnc/digitalization/manufacturing/adaptive-control-and-monitoring.html>

ДОДАТОК А. Титульний аркуш



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



Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
кафедра Технології машинобудування

До захисту допущено:
Завідувач кафедри

«___» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою
«Технології машинобудування»
спеціальності 131 Прикладна механіка

« **Тема** »

Виконав (-ла) студент (-ка) IV курсу, групи **МТ-ХХ**
Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ

Керівник: **Посада, науковий ступінь, вчене звання,**
Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ

Рецензент: **Посада, науковий ступінь, вчене звання,**
Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ

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

Студент (-ка) _____

Київ – 20**YY** року

ДОДАТОК Б. Завдання на дипломний проєкт

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра технології машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма – «Технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«___» _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ на дипломний проєкт студенту

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дипломного проєкту _____

керівник проєкту _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «___» _____ 202__ р. № _____

2. Термін подання студентом дипломного проєкту «___» _____ 202__ р.

3. Вихідні дані до проєкту _____

4. Зміст пояснювальної записки, перелік завдань, які потрібно розробити _____

5. Перелік графічно-ілюстративного матеріалу _____

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Термін виконання етапів дипломного проєкту	Примітка

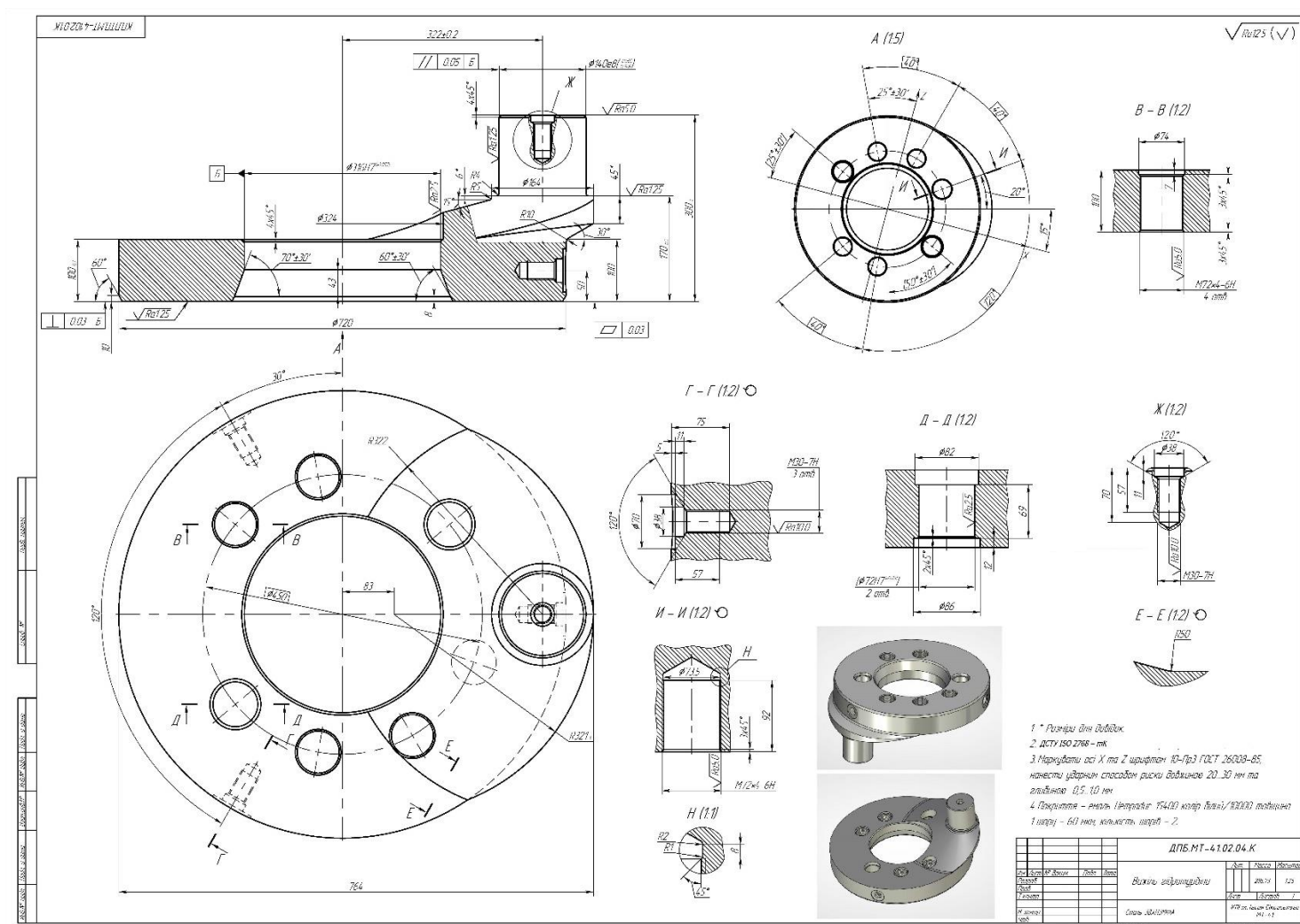
Студент

Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ

Керівник проєкту

Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ

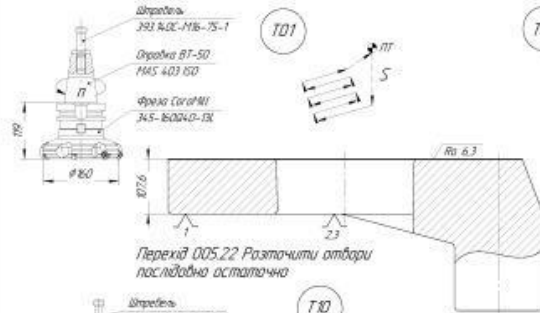
ДОДАТОК В. Приклади виконання графічної частини



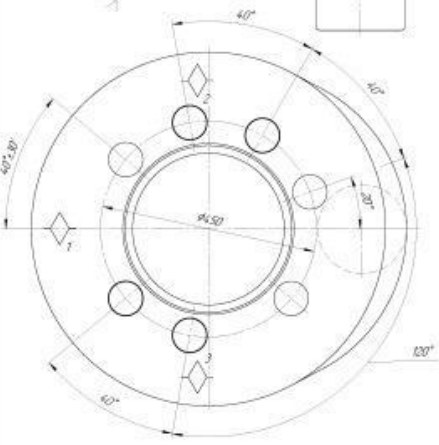
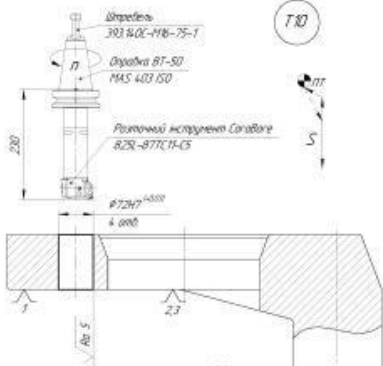
1 500 001 4 1-1W9107

005 Багатоцільова з ЧПК верстат HAAS VF-8/50

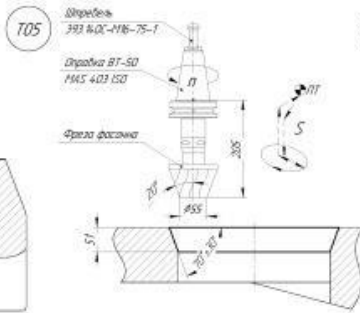
Перехід 005.05 Фрезерувати тарілку поверхню попередньо



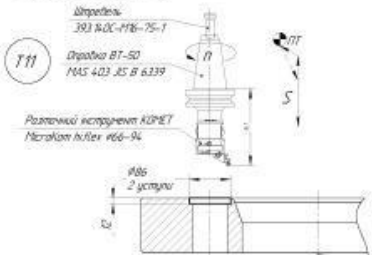
Перехід 005.22 Розточити отвори послідовно остаточно



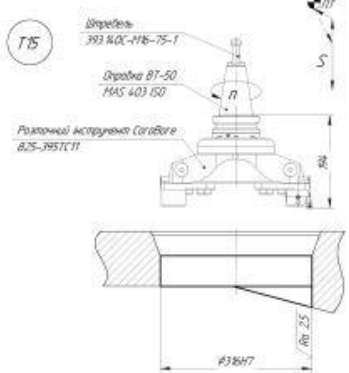
Перехід 005.10 Фрезерувати кінцеву поверхню остаточно



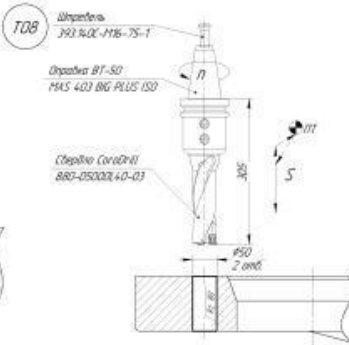
Перехід 005.24 Розточувати уступи послідовно остаточно



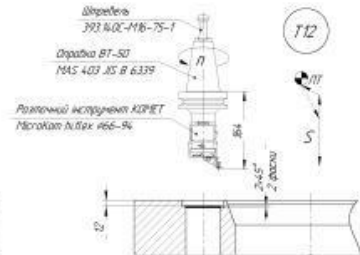
Перехід 005.28 Розточити отвір остаточно



Перехід 005.15 Свердлити отвори послідовно остаточно



Перехід 005.25 Розточувати фаски послідовно остаточно



Перехід 005.29 Нарізати нарізи послідовно остаточно

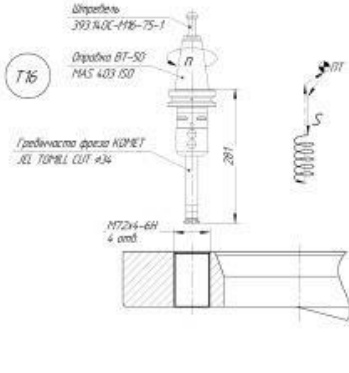
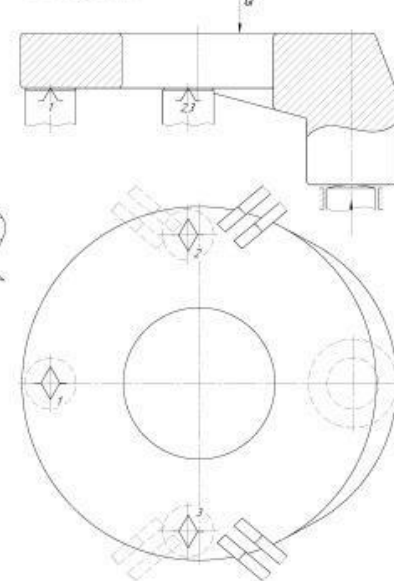


Схема закріплення



№	Інструмент	В. мм	S ₁ мм/хв	S ₂ мм/хв	S ₃ мм/хв	V, м/хв	n об/хв	T, хв
Т10	Фаска	0,05	-	4	83	21	221	4,32
Т15	Піла розточувальна	0,7	-	0,08	51	634	639	3,23
Т12	Піла розточувальна	2	-	0,2	212	280	1061	0,12
Т11	Піла розточувальна	7	-	0,5	53	275	1018	0,37
Т10	Піла розточувальна	0,6	-	0,08	91	250	187	1,23
Т08	Сверло стандартне	25	-	0,12	43	84	540	14,6
Т05	Фаска фаска	18,2	0,04	0,2	204	160	1019	15,24
Т01	Фаска тарілка	0,25	0,03	0,33	210	320	637	47,39

Перехід 010.02 Фрезерувати кінцеву поверхню остаточно

Technical drawing showing a mechanical assembly with dimensions and labels:

- Vertical shaft assembly:
 - Top pulley: $\varnothing 393$ H9/k9 - M16 x 75-7
 - Middle pulley: $\varnothing 393$ H9/k9 - M16 x 75-7
 - Bottom pulley: $\varnothing 393$ H9/k9 - M16 x 75-7
 - Shaft diameter: $\varnothing 100$
 - Total height: 300
- Horizontal shaft assembly:
 - Shaft diameter: $\varnothing 76.5$
 - Gear diameter: $\varnothing 76.5$
 - Gear width: 100
 - Shaft length: 100
 - Shaft diameter: $\varnothing 76.5$

[illegible]

Шпилька 393.50С-Н16-75-1

Горловина БТ-50 М45 403 35 В 6.329

Разостный инструмент КОМЕТ Микротон 10116 320-325

445

T08

- Allegato 393 B/C-M16-75-1
- Allegato BT-50
- MAS 403 ISO
- Lancetta CB-39132-46 TTT
- Allegato Corofit 316-BSL 44.2-600SP 1730

Dimensions:

- 235
- Ø 16
- Ø 12.5
- R0
- R0 1.25
- 170.02

T03

393 KDC-116-75-1
Диаметр BT-80
M45 X0.5 B 6339

Роторный инструмент ROPET
Microform to flex 466-94

Ø62
2 ступени

Ø17

S

[illegible]

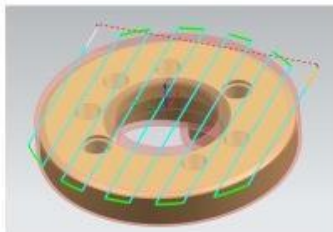
Technical drawing of a mechanical assembly. The drawing includes the following labels and dimensions:

- Top Left:** A circle containing the text "T11".
- Top Center:** The text "Wingepier" is written above "393 HOC-H16-75-1". Below this, "Dipositor BT-50" and "H45 403 ISO" are listed.
- Top Right:** A vertical dimension line with the value "222".
- Middle Left:** The text "dipositor Coradroit" is written above "BB87-0300340-02".
- Bottom Center:** A horizontal dimension line with the value "ø30".

T01	Плата за проезд	5	-	0,2	191	90	955	0,13
T08	Вознамездие	0,3	0,02	0,08	223	140	2785	7,58
T06	Плата за проезд	1,37	0,02	0,24	24,8	260	1035	4,52
T05	Плата за проезд (дополнительно)	4	-	0,18	101	570	580	2,23
T04	Плата за проезд (дополнительно)	1	-	0,2	221	250	1105	0,16
T03	Плата за проезд (дополнительно)	5	-	0,2	208	265	1029	0,16
T02	Плата за проезд (дополнительно)	8	0,04	0,12	70	316	1416	2,37
T01	Плата за проезд	5,6	0,03	0,3	229	260	764	13,49
Итого	распределение	36 руб. 51 коп	0,10 руб. 51 коп	0,54 руб. 51 коп	414 руб. 11 коп	1416 руб. 11 коп	1416 руб. 11 коп	7,13 руб.
ДПБ.МТ-4 102.006 Т Счетчик технологических переходов операций (170) дата: _____ период: _____ лист: _____ из: _____ 170 из 170 (экземпляр) Экземпляр: _____ Журнал: А1								

005 Багатоцільова з ЧПК верстат HAAS VF-8/50

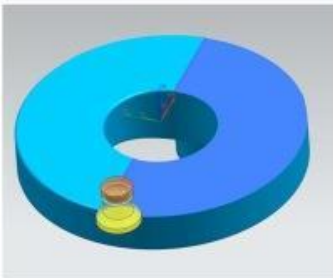
Перехід 005.03 Фрезерувати торцеву поверхню попередньо



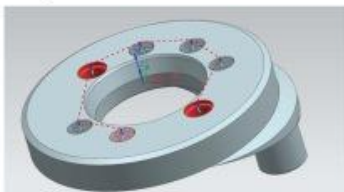
Код програми:

T01 M06
S853 M03

G00 G90 X320.7714 Y-327.8127
G43 Z3. H01
G01 Z-15 F205. M08
X230.29
X-230.29
G02 X-309.1 Y-254.9 I227.64 J325.18



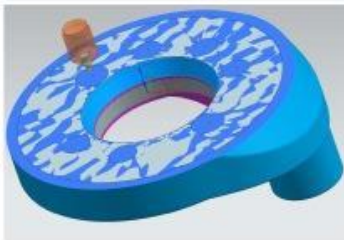
Перехід 005.09 Центрувати положення осей отворів



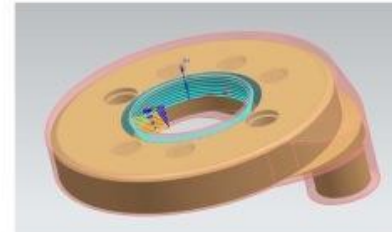
Код програми:

T07 M06
S4775 M03

G00 G90 X172.36 Y-144.6272
G43 Z0.5 H07
G81 X172.3 Y-144.6 Z-32. R-17. F468.
X2114 Y76.5
X1125 Y194.8
X-39. Y2215



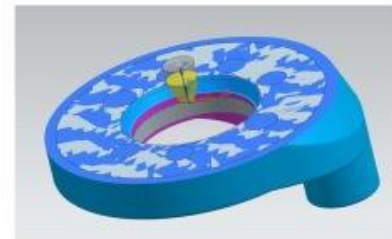
Перехід 005.07 Фрезерувати кінцеву поверхню остаточно



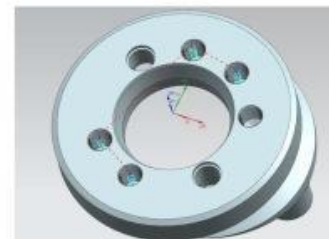
Код програми:

T05 M06
S1019 M03

G00 G90 X-83.56
G43 Z0.5 H05
Z-13.33
G01 Z-16.3351 F407. M08
X-157.21
G03 I157.21 J0.0
G01 X-117.21



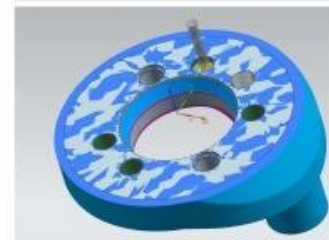
Перехід 005.26 Нарізати наріз' остаточно



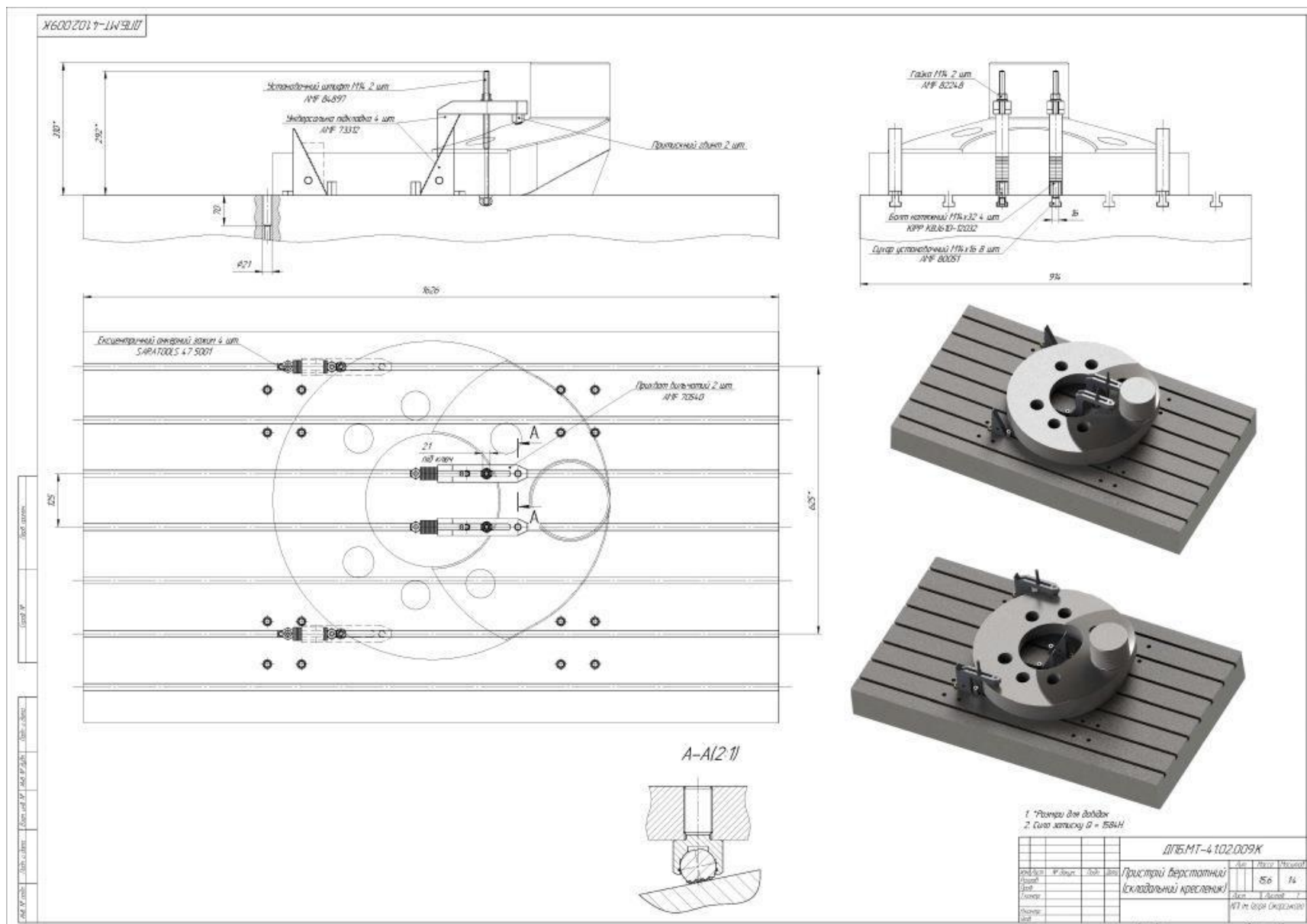
Код програми:

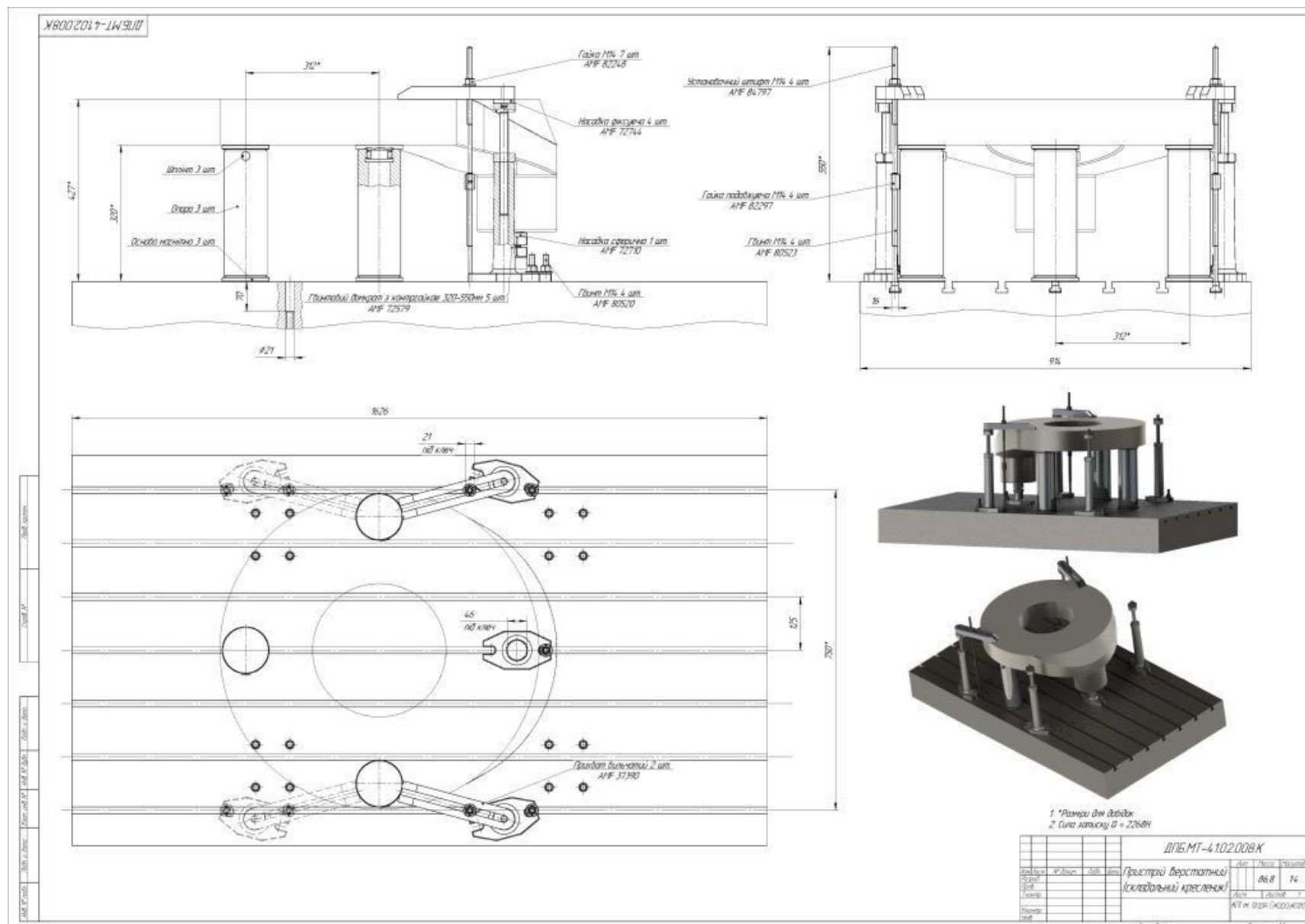
T16 M06
S221 M03

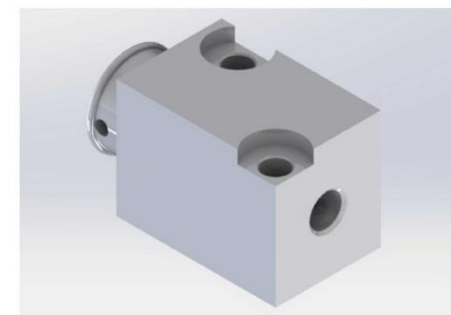
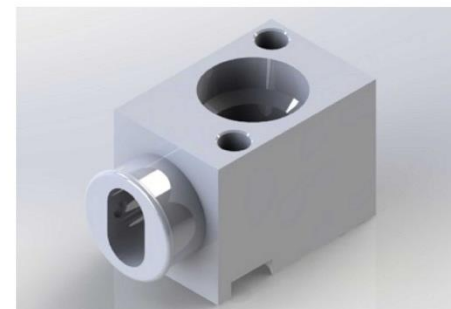
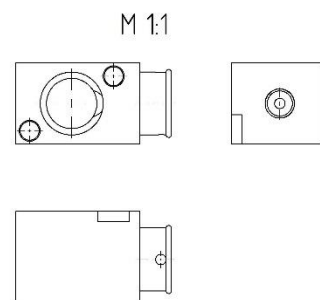
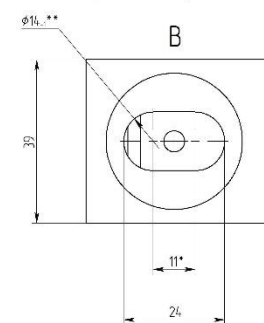
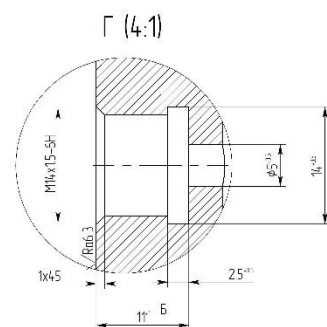
G00 G90 X1125 Y194.8
G43 Z0.5 H16
Z-120.2
G01 X120. Y192. F83. M08



ДПБ-МТ-4.102.007.Т									
№ докум.	Відом.	Лист	Всього	Лист	Всього	Лист	Всього	Лист	Всього
Склад									
Лист									
Лист									
Лист									
Лист									
Лист									
Лист									
Лист									
Лист									

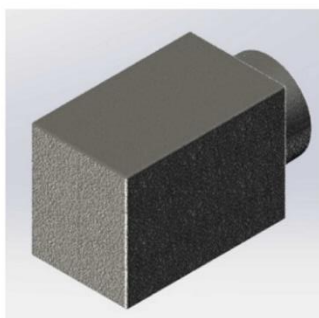
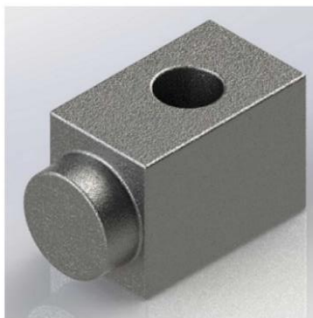
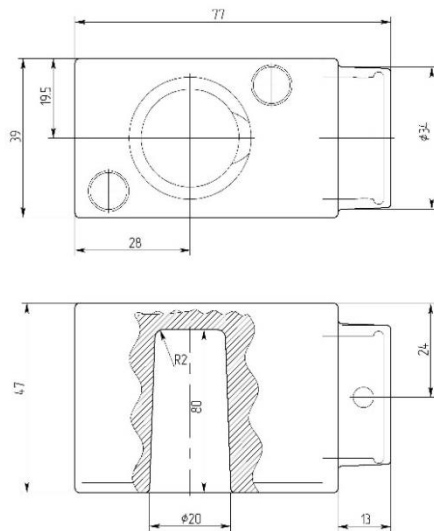






1. ДСТУ ISO 2768 – mK
2. Допускаються на оброблених поверхнях будь-які дефекти лиття в межах допуску на механічне оброблення
3. Гострі кромки затупити фаскою або радіусом 1.2 мм
4. *Розмір для відсівок
5. **Розмір забезпечується інструментом

						ДПБ ММ.МТ-2106.003			
						Кришка бахля			
						Дит	Риса	Матри	
							055	21	
						Матри	5	Матри	5
						7010 ММ			



1. Точність виливка 10-9-7-4 ГОСТ 26645-85
2. Невказані ливарні радіуси R1 мм
3. Невказані ливарні уклони 15° для зовнішніх та 45° для внутрішніх поверхонь

№ 43 для цифрових поверхнів		ДЛБММ/MT-2106.004	
Залишок запасу	Підв. запас	Кришка базова (зготованка)	
Кришка базова	Кришка базова	Дис.	Резист.
Кришка базова	Кришка базова	1/2	71
Кришка базова	Кришка базова	Дис. 4	Резист. 2
Кришка базова	Кришка базова	100, MM	
Кришка базова	Кришка базова	Стор. А2	

076 MM MT-21C6 004

DTG.MLMT-2106.004

Операція 005.
Багатоцільова з ЧПУ.
Верстат HAAS VF-2

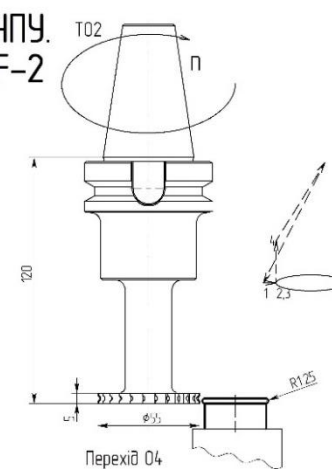
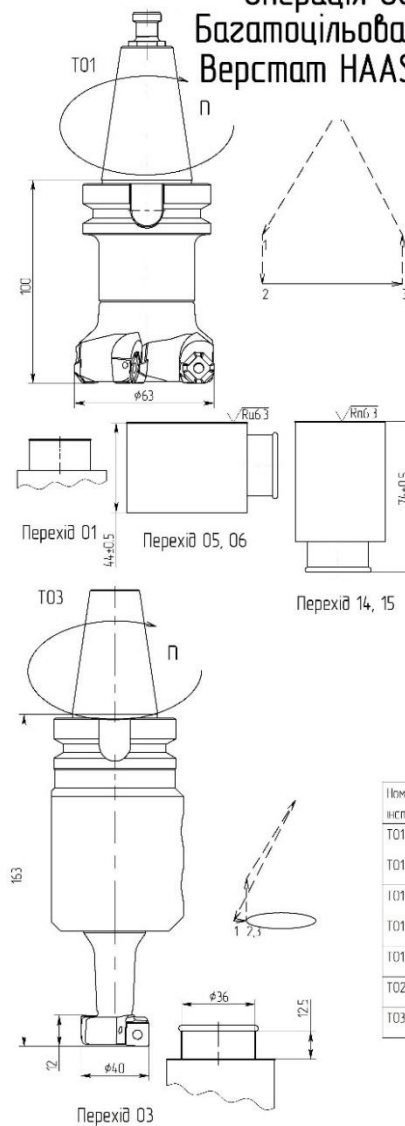
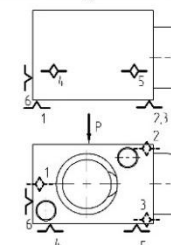


Схема базування деталі

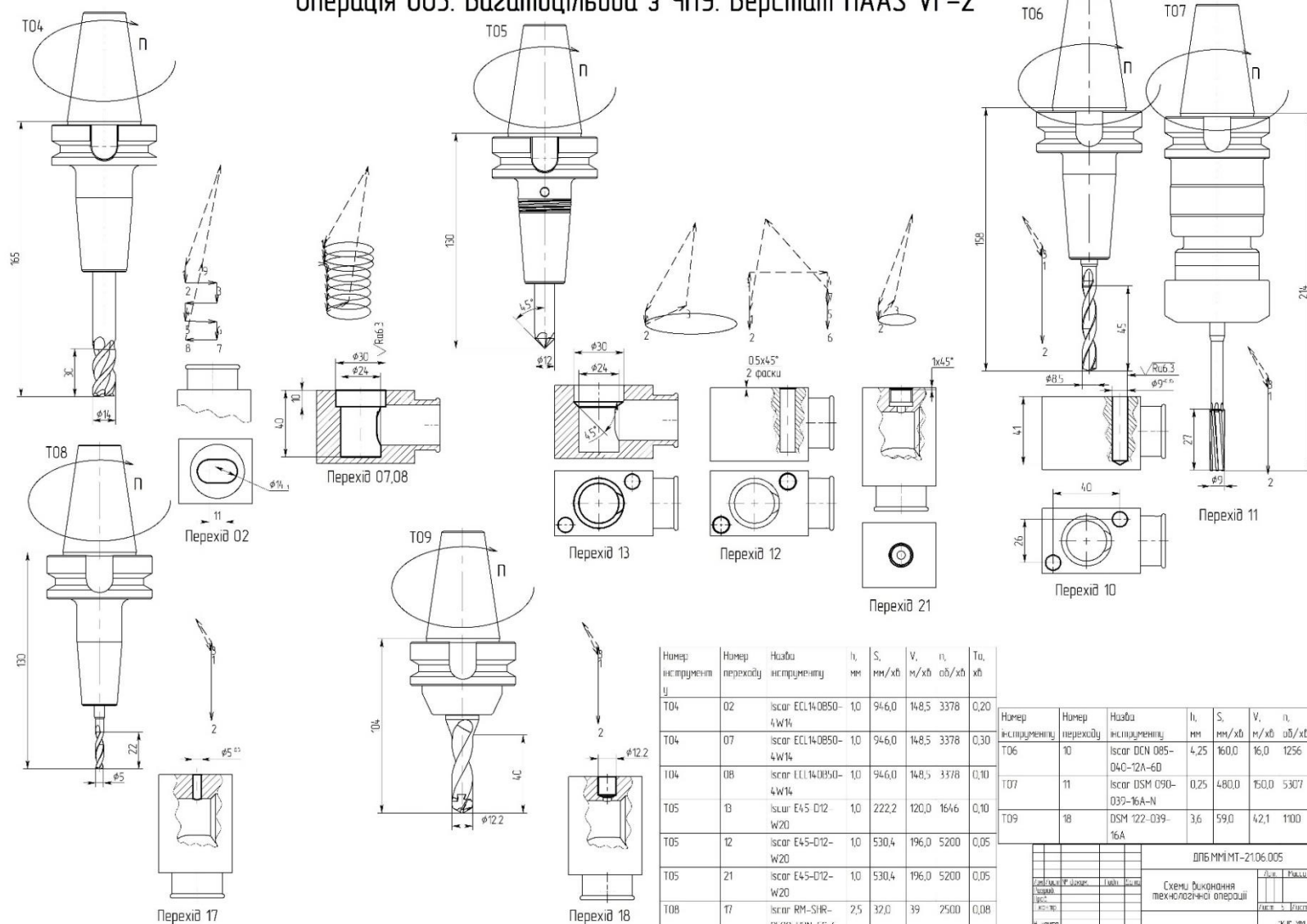


Имя инструмента	Имя перехода	Полное наименование	h, мм	S, мм/хб	V, м/хб	n, об/хб	Tn, хб
T01	C1	Isco IQ845 FSY D063	15	1435	290	1275	0,08
T01	05	Isco IQ845 FSY D063	25	1435	290	1275	0,1
T01	06	Isco IQ845 FSY D063	05	1490	260	1180	0,1
T01	14	Isco IQ845 FSY D063	10	1435	290	1275	0,08
T01	15	Isco IQ845 FSY D063	05	1490	260	1180	0,08
T02	C4	Фреза фасонная	05	9715	185	736	0,3
T03	C3	Isco TRB 040-05M	20	590	265	2109	0,15

[illegible]

100

Операція 005. Багатоцільова з ЧПУ. Верстат HAAS VF-2



JTS MMT-2106.006



Номер испы- тания	Номер перехо- да	Назва инструменту	h, мм	S, мм/хб	V, м/хб	h, мм/хб	T, хб
T10	15	Iscar RB 12-w25	0,6	1125	173,6	4500	0
T11	20	Iscar TPST MF- 1х15-G	1,8	256,5	7,5	171	0

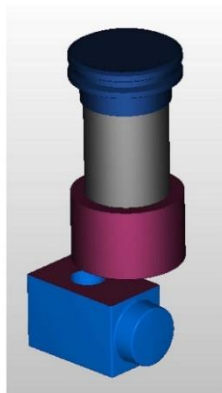


Номер вспышки	Номер аппарата	Назва вспышки	t_1 мм	S мм/с	V м/с	t_2 м/с	$T_{\text{ср}}$ с
T01	04	lscor RM-SHR-0300- HW-C5-S	18	56,5	12,8	1130	0,6
T02	05	lscor RM-SHR-NTN-CS	0,5	620	90	6200	0,1
T03	06	lscor RM-SHR-NTN-VN	0,5	780	60	3500	0,1
T04	07	lscor RM-SET-T-B	0,5	573	100	3820	0,1
T05	01	lscor LCI0390-4WN	1	946,0	146,5	3378	0,0
T06	02	lscor E-45 DTD w20	1	222,2	100,0	1646	0,0

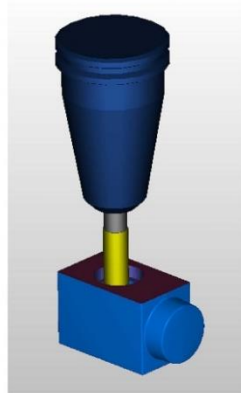
				ДП «МММТ»-2106.006			
				Схеми виконання технологічних операцій			
				Згідно з проектом			
				2018 р.р.			

Візуалізація оброблення з ЧПУ у програмі FeatureCAM

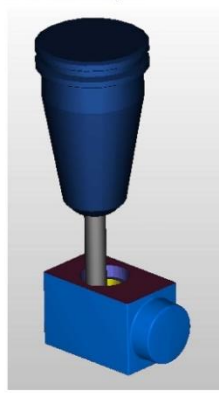
Оброблення плоскої поверхні



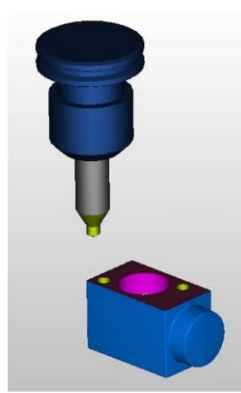
Оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь



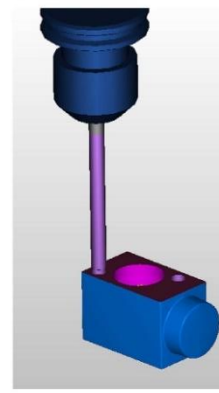
Оброблення внутрішньої конічної поверхні



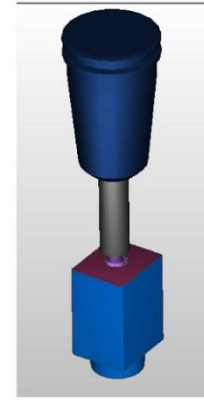
Центрування отворів



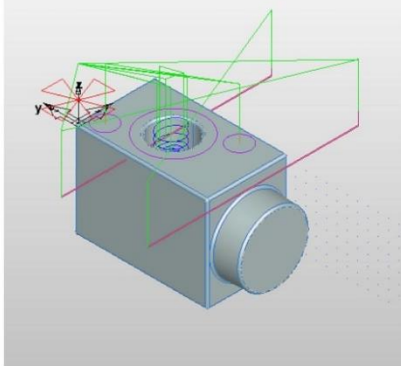
Свердління та зенкерування отворів



Фрезерування нарізі

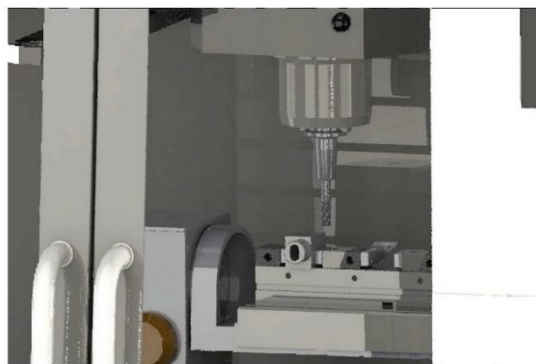


Траєкторії руху інструментів



- фрезерування плоскої поверхні;
- фрезерування двох внутрішніх циліндричних поверхонь;
- центрування, свердління, зенкерування двох отворів.

Оброблення на верстаті з ЧПУ HAAS VF-2yt



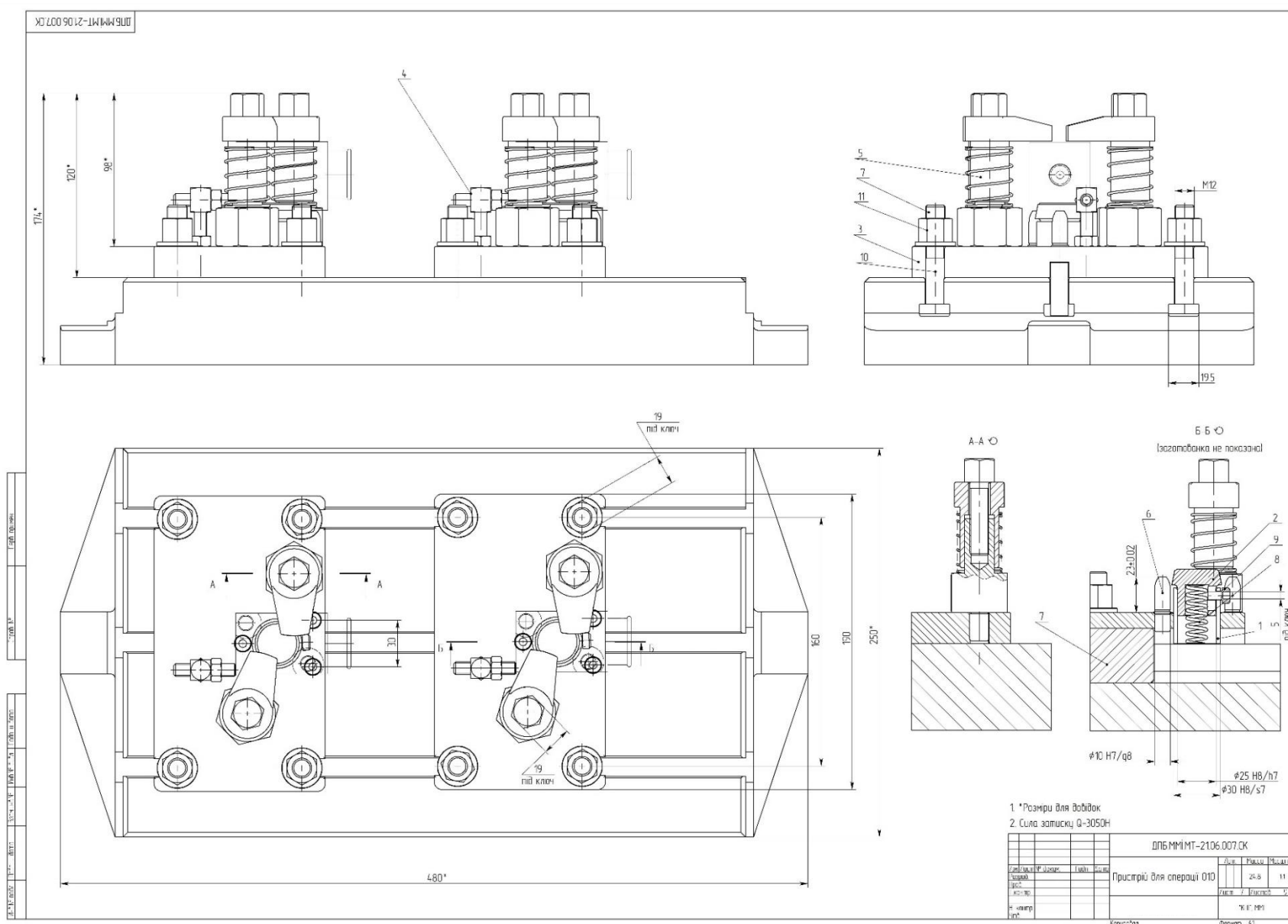
Фрагмент G-коду керуючої програми

```

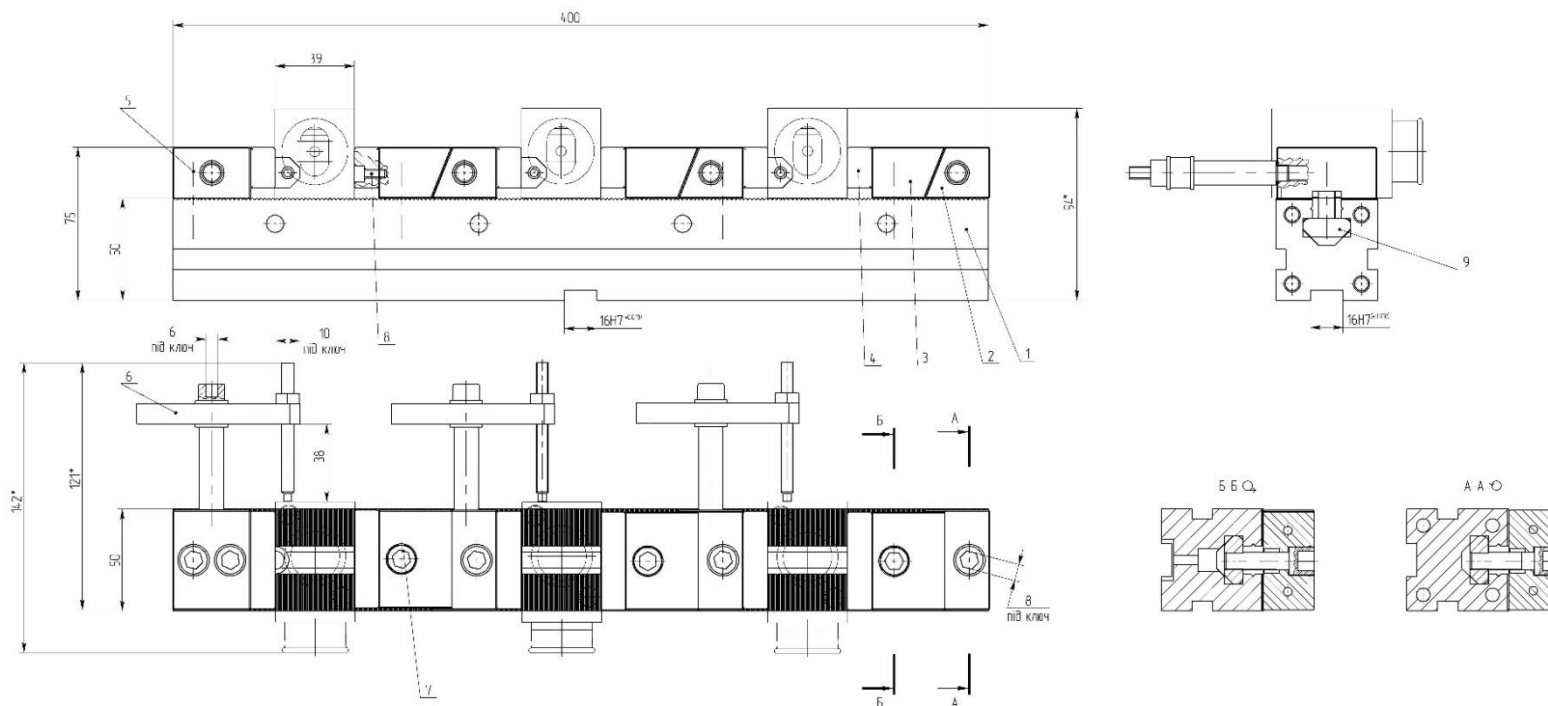
N35 (FACE ROUGH TOPEL)
N40 T1 M3
N45 G00 G54 G66 X2.7362 Y-2.6024 S1275 M03
N50 G43 H1 Z0.9843 M06
N55 Z0.1181
N60 G01 Z-0.0904 F58.5
N65 X-1.2795
N70 G00 Z0.3943
N75 X2.7362 Y-0.9528
N80 Z0.1181
N85 G01 Z-0.0904
N90 X-1.2795
N95 G00 Z0.3943

N100 (FACE FINISH TOPEL)
N105 S1133
N110 X2.7362 Y-2.6024
N115 Z0.0197
N120 G01 Z-0.1181 F58.7
N125 X-1.2795
N130 G00 Z0.3943
N135 X2.7362 Y-0.9528
N140 Z0.0197
N145 G01 Z-0.1181
N150 X-1.2795
N155 G00 Z0.3943
N160 M5
N165 G91 G28 Z0 M09
N170 G49 G30 H0 Y0
N175 M01
    
```

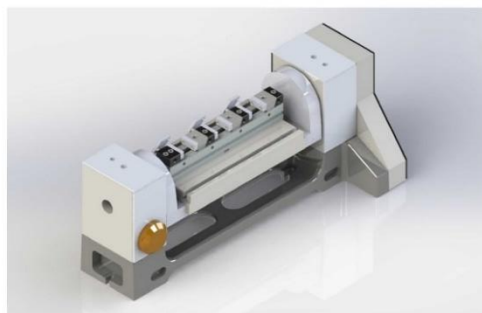
				ДІБ ММІМТ-2106.009			
Візуалізація оброблення деталі "Кришка баля"				Лист	Рис.	Рис.	
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							
Лист							
Кресло							



ДЛБ МММТ-2106.008.СК



Стіл обертовий в комплекті з лещатами

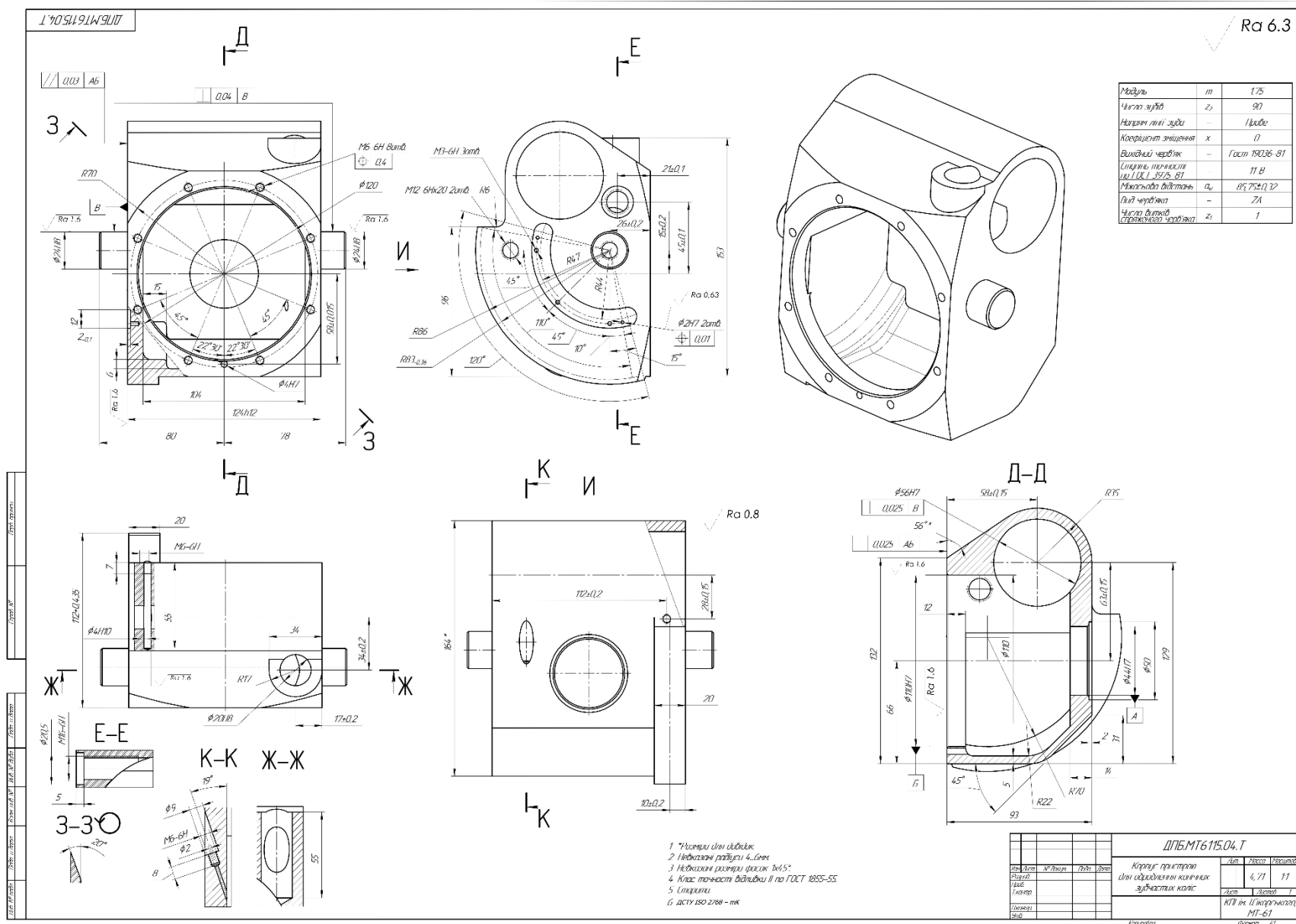


Верстат HAAS VF-2TY, що укомплектовано обертовим столом з лещатами

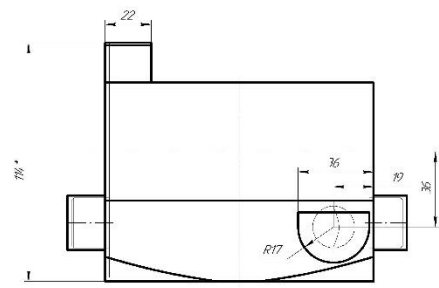
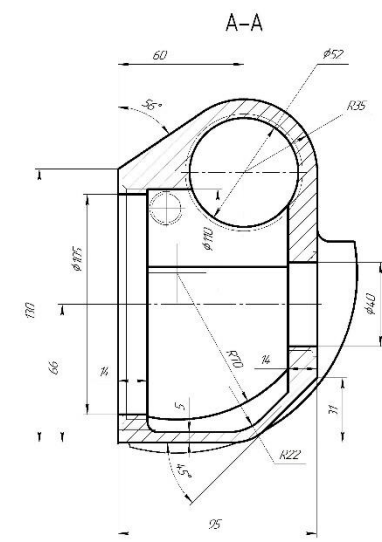
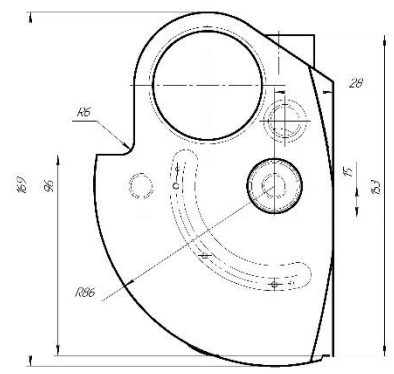
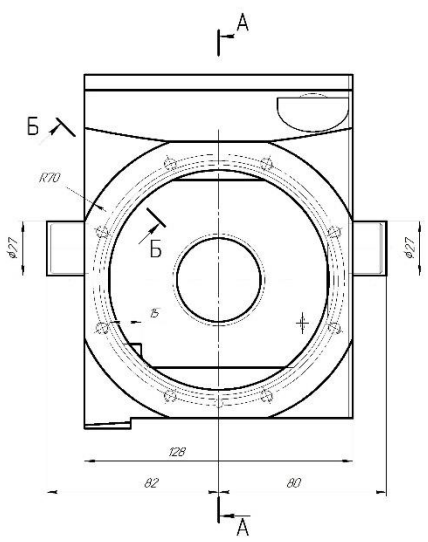


- * Розміри для вибірок
- Сила запису деталі Q-10808H

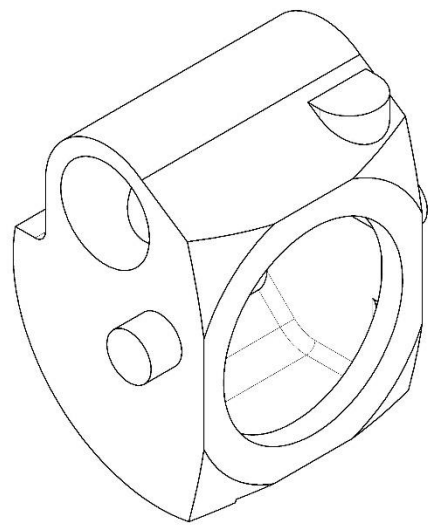
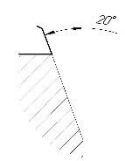
ДЛБ МММТ-2106.008.СК			
Лист	1	Розмір	22
Лист	2	Розмір	11
Лист	3	Розмір	5
Лист	4	Розмір	5
Лист	5	Розмір	5
Лист	6	Розмір	5
Лист	7	Розмір	5
Лист	8	Розмір	5
Лист	9	Розмір	5
Лист	10	Розмір	5
Лист	11	Розмір	5
Лист	12	Розмір	5
Лист	13	Розмір	5
Лист	14	Розмір	5
Лист	15	Розмір	5
Лист	16	Розмір	5
Лист	17	Розмір	5
Лист	18	Розмір	5
Лист	19	Розмір	5
Лист	20	Розмір	5
Лист	21	Розмір	5
Лист	22	Розмір	5
Лист	23	Розмір	5
Лист	24	Розмір	5
Лист	25	Розмір	5
Лист	26	Розмір	5
Лист	27	Розмір	5
Лист	28	Розмір	5
Лист	29	Розмір	5
Лист	30	Розмір	5
Лист	31	Розмір	5
Лист	32	Розмір	5
Лист	33	Розмір	5
Лист	34	Розмір	5
Лист	35	Розмір	5
Лист	36	Розмір	5
Лист	37	Розмір	5
Лист	38	Розмір	5
Лист	39	Розмір	5
Лист	40	Розмір	5
Лист	41	Розмір	5
Лист	42	Розмір	5
Лист	43	Розмір	5
Лист	44	Розмір	5
Лист	45	Розмір	5
Лист	46	Розмір	5
Лист	47	Розмір	5
Лист	48	Розмір	5
Лист	49	Розмір	5
Лист	50	Розмір	5
Лист	51	Розмір	5
Лист	52	Розмір	5
Лист	53	Розмір	5
Лист	54	Розмір	5
Лист	55	Розмір	5
Лист	56	Розмір	5
Лист	57	Розмір	5
Лист	58	Розмір	5
Лист	59	Розмір	5
Лист	60	Розмір	5
Лист	61	Розмір	5
Лист	62	Розмір	5
Лист	63	Розмір	5
Лист	64	Розмір	5
Лист	65	Розмір	5
Лист	66	Розмір	5
Лист	67	Розмір	5
Лист	68	Розмір	5
Лист	69	Розмір	5
Лист	70	Розмір	5
Лист	71	Розмір	5
Лист	72	Розмір	5
Лист	73	Розмір	5
Лист	74	Розмір	5
Лист	75	Розмір	5
Лист	76	Розмір	5
Лист	77	Розмір	5
Лист	78	Розмір	5
Лист	79	Розмір	5
Лист	80	Розмір	5
Лист	81	Розмір	5
Лист	82	Розмір	5
Лист	83	Розмір	5
Лист	84	Розмір	5
Лист	85	Розмір	5
Лист	86	Розмір	5
Лист	87	Розмір	5
Лист	88	Розмір	5
Лист	89	Розмір	5
Лист	90	Розмір	5
Лист	91	Розмір	5
Лист	92	Розмір	5
Лист	93	Розмір	5
Лист	94	Розмір	5
Лист	95	Розмір	5
Лист	96	Розмір	5
Лист	97	Розмір	5
Лист	98	Розмір	5
Лист	99	Розмір	5
Лист	100	Розмір	5



ДПБ.МТ615.05.Т



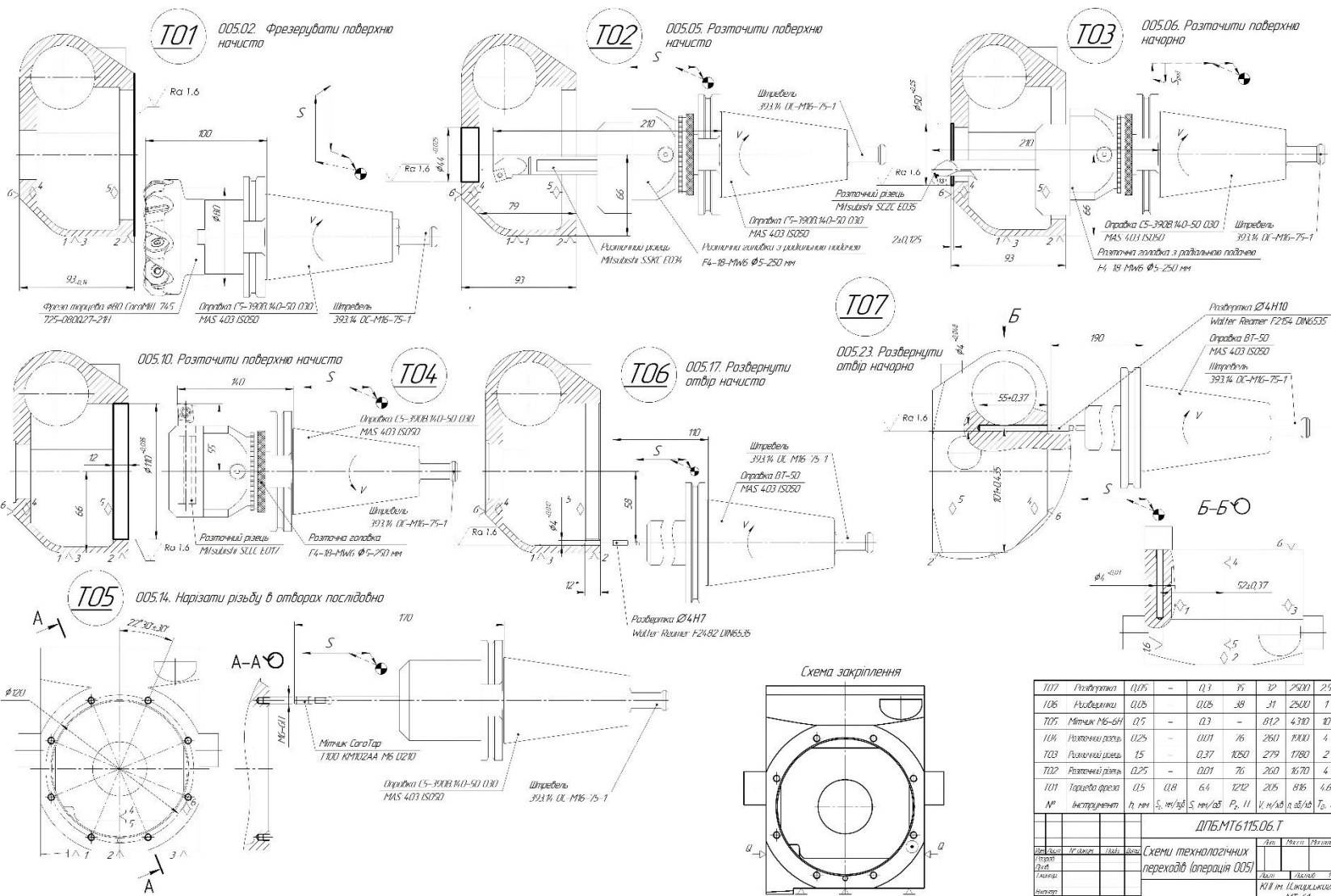
Б-Б(2:1)О



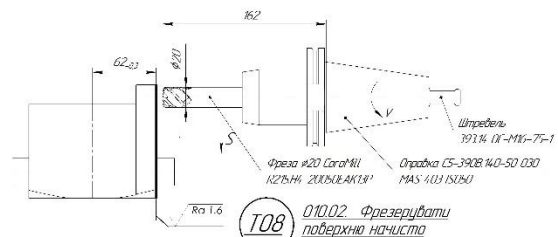
1. Размеры для подбора;
2. Точность изготовления 9-10 по ГОСТ 25345-85;
3. Радиусы радиусы 4-5 мм;
4. Радиус углов 1,5°;
5. Радиусы внутренних углов 1°.

ДПБ.МТ615.05.Т				Лист	Всего	Изменен
Исполн.	Провер.	Лист	Всего	5,74	11	
Исполн.	Провер.	Лист	Всего	178	178	1
Копировать				МТ-61		

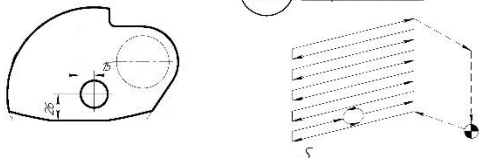
005. Горизонтально-фрезерна з ЧПК. Верстат моделі HAAS EC-1600ZT-5AX



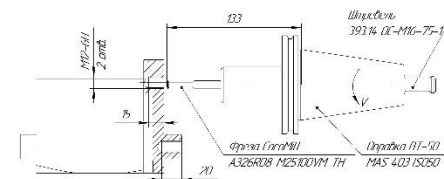
010. Горизонтально-фрезерна з ЧПК. Верстат моделі HAAS EC-1600ZT-5AX



T08 010.02. Фрезерувати поверхню начисто

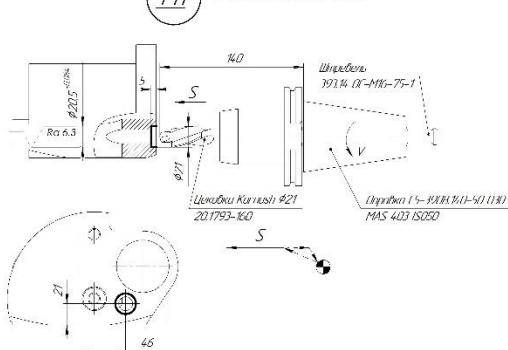


T09 010.08. Свердлити отвір

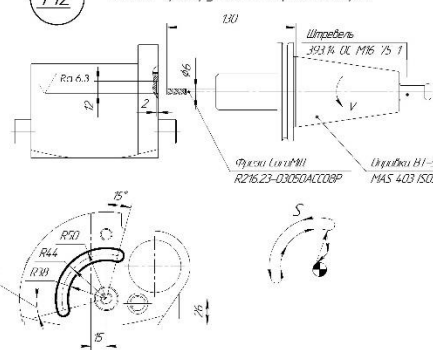


T10 010.10. Нарізати різьбу

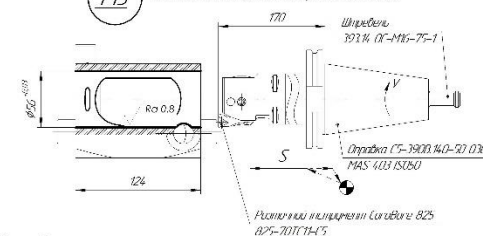
T11 010.13. Цекувати отвір



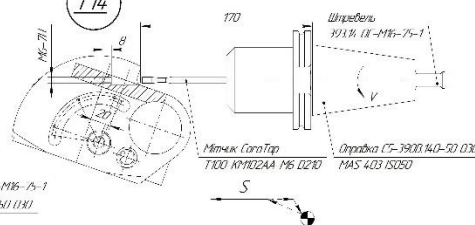
T12 010.15. Фрезерувати поверхню начисто



T15 010.45. Розточити поверхню начисто



T14 010.33. Нарізати різьбу



T13 010.27. Розвернути отвір

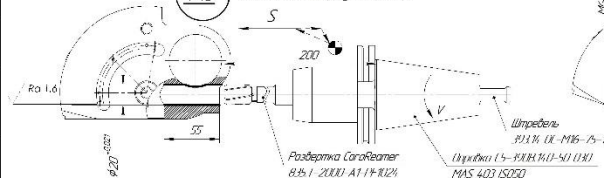
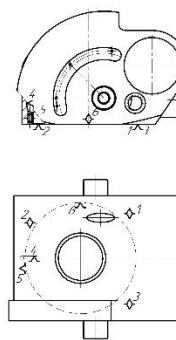
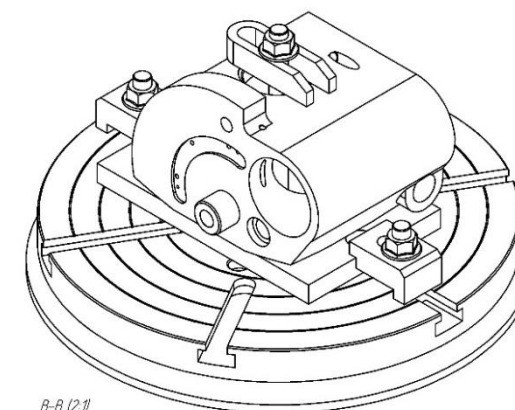
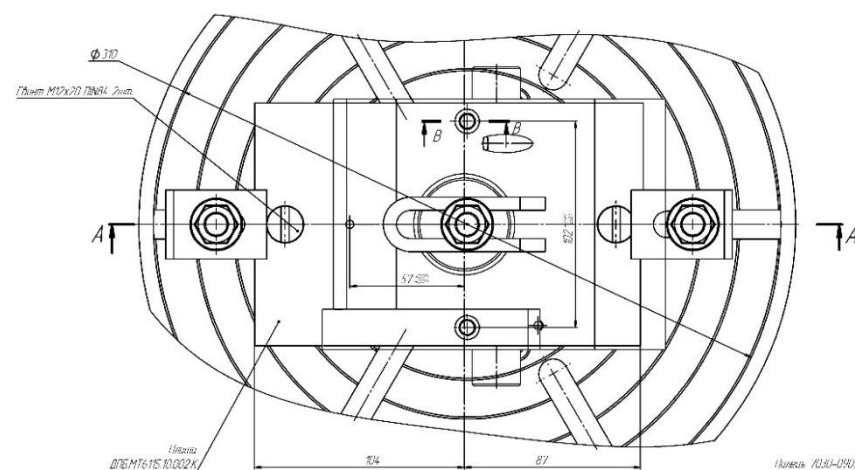
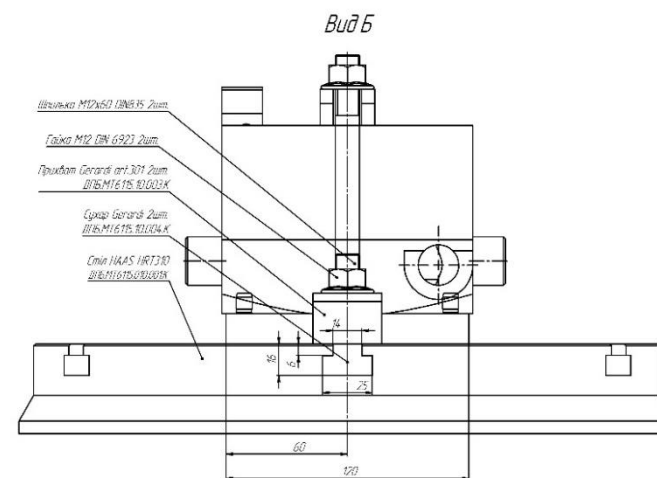
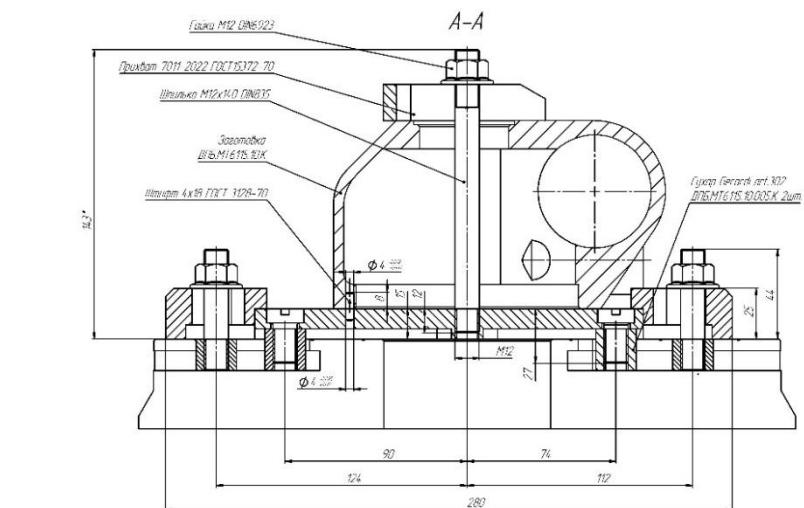


Схема базування



Т/к	Попер.	0,25	—	0,1	10	250	1000	40
Т/к	Мітка	0,45	—	0,3	35	32	2500	2,5
Т/к	Розвертка	0,05	—	0,02	400	102	2500	1
Т/к	Кінцева фреза	2	—	0,02	1175	105	5570	4
Т/к	Нарізання	0,8	—	0,02	1200	104	2500	34
Т/к	Розточка фреза	0,95	—	0,1	1050	283	4600	1
Т/к	Свердло	5,05	—	0,2	1200	111	4500	2,1
Т/к	Кінцева фреза	0,5	—	0,25	1095	282	2270	4,9
№	Інструмент	f_z mm	S_z mm/rev	S mm/rev	P_z W	V m/min	a_x mm	$T_{0,1}$ s
ДПБ.МТ615.07.1								
Схеми технологічних переходів (операція 010)								
АТБ м. Івано-Франківськ								
МТ-61								
Версія: 1.0								

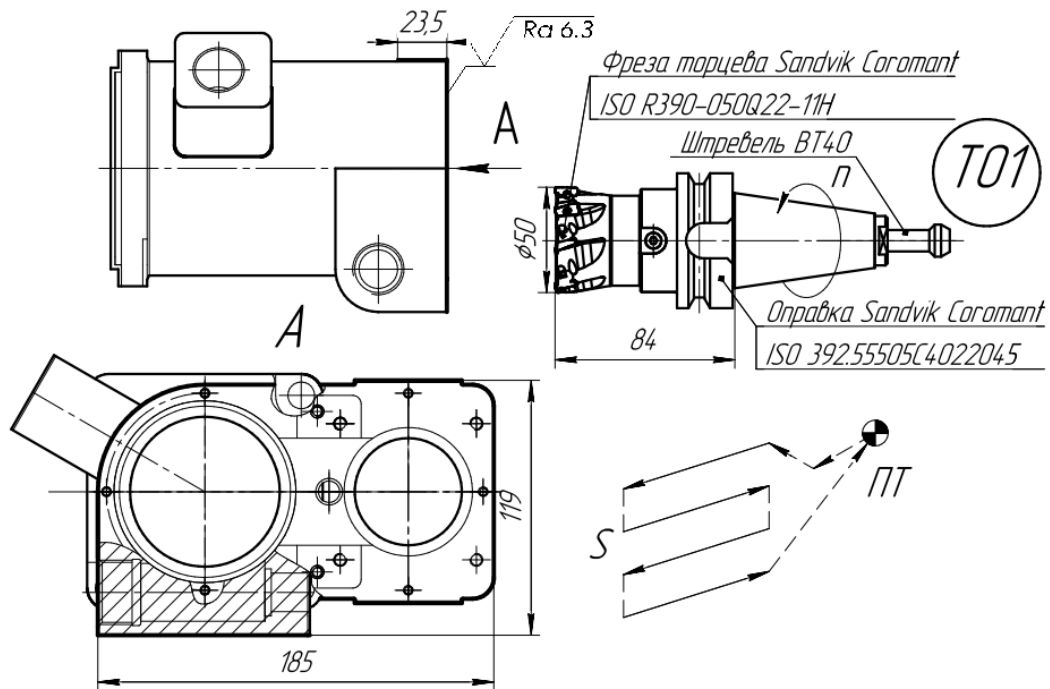


1. *Розміри для дайвіди.
2. Твердість поверхонь установчих елементів НРС 54...63.
3. Контроль пристрою по забезпеченню точності оброблення провідності через кожні 160 годин експлуатації.
4. Сила затиску $W=4\text{ kH}$.

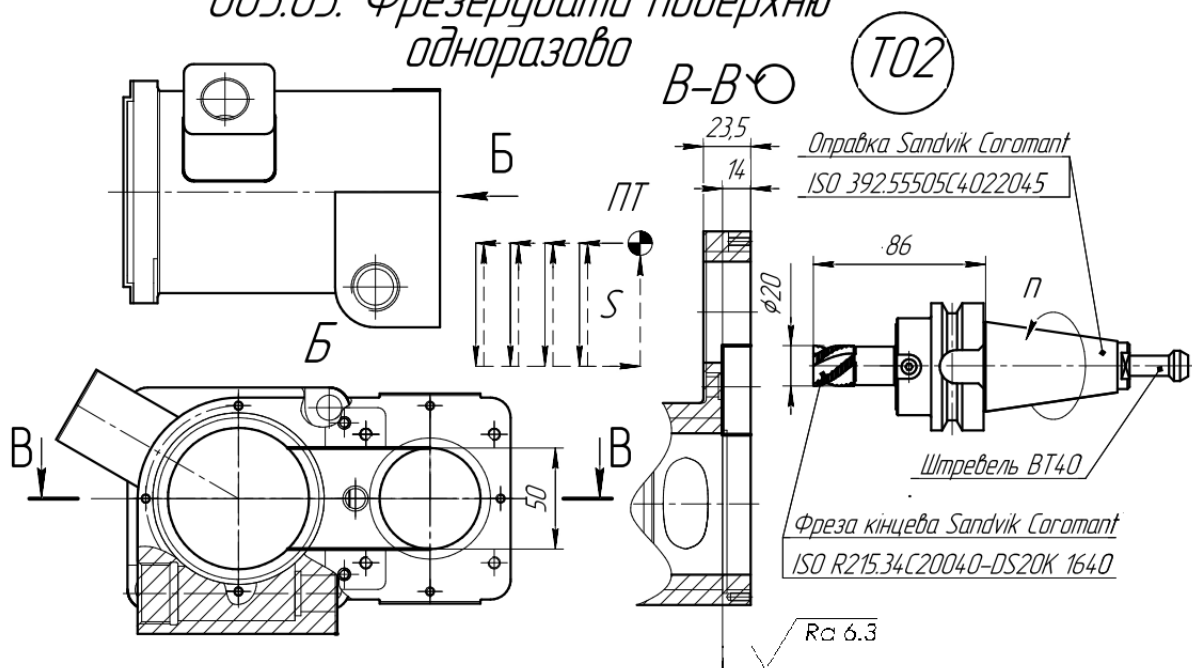
№ Свідоцтва № 19901					ДПБ.МТ615.ЮК		
№	Роз.	Видання	Розд.	Дата	Пристрій верстатний для операції ОЮ		
1. назв.					Вс.	Маса	Маса
2. код.							
3. код.					Тиск	Повтор	
					КІП ім. Удмуртського МТ-61		

ДОДАТОК Г. Схеми технологічних переходів

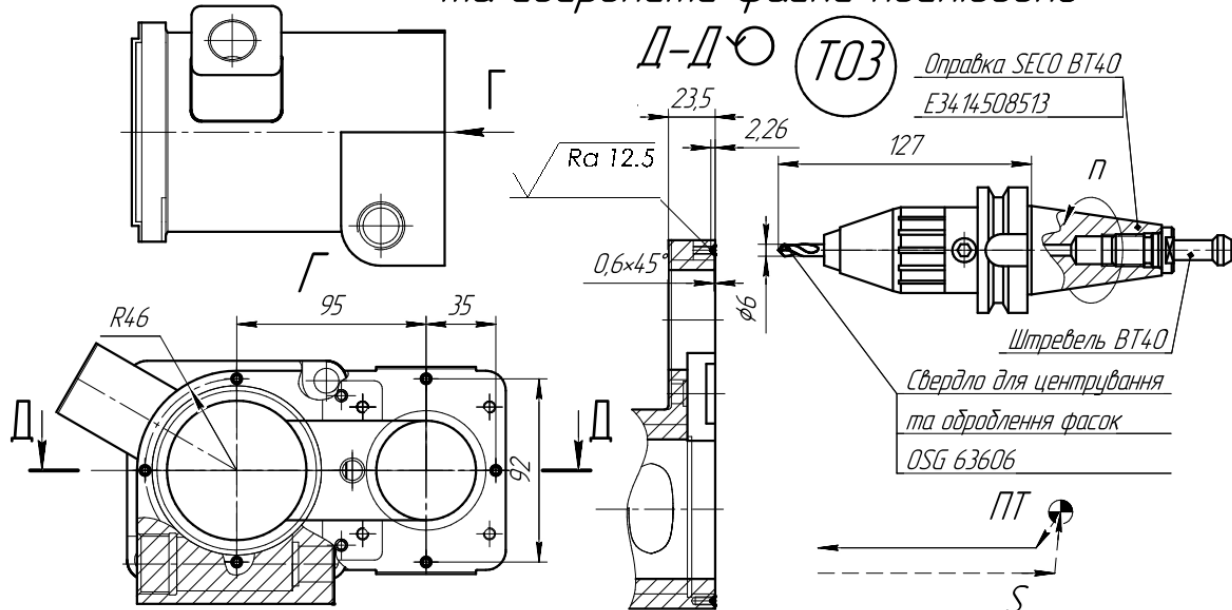
005.02. Фрезерувати поверхню одноразово



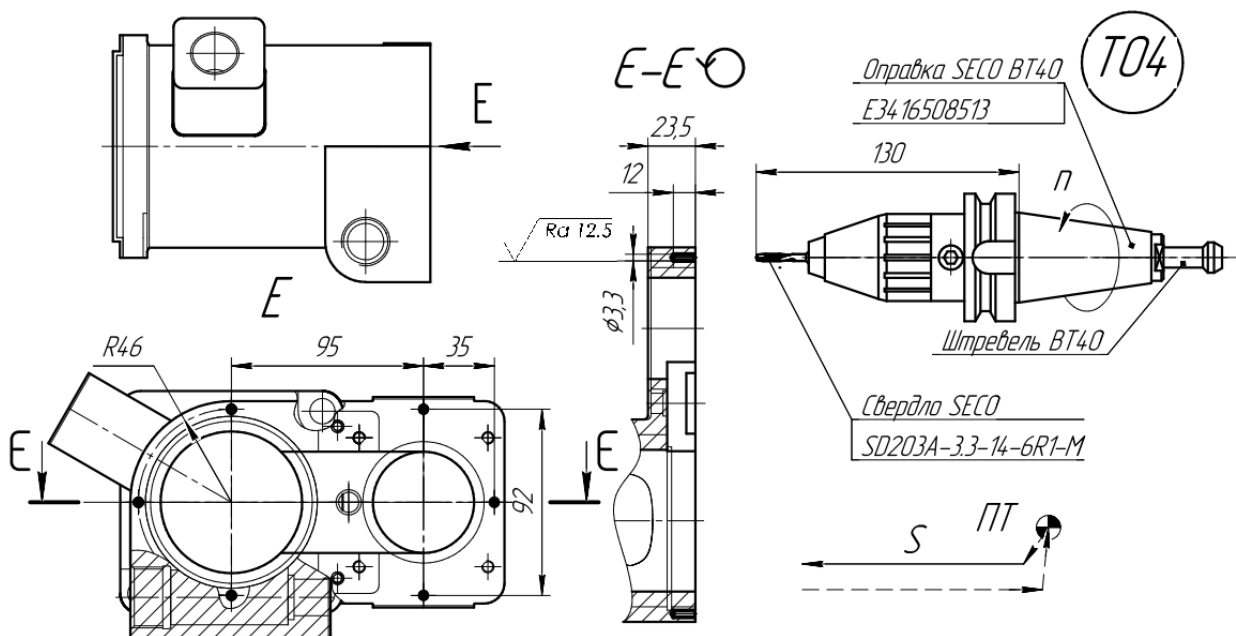
005.03. Фрезерувати поверхню одноразово



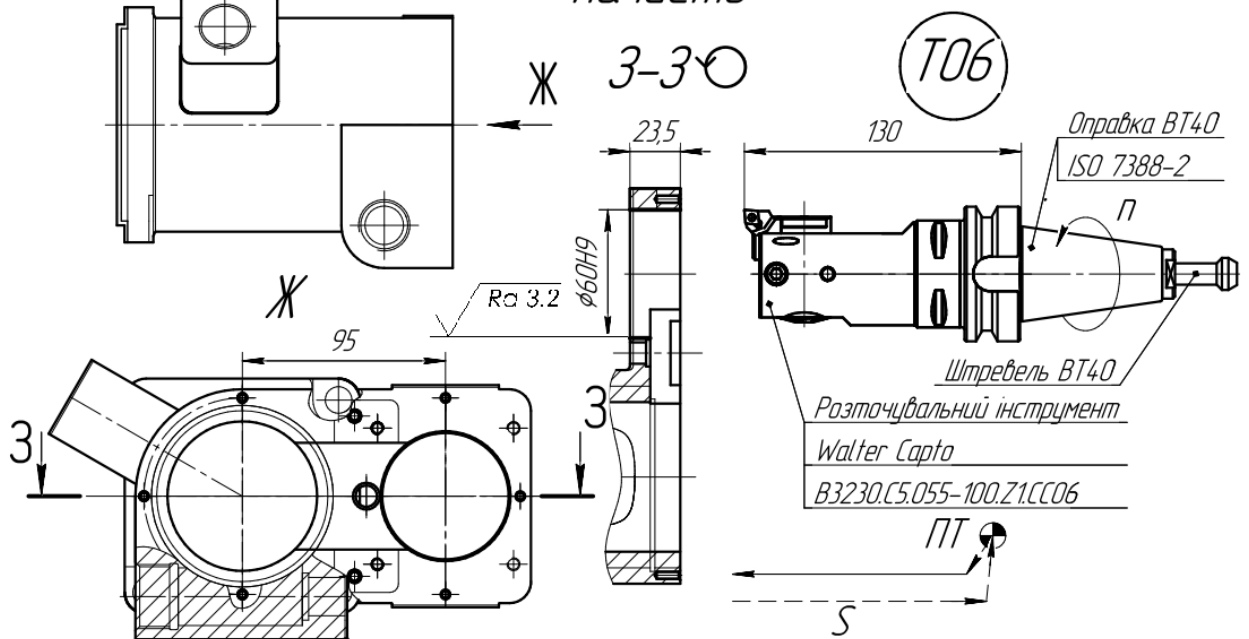
005.05. Центрувати положення осей 6 отворів та свердлити фаски послідовно



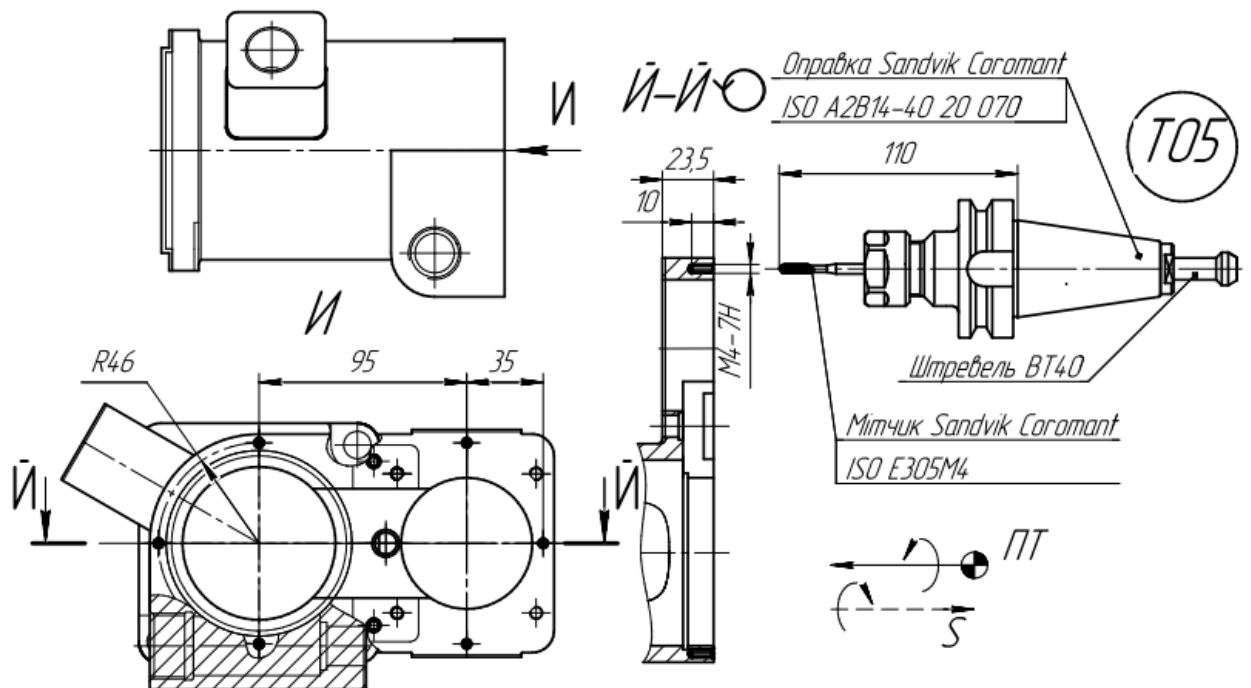
005.08. Свердлити 6 отворів послідовно



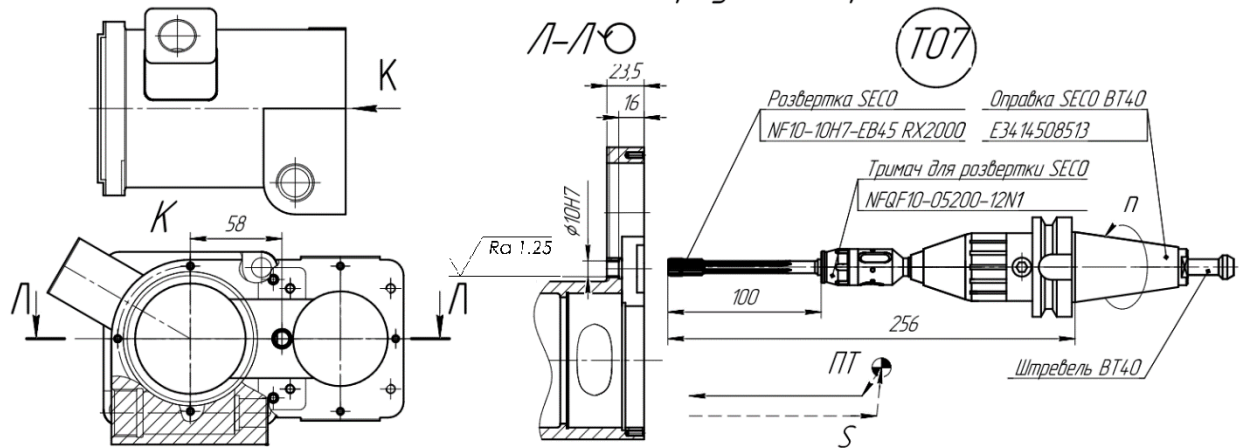
005.13. Розточити отвір
начисто



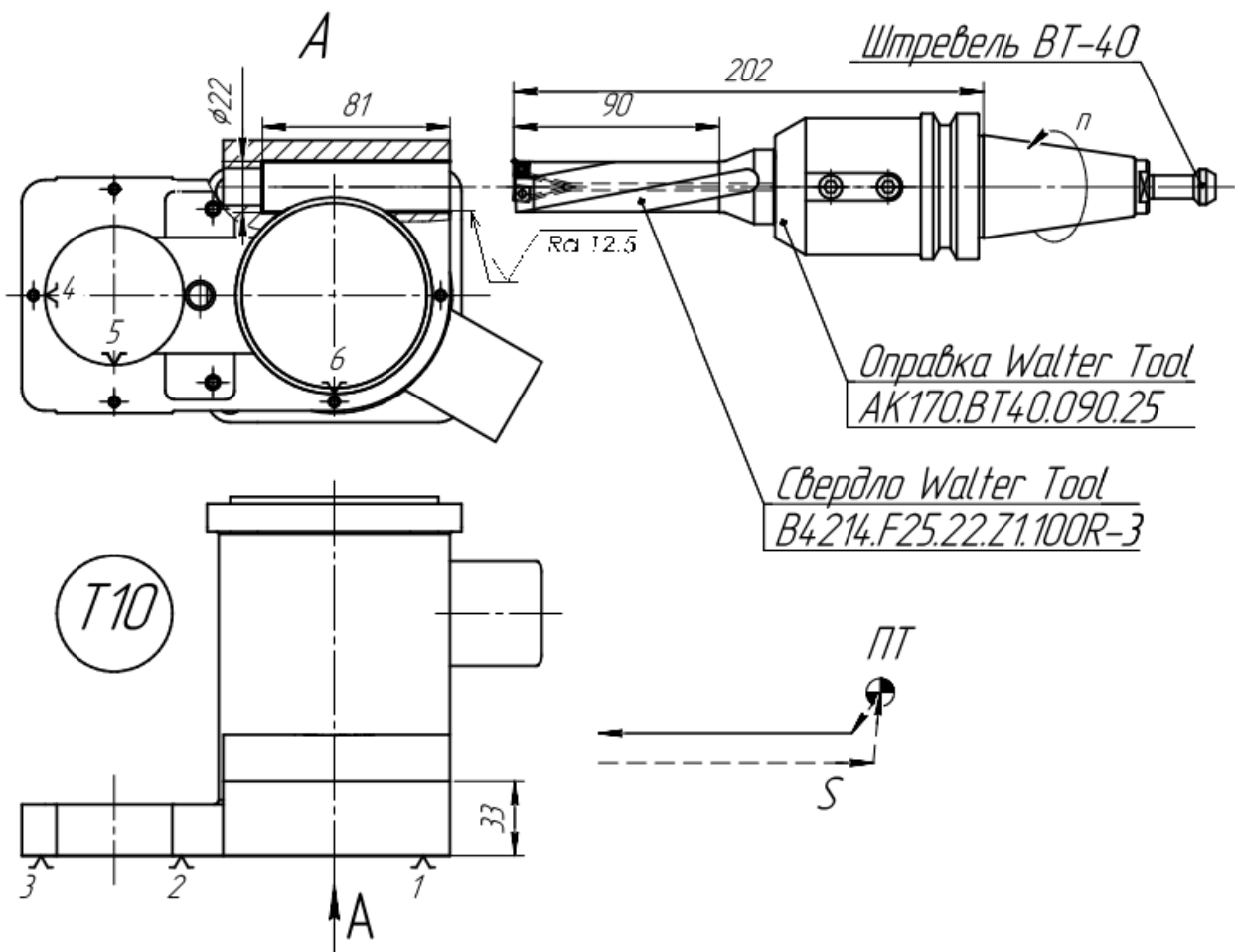
005.21. Нарізати різьди в 6 отворах
попередньо



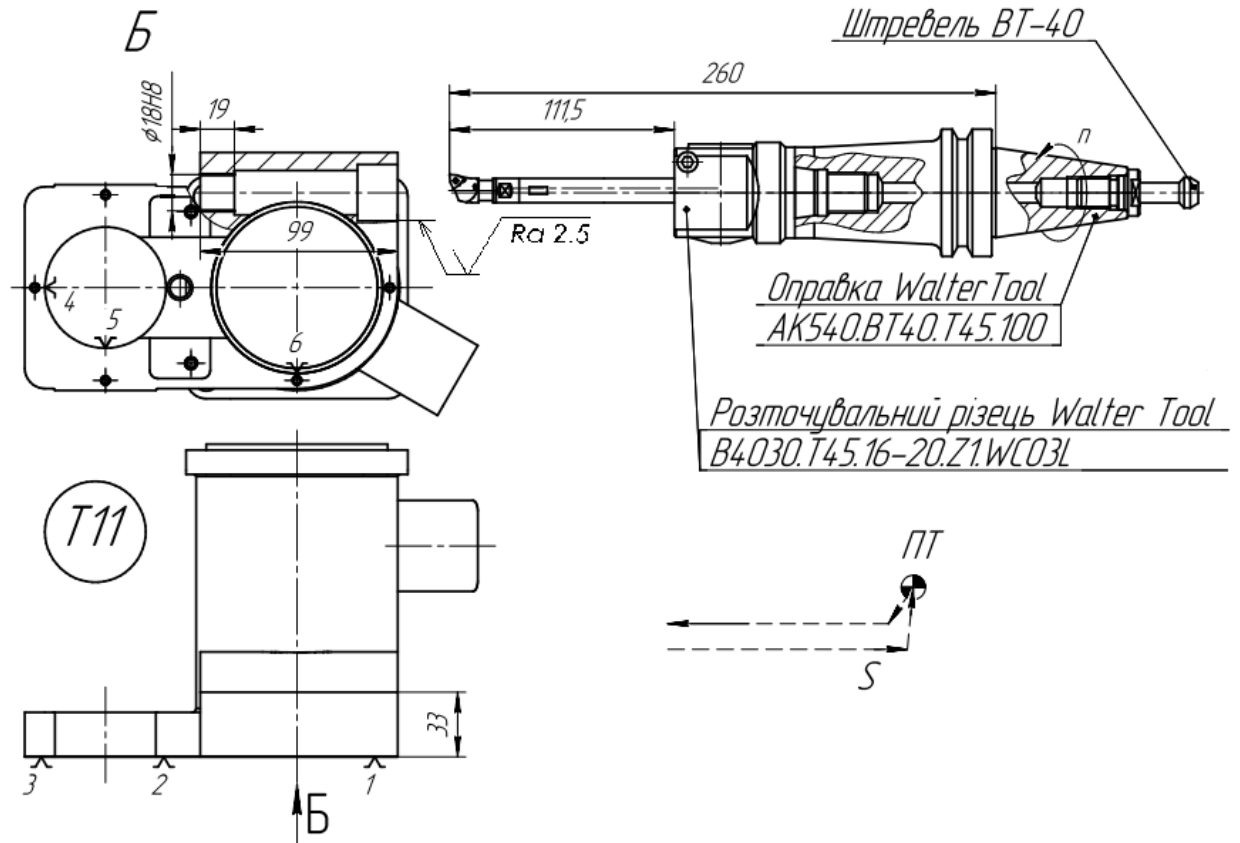
005.20. Розвернути отвір



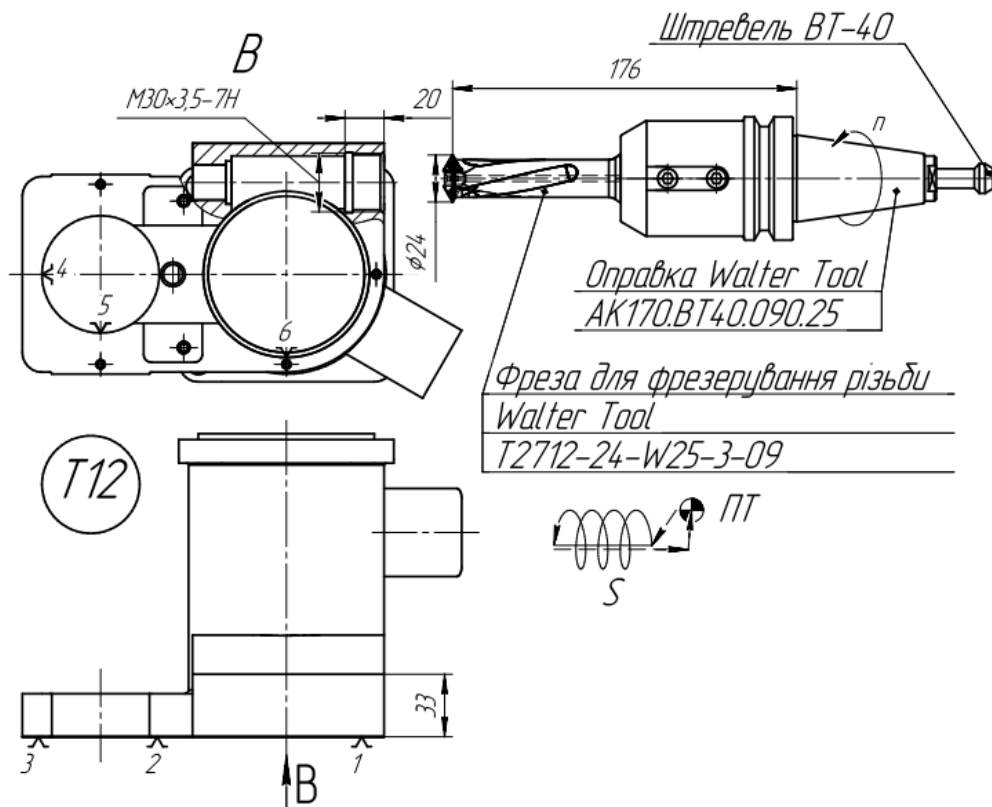
010.02. Свердлити отвір



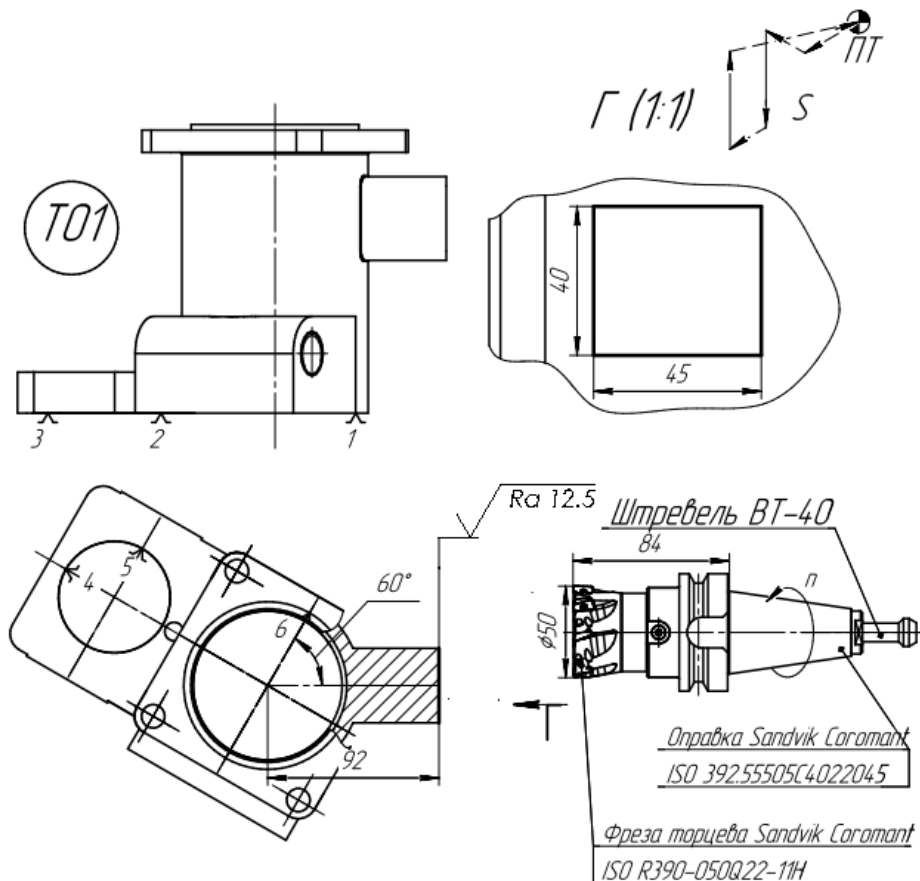
010.05. Розточити отвір начисто



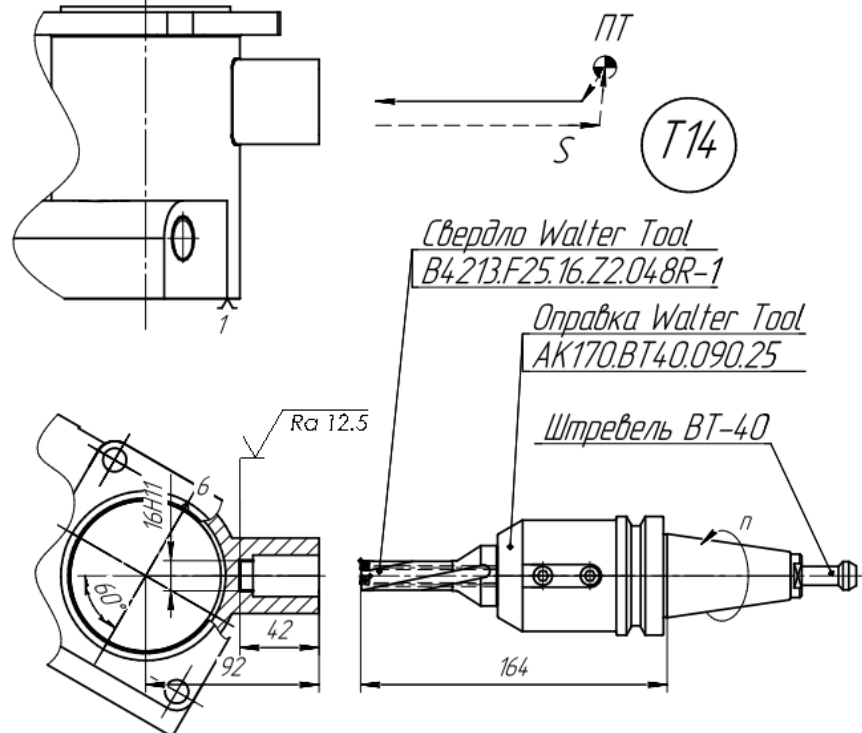
010.10. Фрезерувати різьбу



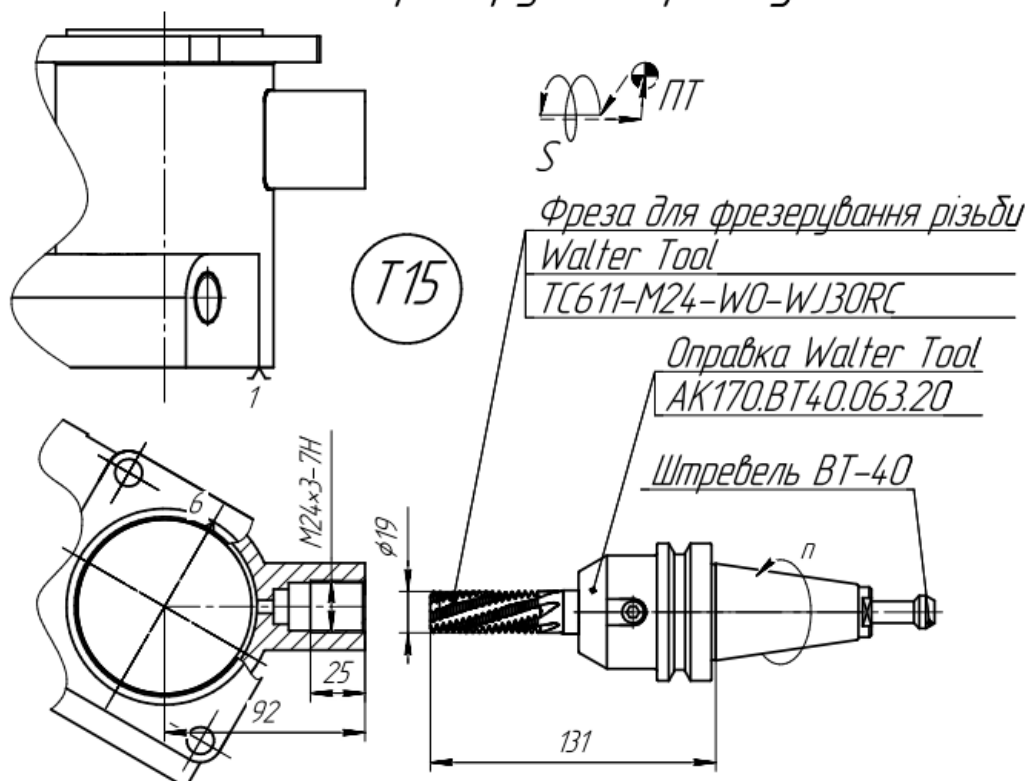
010.14. Фрезерувати поверхню одноразово



010.15. Свердлити отвір



010.20. Фрезерувати різьбу



010.27. Фрезерувати поверхню одноразово

