

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра (Машинобудування, транспорту і зварювання)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра


на тему

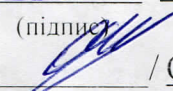
Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з
підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталі типу
«Корпус фільтра генератора моделі ГП21» за рахунок застосування токарно-
фрезерного обробного центру


(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ЗПОМ24мг
спеціальності: A5.34 Професійна освіта
(Машинобудування)

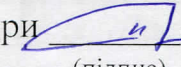
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

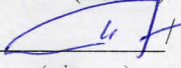
 / Василь БАЛІН
(підпис) (ім'я та прізвище)

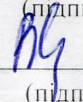
Керівник  / Олег КОНДРАТЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент  / Костянтин БРОВКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  / Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль  / Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

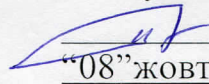
Секретар ЕК  / Валентина СКОРКІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання
Спеціальність А5.34 «Професійна освіта (Машинобудування)»
Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТіЗ

 О.Л. Подоляк
“08” жовтня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

другого (магістерського) рівня вищої освіти

студенту (ці) Василю БАЛІНУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталі типу «Корпус фільтра генератора моделі ГП2 І» за рахунок застосування токарно-фрезерного обробного центру.

затверджена наказом 4801-5/3665 від 06.10.2025 р.

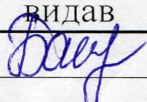
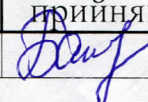
2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи “09” грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Креслення деталі, річна програма – 250 шт., нормативні документи, паспортні дані обладнання, каталоги на різальний інструмент, стандарти на засоби технічного оснащення, норми часу.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Аналіз проблем при виготовленні високотехнологічних виробів авіаційної промисловості. Постановка задачі. Технологічна частина. Конструкторська частина. Симуляція обробки корпусу фільтра в SolidCAM. Застосування високотехнологічного встаткування. Дослідження спрямоване на удосконалення існуючого технологічного процесу виготовлення деталі. Методичний розділ. Додатки.

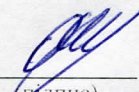
5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів: 1. Аналіз проблем при виготовленні високотехнологічних виробів авіаційної промисловості. Постановка задачі. 2. Загальна характеристика деталі. 3. Базування деталі. 4, 5, 6, 7. Розробка нового технологічного процесу. 8. Автоматизація вибору інструменту для токарно-фрезерної обробки. 9. Симуляція обробки корпусу фільтра в SolidCAM. 11. Застосування високотехнологічного встаткування. 12-13. Дослідження спрямоване на удосконалення існуючого технологічного процесу виготовлення деталі. 14. Економічне обґрунтування, висновки по роботі.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Бакуменко Л.Г.			


7. Дата видачі завдання «09» жовтня 2025 р.

Керівник


(підпис)

Олег КОНДРАТЮК
(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання


(підпис)

Василь БАЛІН
(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної роботи

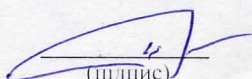
№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.		
2.	Складання плану роботи. Підбор літератури й інших джерел		
3.	Оформлення завдання проектування для затвердження теми кваліфікаційної роботи		
4.	Підготовка аналітичної частини		
5.	Підготовка теоретичної частини		
6.	Розробка дослідницької частини		
7.	Розробка методичного розділу		
8.	Підготовка графічного матеріалу		
9.	Доробка проекту по зауваженнях наукового керівника		
10.	Доробка проекту по зауваженнях консультантів		
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи. Підготовка до захисту.		
12.	Захист кваліфікаційної роботи		

Здобувач вищої освіти


(підпис)

Василь БАЛІН
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль


(підпис)

Олег ПОДОЛЯК
(ім'я, прізвище)

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце;
ВПД – верстат-приспособлення-інструмент-деталь;
ГАЛ – гнучкі автоматизовані лінії;
ГВМ – гнучкий виробничий модуль;
ГВМ – гнучкі виробничі модулі;
ГВС – гнучкі виробничі системи
год. – години;
ГТП – груповий технологічний процес;
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;
ЗОТС – змащувально-охолоджувальні технологічні середовища;
ІМ – інтерфейсні модулі
КП – керуюча програма
мм – міліметр;
МОД - маршруту обробки деталей
об – оберти;
од. – одиниці;
п/п – по порядку;
ПЗ – програмне забезпечення
ПР – промисловий робот;
рис. – рисунок;
САПР – система автоматизованого проектування
СЧПК – система числового програмного керування
табл. – таблиця;
ТП – технологічний процес;
ТПВ – технологічна підготовка виробництва;
УЗП – універсально-збірні пристосування;
УЗПО – універсально-збірні переналагоджувані оснащення
хв. – хвилина;
ЧПК – числове програмне керування;

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна випускна магістерська робота присвячена розробленню та оптимізації прогресивного технологічного процесу виготовлення деталі типу «корпус фільтра генератора» при обсязі виробництва 250 штук. Об'єктом дослідження є процес механічної обробки корпусу фільтра, предметом – методи оптимізації параметрів обробки для зниження собівартості та підвищення якості поверхні.

У роботі проведено аналіз базового технологічного процесу й виконано його удосконалення шляхом концентрації операцій та застосування сучасного високотехнологічного обладнання. Розроблено новий технологічний процес виготовлення деталі ГП 21.971 та комплект конструкторсько-технічної документації.

Виконано розрахунки режимів різання та обґрунтовано вибір обладнання, що дозволило підвищити продуктивність праці на 92,86% і знизити собівартість обробки на 60,04%. Проведено планування та реалізацію віртуального повнофакторного експерименту 2². На основі дисперсійного аналізу встановлено раціональні режими токарної обробки зовнішньої циліндричної поверхні Ø25f7: швидкість різання 226 м/хв, подача 0,131 мм/об при глибині різання 0,25 мм, що забезпечує шорсткість поверхні Ra 1,6 мкм.

Окрему увагу приділено методичній частині роботи, у межах якої створено дидактичний проєкт професійної підготовки майбутніх фахівців машинобудівної галузі щодо опанування технологій оптимізації виготовлення корпусних деталей на сучасних токарно-фрезерних центрах. Запропонований підхід сприяє підвищенню точності, стабільності та продуктивності виготовлення корпусу фільтра генератора моделі ГП21.

Отримані результати підтверджують ефективність упровадження нового обладнання та розробленого технологічного процесу у виробничу практику

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЯ, РІЖУЧИЙ ІНСТРУМЕНТ, ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИЙ, ТОЧНІСТЬ, ОБРОБЛЮЮЧИЙ ЦЕНТР, СУЧАСНИЙ, КОРПУС ФІЛЬТРУ.

ABSTRACT

The qualification final master's thesis is devoted to the development and optimization of a progressive technological process for manufacturing a part of the "generator filter housing" type with a production volume of 250 pieces. The object of the study is the process of mechanical processing of the filter housing, the subject is methods for optimizing processing parameters to reduce cost and improve surface quality.

The work analyzes the basic technological process and improves it by concentrating operations and using modern high-tech equipment. A new technological process for manufacturing a part of GP 21.971 and a set of design and technical documentation have been developed.

Calculations of cutting modes have been performed and the choice of equipment has been justified, which has allowed to increase labor productivity by 92.86% and reduce the cost of processing by 60.04%. A virtual full-factorial experiment 2^2 has been planned and implemented. Based on the variance analysis, rational modes of turning the outer cylindrical surface $\text{Ø}25\text{f}7$ were established: cutting speed 226 m/min, feed 0.131 mm/rev at a cutting depth of 0.25 mm, which provides a surface roughness Ra of 1.6 μm .

Special attention is paid to the methodological part of the work, within which a didactic project for the professional training of future specialists in the mechanical engineering industry was created to master the technologies for optimizing the manufacture of housing parts on modern turning and milling centers. The proposed approach contributes to increasing the accuracy, stability and productivity of the manufacture of the filter housing of the GP21 generator model.

The results obtained confirm the effectiveness of the introduction of new equipment and the developed technological process into production practice.

Keywords: TECHNOLOGY, CUTTING TOOL, HIGH-TECH, PRECISION, MACHINING CENTER, MODERN, FILTER HOUSING.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП.....	10
1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦЯ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ФІЛЬТРА ГЕНЕРАТОРА МОДЕЛІ ГП21» ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНОГО ОБРОБНОГО ЦЕНТРУ»	13
1.1 Сучасні вимоги до професійних компетентностей фахівців машинобудівних підприємств	15
1.2 Проблеми та суперечності у підготовці фахівців до роботи з токарно-фрезерними обробними центрами	20
1.3 Необхідність удосконалення професійної підготовки фахівців	24
1.4 Висновки по першому розділу	29
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	31
2.1 Характеристика підприємства , спеціалізація, продукція, нові напрямки діяльності	31
2.1.2 Спеціалізація	31
2.1.3 Продукція	31
2.1.4 Нові напрямки діяльності	31
2.1.5 Пріоритетні напрямки розвитку	33
2.2.1 Характеристика і аналіз об'єкта виробництва	33
2.2.2 Загальна характеристика деталі	34
2.3 Визначення типу виробництва	35
2.4 Аналіз технологічності	36
2.4.1 Якісна оцінка технологічності деталі	36
2.4.2 Кількісна оцінка технологічності конструкції	37
2.5 Вибір типу заготовки	39
2.6 Вибір і обґрунтування маршруту технологічного процесу	40

2.6.1	Вибір і обґрунтування маршруту обробки деталей (МОД)	41
2.6.2	Розробка нового технологічного процесу	43
2.7	Розрахунки припусків на механічну обробку	45
2.7.1	Визначення припусків і технологічних розмірів на внутрішню циліндричну поверхню $\varnothing 19^{+0,28}$	45
2.7.2	Визначення припусків і технологічних розмірів на внутрішню циліндричну поверхню $74,5_{-0,74}$	47
2.8	Вибір і обґрунтування схем базування деталі по операціях	50
2.9	Вибір різального інструменту	51
2.10	Розрахунки режимів різання і норм часу обробки деталі	52
2.10.1	Розрахунки режимів різання	52
2.10.2	Нормування технологічних операцій	60
2.11	Розробка програми для обробки деталі «Корпус фільтра генератора моделі ГП21»	61
3.	КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	62
3.1	Розрахунки і проектування спеціального верстатного пристосування	62
3.1.1	Призначення і опис роботи пристосування.....	62
3.1.2	Аналіз схеми базування деталі, вибір і обґрунтування настановних елементів пристосування	63
3.1.3	Розрахунки точності базування заготовки в пристосуванні аналіз точності виконання розміру	64
3.2	Проектування різальних інструментів – розрахунки свердла	67
3.2.1	Аналіз операції 075 (свердління)	67
3.2.2	Проектування свердла для операції 075	69
3.3	Автоматизація вибору інструменту для токарно-фрезерної обробки	72
3.3.1	Процедура автоматизованого вибору інструментів	72
3.4	Симуляція обробки корпусу фільтра в SolidCAM	76
3.4.1	Симуляція в SolidCAM (покроковий опис)	80
3.4.2	Аналіз точності та шорсткості	83

3.5	Висновки по другому розділу	83
4.	ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОГО ВСТАТКУВАННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ДЕТАЛІ ГП 22.971	84
4.1	Високі технології на ГП ХМЗ «ФЕД».....	84
4.2	Вибір високотехнологічного встаткування	85
4.2.1	Вибір устаткування для обробки циліндричних поверхонь	85
4.2.2	Вибір устаткування для обробки шестигранного отвору	89
4.2.3	Вибір вимірювального встаткування	95
4.3	Централізація керування	98
4.4	Переваги високотехнологічного встаткування перед традиційним при обробці деталі ГП 22.971	98
5.	ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ НОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ "КОРПУС ФІЛЬТРА"	100
5.1	Організаційний план. Розрахунки кількості робочих місць і робітників	100
5.2	Стратегія маркетингу. Економічне обґрунтування варіанта технологічного процесу	101
5.2.1	Розрахунки елементів технологічної собівартості	103
5.3	Фінансовий план. Розрахунки собівартості деталі і кошторису витрат на проведення продукції	104
5.3.1	Розрахунки капітальних витрат по варіантах	104
5.3.2	Аналіз ефективності процесу обробки	105
5.3.3	Розрахунки ціни деталі	105
6	ДОСЛІДЖЕННЯ СПРЯМОВАНЕ НА УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ	107
6.1	Методологія дослідження та планування експерименту	107
6.2	Експериментальне дослідження	110
7.	РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ «ПІДВИЩЕННЯ	116

	ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ФІЛЬТРА ГЕНЕРАТОРА МОДЕЛІ ГП21» ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНОГО ОБРОБНОГО ЦЕНТРУ»» ДЛЯ ФАХІВЦЯ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ	
7.1	Постановка цілей факультативного заняття	116
7.2	Перелік літературних джерел	118
7.3	Конструювання дидактичних матеріалів	118
7.4	Аналіз базових умов навчання	122
7.5	Проектування мотиваційних технологій навчання	125
7.6	Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті	126
7.7	Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті	127
7.8	Проектування контрольних дій	128
7.9	Розробка сценарію факультативного заняття	130
7.10	Висновки	131
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	133
	СПИСОК ВИКОРИСТОВУВАНИХ ДЖЕРЕЛ	135
	ДОДАТОК А. Комплект документів на технологічний процес виготовлення деталі	140
	ДОДАТОК Б. Пристосування	145
	ДОДАТОК В. Програма для «стійки» Sinumerik 820d верстата MAST MLS SX12 на обробку деталі «корпус фільтру насоса»,	148
	ДОДАТОК Д. Графічний матеріал (презентація).....	151

ВСТУП

В основі виробничого процесу лежить технологічний процес. Він містить у собі всі операції обробки, зв'язані безпосередньо зі зміною форми, розмірів і властивостей виготовленого виробу, виконувані а певної послідовності. Розрізняють такі технологічні процеси: обробка тиском, механічна обробка, термічна обробка, складання і багато інші. На заводі технологічні процеси і технологічну документацію розробляє відділ головного технолога. Правильно розроблені технологічні процеси забезпечують виконання всіх операцій по виготовленню промислової продукції з мінімальними витратами матеріалів, праці і енергії.

Види виробництв. Для цього типу виробництва характерне застосування універсального обладнання, на якому обробляються різноманітні за формою і величині деталі, універсальні пристосування і вимірювальний інструмент, значна кількість ручних робіт, використання висококваліфікованих робітників. Собівартість деталей на таких заводах значно вище, чим на заводах з іншим характером виробництва, а продуктивність праці набагато нижче. Типовими представниками такого типу виробництва є заводи важкого машинобудування, турбінні, суднобудівні, хімічного машинобудування і ін. Крім того, на сучасних машинобудівних заводах з масовим і серійним характером виробництва є експериментальні цехи, де створюються нові зразки машин в одному або декількох екземплярах, що характерно для індивідуального виробництва.

Серійне виробництво характеризується випуском певних партій (серій) однакових виробів, які повторюються через певні проміжки часу, застосуванням високопродуктивного спеціального устаткування, пристосувань, оснащення і інструмента. Залежно від розміру партії (серії) виробів, що випускаються, розрізняють три типи серійного виробництва: багатосерійне, яке за своїм характером наближається до масового, середнє серійне і дрібносерійне. Масове виробництво характеризується випуском великої кількості однакових виробів (машин) протягом тривалого часу, вузькою спеціалізацією робочих місць, застосуванням високопродуктивного

спеціального устаткування (автоматичних ліній, верстатів-автоматів і напіваавтоматів, агрегатних верстатів), а також спеціальних оснащення, пристосувань і інструментів, широкою взаємозамінністю деталей.

ГП ХМЗ «ФЕД», м. Харків спеціалізується на розробці і виробництві приладів та засобів автоматизації технологічних процесів: пневматичних, електропневматичних, електрогідравлічних, мікропроцесорних, високоефективних пневматичних і електропневматичних виконавчих механізмів.

Основна продукція: Позиціонери електропневматичні ПЕП-1; -2; -3; -4. Сигналізатори перепаду тиску СПД-10/ 120-В; -Г. Механізми виконавчі пневматичні МВП-П; -Е; -ПТ. Електрогідравлічні реле КЕГ. Регулятори, реле, електрогідравлічні сервоклапани. Уся продукція ГП ХМЗ «ФЕД» відповідає світовому технічному рівню і може поставлятися в різні країни з різним кліматом. Постійними замовниками продукції ГП ХМЗ «ФЕД» є підприємства металургійної та хімічної, нафтогазовидобувної і нафтопереробної, авіаційної і суднобудівної, цукрової і зернопереробної, целюлозно-паперової і енергетичної промисловості

Великий інженерно-конструкторський, потенціал, унікальне устаткування, використання технології двигунобудування дозволили підприємству швидко освоїти проектування і виготовлення запірно-фонтанного та розподільчого та запобіжного обладнання для нафтогазовидобутку, устаткування для переробки, транспортування нафти і газу.

Однією з цілей цієї роботи є модернізація технологічного процесу і засобів технологічного оснащення, використовуваних в умовах серійного виробництва.

Для досягнення зазначеної мети були прийняті наступні техніко-економічні розв'язки:

- величини припусків на механічну обробку вихідної заготовки, одержуваним штампуванням у закритих рознімних штампах, були наведені у відповідність із рекомендованими довідковою літературою параметрами;

- при виборі режимів механічної обробки корпусу генератора ГП-5 були враховані рекомендації з вибору економічно доцільних режимів різання;

- замість застосовуваного у базовому технологічному процесі застарілого універсального обладнання в умовах крупносерійного виробництва було використано нові верстати з ЧПК китайського виробництва;

- замість універсально-збірного технологічного оснащення і стандартного міряльного інструмента було спроектовано і застосоване спеціальне оснащення.

Об'єкт дослідження – процес механічної обробки деталі «корпус фільтру» з обсягом випуску 250 шт.

Предмет дослідження – методи оптимізації параметрів нового технологічного процесу механічної обробки деталі для забезпечення мінімальної собівартості та високої якості поверхні.

Методи дослідження

У роботі застосовано комплекс теоретичних методів дослідження, спрямованих на модернізацію технологічного процесу та засобів технологічного оснащення, що використовуються в умовах серійного виробництва.

До основних методів належать: аналіз і узагальнення науково-технічної літератури – для вивчення сучасних тенденцій розвитку технологічних процесів механічної обробки та систем оснащення; порівняльний аналіз існуючих технологічних рішень – з метою виявлення їх переваг і недоліків; аналітичні та інженерні розрахунки – для обґрунтування параметрів модернізованого процесу; моделювання технологічних схем і маршрутів обробки із використанням сучасних програмних засобів, що дозволили оцінити ефективність запропонованих рішень з точки зору продуктивності, собівартості та якості виробів.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦЯ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ФІЛЬТРА ГЕНЕРАТОРА МОДЕЛІ ГП21» ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНОГО ОБРОБНОГО ЦЕНТРУ»

Розроблення ефективної системи професійної підготовки фахівців, здатних забезпечувати оптимальну технологічну підготовку виробництва корпусу фільтра генератора моделі ГП21 із застосуванням токарно-фрезерного обробного центру, є актуальним завданням сучасної інженерної освіти та виробництва. Це дозволить не лише підвищити якість виготовлення корпусних деталей, але і сприятиме зміцненню технологічної стійкості підприємств у конкурентному середовищі та переходу до інноваційних моделей розвитку.

Актуальність дослідження визначається потребою підприємств у висококваліфікованих кадрах, що володіють компетентностями у сфері цифрової технологічної підготовки виробництва, інтегрованої обробки на токарно-фрезерних центрах і раціонального використання сучасних САМ-систем. Наявні освітні програми не завжди забезпечують достатній рівень практикоорієнтованої підготовки з урахуванням новітніх технологічних рішень, що зумовлює необхідність створення нових методичних підходів до навчання операторів, технологів і інженерів.

Метою дослідження у методичній частині випускної кваліфікаційної роботи є розроблення та теоретичне обґрунтування дидактичного проекту професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі, спрямованого на ефективне опанування методів оптимізації технологічної підготовки виробництва корпусних деталей із використанням сучасних токарно-фрезерних обробних центрів. Реалізація цього проекту має забезпечити підвищення точності, продуктивності та стабільності виготовлення корпусу фільтра генератора моделі ГП21.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасний стан та тенденції розвитку професійної підготовки операторів, технологів і інженерів машинобудівних підприємств, які працюють із токарно-фрезерними обробними центрами та використовують цифрові технології підготовки виробництва корпусних деталей.
2. Визначити вимоги до професійних компетентностей фахівців, що забезпечують ефективну технологічну підготовку виробництва корпусу фільтра генератора моделі ГП21, зокрема в галузі оптимізації маршрутів обробки, вибору режимів різання, управління оснасткою та програмування ЧПК.
3. Розробити дидактичний проєкт заняття «Підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталі типу «Корпус фільтра генератора моделі ГП21» за рахунок застосування токарно-фрезерного обробного центру», який включатиме методичні матеріали, практичні завдання.

Об'єкт дослідження – процес професійної підготовки фахівців машинобудівних підприємств у сфері використання сучасних технологій обробки корпусних деталей на токарно-фрезерних обробних центрах для забезпечення високої ефективності технологічної підготовки виробництва.

Предмет дослідження – професійна підготовка фахівців, спрямована на формування професійних компетентностей щодо оптимізації технологічних процесів виготовлення деталі типу «Корпус фільтра генератора моделі ГП21» із застосуванням токарно-фрезерного обробного центру та цифрових засобів підготовки виробництва.

Методи дослідження: системний, структурний і порівняльний аналіз науково-технічних, навчально-методичних та виробничих матеріалів; розробка дидактичних матеріалів, практичних завдань.

Наукова новизна полягає у створенні інтегрованої дидактичної системи професійної підготовки фахівців, що поєднує цифрові технології моделювання, методи оптимізації технологічної підготовки виробництва та практичні прийоми роботи з токарно-фрезерним обробним центром при виготовленні корпусних деталей.

Практичне значення полягає в можливості використання розроблених навчально-методичних матеріалів у системі професійної освіти, виробничих центрах і на курсах підвищення кваліфікації.

Запропоновані методичні рішення: удосконалюють систему підготовки фахівців, що працюють із токарно-фрезерними обробними центрами; сприяють скороченню часу технологічної підготовки виробництва корпусних деталей; підвищують точність, надійність і стабільність обробки корпусу фільтра генератора моделі ГП21; створюють умови для інтеграції цифрового моделювання в навчальний процес; підтримують розвиток компетентностей, необхідних для роботи в умовах сучасного цифрового машинобудівного виробництва.

1.1. Сучасні вимоги до професійних компетентностей фахівців машинобудівних підприємств

Стрімкий розвиток цифрових технологій, автоматизації та інтелектуальних виробничих систем істотно трансформує вимоги до професійної підготовки фахівців машинобудівних підприємств. Традиційні підходи, коли в центрі уваги перебувало виключно опанування окремих технологічних операцій, перестають відповідати реаліям сучасного виробництва. Замість вузькоспеціалізованих умінь дедалі важливішими стають комплексні компетентності, що охоплюють цифрову підготовку виробництва, аналітичні навички, здатність до оптимізації технологічних процесів, роботу з інформаційними моделями та ефективного використання сучасних верстатів з ЧПК, зокрема токарно-фрезерних обробних центрів.

Машинобудування сьогодні функціонує в умовах переходу до концепції Індустрії 4.0, де ключовими є інтеграція інформаційних технологій, автономізація процесів і гнучкість виробництва. У таких умовах фахівець має не лише розуміти принципи роботи обладнання, але і володіти навичками аналізу його цифрових моделей, прогнозування результатів обробки, адаптації технологічних схем під конкретні виробничі завдання. Це вимагає якісно нового

рівня підготовки, який поєднує інженерне мислення, цифрову грамотність та готовність працювати з високотехнологічними виробничими комплексами.

У цьому контексті особливого значення набувають компетентності у сфері цифрової технологічної підготовки виробництва, навички роботи з CAD/CAM-системами, здатність оптимізувати маршрути обробки корпусних деталей і готовність до міжпрофесійної адаптивності. Саме ці компоненти становлять основу конкурентоспроможності сучасного технолога, оператора або інженера.

Цифрова технологічна підготовка виробництва (ЦТПВ) є ключовою складовою сучасного машинобудівного процесу. Вона охоплює створення цифрових моделей виробів, проектування технологічних маршрутів, вибір оснащення, розрахунок режимів обробки та інтеграцію цих даних у виробниче середовище. Для ефективної роботи фахівець повинен володіти низкою професійних компетентностей.

По-перше, він має вміти аналізувати конструкторську документацію та створювати точні цифрові моделі деталей. У випадку виготовлення корпусних елементів, таких як корпус фільтра генератора моделі ГП21, це передбачає правильне відображення складної геометрії, специфічних функціональних поверхонь, посадочних місць, різьбових зон та елементів із підвищеною точністю.

По-друге, фахівець повинен володіти методиками вибору оптимальної технологічної бази, визначення послідовності операцій і застосування правильних інструментів, що особливо критично для корпусних деталей, де навіть незначні відхилення можуть призвести до функціональних порушень.

По-третє, цифрова підготовка виробництва вимагає здатності працювати з технологічними симуляторами, прогнозувати результати обробки, виявляти потенційні конфлікти у траєкторії інструменту та мінімізувати ризики браку. Завдяки цифровому моделюванню фахівець може оцінити стабільність процесу, визначити найбільш ресурсоощадні режими та запобігти невиправданим витратам на переналагодження обладнання.

Таким чином, компетентності в галузі ЦТПВ забезпечують інженерові можливість приймати обґрунтовані технологічні рішення, які суттєво скорочують час підготовки виробництва, підвищують точність обробки та зменшують кількість помилок при виготовленні складних деталей.

Сучасний фахівець машинобудівного підприємства повинен бути впевненим користувачем CAD/CAM-систем, оскільки ці інструменти є основою цифрового проектування та виготовлення деталей. Популярні платформи на кшталт SolidWorks, Fusion 360, Siemens NX, Mastercam або Creo дозволяють не лише створювати точні уніфіковані моделі, але і формувати оптимальні траєкторії обробки, підбирати інструмент, розраховувати режими різання та симулювати процес у середовищі реального виробництва.

Компетентний фахівець повинен розуміти:

- специфіку побудови 3D-моделі корпусних деталей;
- вплив конструкторських рішень на технологічність виготовлення;
- алгоритми побудови САМ-траєкторій для токарних, фрезерних та комбінованих операцій;
- методи уникнення зіткнень і надмірних навантажень;
- принципи оптимізації інструментальних переходів.

Програмування ЧПК є логічним продовженням роботи в САМ-середовищі. Попри широке використання постпроцесорів, які автоматично генерують код, фахівець має розуміти структуру програм, правила побудови G- та M-кодових команд, можливості корекції в реальному часі та принципи параметричного програмування. Це дозволяє адаптувати програми під конкретні особливості обробного центру, виправляти неточності та контролювати стабільність процесу.

Для токарно-фрезерних центрів, які здійснюють багатовісну інтегровану обробку, знання САМ-методів є критично необхідним. Програмування таких комплексів вимагає врахування осьової кінематики, узгодження міжплощинної обробки та точного позиціонування деталі. Від цього залежить якість

виготовлення складних корпусів, таких як корпус фільтра, де ключовими параметрами є співвісність, точність розташування отворів і чистота поверхонь.

Корпусні деталі належать до одних із найбільш складних у виготовленні. Вони поєднують у собі різні типи поверхонь, внутрішні порожнини, отвори, канавки і посадкові елементи. Виготовлення такої деталі потребує не лише правильного вибору інструмента, але і раціонального проектування маршруту обробки.

Фахівець повинен володіти такими навичками:

1. Проектування технологічних маршрутів з урахуванням функціонального призначення деталі. Не всі поверхні мають однакове значення, і їхня точність повинна відповідати конструктивним вимогам. Важливо правильно визначити технологічні бази і забезпечити їх стабільність протягом усіх етапів обробки.

2. Оптимальний розподіл операцій між інструментами та групами обладнання. Для токарно-фрезерних обробних центрів це означає мінімізацію переналагоджень, інтеграцію різних типів обробки в одному установленні та скорочення циклу виробництва.

3. Застосування принципів енергоощадної та високопродуктивної обробки. Фахівець повинен уміти підбирати режими різання, що забезпечують оптимальне співвідношення між часом обробки, навантаженням на інструмент і якістю поверхні.

4. Управління ризиками появи деформацій та похибок. Корпусні деталі часто мають тонкі стінки або складні геометричні переходи, тому важливо вміти прогнозувати можливі деформації та компенсувати їх технологічними методами.

5. Здатність адаптувати маршрути під особливості конкретного обробного центру. Різні моделі мають специфічні кінематичні можливості, обмеження по інструменту чи оснастці. Знання цих особливостей дозволяє створювати маршрути, які забезпечують максимальну точність і стабільність обробки.

Таким чином, оптимізація технологічного маршруту стає не просто технічним завданням, а комплексною аналітичною діяльністю, що потребує високого рівня інженерної культури та розуміння законів точного машинобудування.

Сучасне виробництво характеризується високою динамічністю, зміною номенклатури продукції та постійним оновленням технологій. Це формує необхідність у фахівцях, здатних швидко адаптуватися до нових умов, змінювати професійні ролі та опановувати нові інструменти.

Міжпрофесійна гнучкість означає, що працівник повинен:

- вміти виконувати суміжні функції – від роботи з документацією до налаштування обладнання;
- розуміти принципи роботи різних технологічних систем;
- володіти широким технічним світоглядом;
- бути готовим до перекваліфікації у разі зміни виробничої стратегії підприємства;
- працювати в команді, яка поєднує інженерів-конструкторів, технологів, операторів і програмістів ЧПК.

Адаптивність персоналу означає здатність швидко реагувати на впровадження нових технологій, нових верстатів або нових методів виробництва. У випадку токарно-фрезерних центрів це критично важливо, адже такі комплекси постійно вдосконалюються та потребують опанування нових функцій, режимів, автоматизованих систем контролю.

Окрім технічних знань, адаптивність передбачає розвиток «м'яких» навичок: аналітичного мислення, уміння приймати рішення в умовах невизначеності, комунікаційної взаємодії та відповідальності за результат.

Таким чином, міжпрофесійна гнучкість і адаптивність стають невід'ємними характеристиками сучасного фахівця, від яких залежить успішність підприємства в умовах високотехнологічної конкуренції.

Сучасні вимоги до фахівців машинобудівної галузі значно виходять за рамки традиційної технічної підготовки. Вони охоплюють цифрову

технологічну підготовку виробництва, роботу з CAD/CAM-системами, програмування ЧПК, оптимізацію технологічних маршрутів і здатність адаптуватися до новітніх технологій. Особливо актуальними ці вимоги є при виготовленні складних корпусних деталей, таких як корпус фільтра генератора моделі ГП21, де точність, стабільність і якість значною мірою залежать від рівня компетентності персоналу. Формування цих компетентностей є ключовою умовою успішної підготовки сучасних фахівців і підвищення ефективності виробничих процесів.

1.2 Проблеми та суперечності у підготовці фахівців до роботи з токарно-фрезерними обробними центрами

Підготовка фахівців машинобудівних підприємств до роботи з токарно-фрезерними обробними центрами залишається одним із найскладніших і водночас найактуальніших завдань сучасної інженерної освіти. З одного боку, у виробництво активно впроваджуються високотехнологічні багатофункціональні верстати, здатні виконувати обробку складних деталей із високою точністю та продуктивністю. З іншого – система професійної освіти не завжди встигає адаптуватися до цих змін, що призводить до дисбалансу між вимогами сучасного виробництва та рівнем підготовки персоналу.

У результаті сформувався комплекс проблем і суперечностей, які суттєво впливають на якість підготовки фахівців, здатних працювати з сучасними токарно-фрезерними обробними центрами, зокрема у виробництві корпусних деталей, таких як корпус фільтра генератора моделі ГП21.

Однією з найгостріших проблем є відірваність навчального процесу від реальних виробничих умов. Багато технічних закладів освіти продовжують використовувати методи, які формувалися ще за часів, коли виробництво переважно базувалося на універсальних верстатах і ручних операціях. У таких програмах теоретична підготовка часто домінує над практичною, а досвід роботи на сучасних обробних центрах є мінімальним або зовсім відсутній.

Основні прояви цієї проблеми:

1. Брак практичних занять на реальному обладнанні. Заклади освіти часто не мають достатньої кількості сучасних ЧПК-верстатів, особливо багатовісних токарно-фрезерних центрів. Студенти здобувають знання переважно з підручників або застарілих технологічних схем, що не формує реальних професійних навичок.

2. Обмежений доступ до цифрових інструментів. Робота в CAD/CAM-програмному забезпеченні вимагає ліцензійних продуктів, які є дорогими для більшості навчальних закладів. Через це симуляційні моделі замінюються спрощеними демонстраціями або теоретичними поясненнями.

3. Відсутність повноцінного виробничого середовища. У навчальних лабораторіях не відтворюється складність реальних виробництв: від контролю інструментального зносу до організації серійного виготовлення.

4. Недостатня увага до цілісного технологічного процесу. Студенти часто вчаться виконувати окремі операції, але не формують розуміння повного циклу: від аналізу моделі корпусної деталі до оптимізації маршруту обробки та налагодження обладнання.

У результаті випускники приходять на підприємства з недостатнім практичним досвідом, що вимагає додаткового тривалого навчання та знижує ефективність інтеграції у виробниче середовище.

Сучасні токарно-фрезерні обробні центри є складними технологічними системами, які поєднують кілька видів механічної обробки в одному технологічному циклі. Їхня кінематика, системи автоматизації, функціональні можливості та методи налаштування далеко виходять за рамки традиційних верстатів, а інколи і простих ЧПК-моделей.

Проте рівень підготовки багатьох фахівців відображає знання, актуальні для застарілих моделей обладнання. Це створює такі суперечності:

1. Верстати дозволяють більше, ніж може персонал. Наприклад, оператору доступні функції одночасної інтерполяції, автоматичної зміни

інструменту, комбінування операцій, але без відповідних знань ці можливості не використовуються або навіть сприймаються як ризики.

2. Технологи не володіють сучасними принципами оптимізації. Багато фахівців проектують маршрути обробки так само, як для окремих токарних і фрезерних верстатів, не враховуючи переваг інтегрованої обробки.

3. Слабке розуміння роботи зі складними системами ЧПК. Сучасні центри мають розширені функції макропрограмування, автоматичної корекції, симуляції в контролері, але персонал часто використовує лише базові команди.

4. Надмірна залежність від інженерів підтримки. Через брак кваліфікації оператори не можуть самостійно виявляти помилки у програмах, коригувати траєкторії чи взаємодіяти з складною оснасткою.

Таким чином, обладнання працює нижче своїх потенційних можливостей, що знижує продуктивність і збільшує витрати.

Корпусні деталі належать до найскладніших об'єктів механічної обробки через специфічну геометрію, функціональні поверхні, комбінацію внутрішніх і зовнішніх елементів і високі вимоги до взаємного розташування поверхонь. Проте більшість наявних навчально-методичних матеріалів зосереджується на умовних або спрощених прикладах.

Проблеми в цій сфері полягають у наступному:

1. Відсутність навчальних курсів, побудованих на реальних деталях типу корпусів. Практичні завдання здебільшого обмежуються виготовленням простих валів, втулок чи плит, що не відображає складності реальних виробничих процесів.

2. Немає адаптованих прикладів маршрутів обробки корпусів для багатовісних верстатів. Навчальні посібники рідко містять опис повного технологічного циклу обробки корпусних деталей на токарно-фрезерних центрах.

3. Недостатність матеріалів з інтегрованого використання CAD/CAM у контексті корпусних деталей. У багатьох курсах моделювання показано на

прикладі простих елементів, без розгляду внутрішніх порожнин, ребер, складних перехідних ділянок.

4. Слабкий рівень методичних рекомендацій щодо виявлення дефектів та методів їх компенсації. Для корпусних деталей характерні деформації стінок, зміщення баз, похибки у співвісності – але ці питання недостатньо розкриті в освітніх матеріалах.

Через це студенти і навіть практикуючі фахівці стикаються з труднощами при переході від теорії до реального виробництва корпусних деталей.

Проблема невідповідності змісту навчання стає ще більш критичною в умовах інтенсивного технологічного розвитку. Навчальні програми часто змінюються повільніше, ніж оновлюється виробнича база.

Основні причини цієї невідповідності:

1. Застарілі навчальні плани. Навчальні програми інколи містять розділи, які вже не мають практичного значення, але водночас майже не охоплюють актуальні питання: цифрові двійники, симуляційні системи, автоматизований контроль.

2. Відсутність фокусу на інтегрованих технологіях. Курси часто поділяють обробку на фрезерну і токарну як окремі дисципліни, хоча сучасні центри працюють за комбінованим принципом.

3. Недостатня увага до soft-skills і міждисциплінарних компетентностей. У сучасних виробництвах важливими є навички комунікації, аналітичне мислення, здатність працювати з великими даними, але ці компетентності рідко інтегруються в технічні курси.

4. Переважання застарілих методів оцінювання. Контроль зазвичай ґрунтується на тестах і теорії, тоді як реальна кваліфікація вимірюється здатністю створювати технологічні маршрути, аналізувати моделі та налаштовувати обладнання.

5. Неповна інтеграція сучасних виробничих стандартів. Міжнародні стандарти якості, вимоги щодо стабільності процесів та адаптивність до цифрових платформ часто лишаються поза увагою.

Така невідповідність призводить до втрати часу на додаткове навчання, зниження ефективності роботи персоналу та уповільнення впровадження інновацій.

Підготовка фахівців до роботи з токарно-фрезерними обробними центрами стикається з низкою проблем і суперечностей, що знижують ефективність технологічної підготовки виробництва. Недостатність практикоорієнтованого навчання, розрив між можливостями сучасного обладнання та рівнем компетентності персоналу, обмеженість дидактичних матеріалів, а також невідповідність змісту навчання сучасним вимогам створюють значні труднощі у формуванні висококваліфікованих кадрів. Подолання цих проблем потребує комплексного реформування навчального процесу, інтеграції цифрових технологій, оновлення методичної бази та тісної співпраці між закладами освіти і виробничими підприємствами.

1.3 Необхідність удосконалення професійної підготовки фахівців

Сучасний розвиток машинобудівної галузі характеризується швидким поширенням високотехнологічного обладнання, зокрема токарно-фрезерних обробних центрів, здатних виконувати комплексні технологічні операції в одному встановленні. У таких умовах ключовим фактором конкурентоспроможності підприємств стає рівень професійної компетентності фахівців, відповідальних за технологічну підготовку та організацію обробки корпусних деталей. Водночас існуюча система підготовки кадрів не забезпечує достатнього рівня практичних навичок, цифрових компетентностей і здатності працювати з реальними виробничими завданнями, що і обумовлює необхідність її модернізації.

Однією з головних причин необхідності оновлення професійної підготовки є стрімке зростання складності сучасних технологічних процесів. Обробка корпусних деталей, таких як корпус фільтра генератора моделі ГП21, потребує не лише знань із традиційного машинобудування, а і глибокого розуміння цифрових технологій, принципів комбінованої обробки та методів оптимізації маршруту виготовлення.

Розвиток виробничих систем призводить до таких змін у вимогах до фахівців:

1. Перехід від операційного до багаторівневого мислення. Технолог повинен розуміти виробничий процес як інтегровану систему – від моделювання заготовки до контролю готового виробу. Традиційне навчання орієнтоване на окремі операції і не формує цілісного бачення.

2. Потреба у швидкому оновленні знань. Оновлення обладнання, програмного забезпечення та технологічних методів відбувається кожні 3–5 років, тоді як навчальні програми часто залишаються незмінними протягом десятиліть.

3. Необхідність глибокої цифрової грамотності. Обробні центри сучасного типу є кіберфізичними системами, які працюють в інтеграції з CAD/CAM, цифровими двійниками, сенсорними технологіями та системами збору даних.

4. Зростання вимог до точності і повторюваності. Виробництво корпусних деталей, що працюють у важливих функціональних системах, потребує високих стандартів якості, яких неможливо досягти без висококваліфікованих кадрів.

Модернізація навчального процесу має не лише компенсувати існуючі прогалини, а і забезпечити формування навичок, які відповідатимуть перспективним вимогам індустрії.

Компетентнісний підхід є фундаментом сучасної освіти у технічній сфері, оскільки дозволяє перейти від пасивного опанування теоретичних знань до формування здатності застосовувати їх у реальних виробничих ситуаціях. Для підготовки фахівців машинобудівної галузі він має особливе значення з кількох причин:

1. Формування професійних компетентностей, спрямованих на практичний результат. У центрі навчання опиняється не зміст дисципліни, а здатність студента вирішувати конкретні виробничі завдання: розробити

маршрут обробки, побудувати 3D-модель, оптимізувати траєкторію інструменту, проаналізувати варіанти оснастки.

2. Розвиток міждисциплінарного мислення. Обробка корпусних деталей на токарно-фрезерному центрі об'єднує знання з механіки, матеріалознавства, автоматизації, програмування, ергономіки та контролю якості. Традиційна фрагментарна освіта не забезпечує їх синергії.

3. Підвищення здатності до адаптації. Компетентнісний підхід формує здатність швидко навчатися, працювати з новими технологіями та критично мислити – те, що неможливо сформулювати лише через пасивне засвоєння інформації.

4. Орієнтація на професійні стандарти та потреби промисловості. Освітні результати узгоджуються з реальними вимогами виробництва, зокрема щодо обробки складних корпусних деталей на багатофункціональних центрах [42].

5. Підвищення можливостей для інтеграції у виробничі процеси. Випускник, який володіє компетентностями, а не лише знаннями, може швидше адаптуватися до виробництва і брати участь у впровадженні інновацій.

Для підприємств це означає зменшення витрат на перенавчання, підвищення продуктивності та поліпшення якості виготовлених деталей.

Одним із ключових шляхів модернізації підготовки фахівців є системне впровадження симуляційних, цифрових та віртуальних технологій. Вони забезпечують безпечне, економічно ефективне та гнучке середовище для освоєння навичок роботи з високотехнологічним обладнанням .

Основні переваги симуляційних технологій:

1. Безризикове опанування складних процесів. Навчання на реальному обробному центрі завжди пов'язане з ризиками: поломка інструменту, аварійні ситуації, неправильне налаштування. Симуляційні середовища дозволяють відпрацювати навички без ризику пошкодження дорогого обладнання.

2. Можливість багаторазового повторення операцій. Студенти можуть безліч разів відтворити цикл обробки, змінюючи параметри, аналізуючи помилки і відпрацьовуючи оптимальні рішення.

3. Візуалізація складних процесів. Траєкторії інструменту, взаємодія підсистем верстата, ризики зіткнення чи коливань стають видимими в режимі реального часу, що значно підвищує якість навчання.

4. Розвиток навичок програмування ЧПК. Симулятори дозволяють створювати, тестувати і налагоджувати програми до того, як вони потраплять на реальний верстат.

5. Можливість моделювання виробництва корпусних деталей. Особливо цінним є моделювання обробки деталей із складною геометрією, таких як корпус фільтра ГП21, де важлива точність взаємного розташування поверхонь.

Цифрові технології в навчанні включають:

- САD-системи для побудови моделей корпусних деталей;
- САМ-системи для генерації траєкторій і моделювання інструментальних переходів;
- цифрові двійники обладнання;
- віртуальні та доповнені реальності для демонстрації технологічних процесів;
- інтегровані системи контролю і аналізу даних.

Інтеграція таких засобів у навчальний процес значно підвищує якість підготовки фахівців і забезпечує умови, максимально наближені до сучасного виробництва.

Важливим компонентом модернізації професійної підготовки є орієнтація на реальні виробничі завдання. Навчання має враховувати специфіку конкретних типів деталей, технологій і умов виробництва.

Значення вузькоспеціалізованої підготовки:

1. Розуміння особливостей конструкції корпусних деталей. Корпус фільтра ГП21 має складну внутрішню структуру, отвори зі співвісними

поверхнями, різьбові елементи та посадкові ділянки. Робота з такими деталями потребує спеціальних технологічних знань.

2. Здатність враховувати вимоги до базування та закріплення. Навчання на типовому прикладі корпусу формує вміння правильно вибирати технологічні бази та оснастку.

3. Вивчення особливостей комбінованої обробки. Токарно-фрезерний центр дозволяє виконувати токарні операції, фрезерування, свердління, нарізання різьб – і все це в одному встановленні, що потрібно враховувати під час планування маршруту.

4. Навички оптимізації режимів та інструментальних стратегій. Корпусні деталі часто мають переривчасті поверхні, тонкі стінки або внутрішні порожнини, що вимагає від фахівця знань щодо уникнення вібрацій, деформацій та перегріву.

5. Опанування методів контролю якості. Деталі типу корпусів висувають високі вимоги до координатної точності та паралельності поверхонь, тому студенти повинні володіти засобами сучасного вимірювального контролю.

Такий підхід забезпечує формування не лише загальних компетентностей, а і практичної готовності працювати з конкретними виробничими об'єктами.

Необхідність удосконалення професійної підготовки фахівців машинобудівних підприємств є об'єктивною вимогою сучасного промислового середовища. Модернізація навчального процесу, впровадження компетентнісного підходу, використання симуляційних технологій і орієнтація на реальні виробничі деталі – це ключові умови формування висококваліфікованих кадрів, здатних ефективно працювати з токарно-фрезерними обробними центрами. Освітні програми мають забезпечити фахівців знаннями і навичками, необхідними для технологічної підготовки виробництва складних корпусних деталей, зокрема корпусу фільтра ГП21, що прямо впливає на конкурентоспроможність машинобудівних підприємств і їхню інноваційну стійкість.

1.4 Висновки по першому розділу:

Проведений аналіз підтверджує, що професійна підготовка фахівців машинобудівних підприємств набуває особливої значущості в умовах швидких технологічних змін та впровадження високотехнологічного обладнання. Сучасні виробничі процеси, орієнтовані на підвищення продуктивності і точності обробки, вимагають від фахівців глибоких цифрових компетентностей, здатності працювати з інтегрованими технічними системами та умінням знаходити оптимальні технологічні рішення для обробки складних корпусних деталей.

Встановлено, що традиційні освітні моделі вже не відповідають вимогам інноваційного виробництва, оскільки обмежено охоплюють питання цифровізації, моделювання та симуляційних методів. Це створює суперечність між технічними можливостями сучасних токарно-фрезерних обробних центрів і рівнем підготовки персоналу, що ускладнює ефективне використання обладнання і стримує оновлення виробничих процесів.

Аналіз компетентнісних вимог до фахівців засвідчив необхідність розвитку таких умінь, як робота з CAD/CAM-системами, програмування ЧПК, оптимізація технологічних маршрутів та прийняття технічно обґрунтованих рішень у цифровому виробничому середовищі. Саме ці компетентності є ключовими для організації високоефективної обробки корпусу фільтра генератора моделі ГП21, що вимагає комплексного підходу до вибору оснастки, інструментів, режимів різання та стратегії комбінованої механічної обробки.

Визначено, що удосконалення системи підготовки повинно здійснюватися шляхом модернізації змісту навчальних програм, активного залучення симуляційних технологій, цифрових платформ та спеціалізованих навчальних кейсів, адаптованих до реальних виробничих завдань. Особливого значення набуває практика орієнтації навчання на конкретні типи деталей, зокрема корпуси складної геометрії, що дає змогу формувати у майбутніх фахівців не лише теоретичну обізнаність, а і практичну готовність до професійної діяльності.

Отже, актуальність модернізації професійної підготовки фахівців полягає у необхідності забезпечення високого рівня технологічної компетентності, що дозволить ефективно впроваджувати і використовувати токарно-фрезерні обробні центри при виготовленні корпусних деталей. Це є критичним чинником підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва, поліпшення якості продукції та посилення конкурентоспроможності машинобудівних підприємств у сучасних умовах розвитку промисловості.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика підприємства, спеціалізація, продукція, нові напрямки діяльності

Державне підприємство "Харківський машинобудівний завод "ФЕД" є головним підприємством корпорації «ФЕД».

Основним розроблювачем агрегатів для підприємств Корпорації є ГП Харківське агрегатне конструкторське бюро (ГП «ХАКБ») - провідна організація України по розробці, виготовленні і випробуванню агрегатів для гідравлічних, паливних і електричних систем авіаційної і ракетної техніки.

У проектах по створенню, освоєнні та виробництву нових агрегатів беруть участь так само АТ «Мотор Січ» - підприємство, що займається розробкою та виробництвом, ремонтом та обслуговуванням авіаційних газотурбінних двигунів для літаків та вертольотів, а також промислових газотурбінних установок.

2.1.2 Спеціалізація

Основною орієнтацією підприємства є виробництво інтегральних гідроприводів, високоточної паливо регулюючої апаратури, гідронасосів, насосних станцій, гідромоторів для авіаційної промисловості і інших галузей машинобудування.

2.1.3 Продукція

ГП ХМЗ «ФЕД» спеціалізується на проектуванні, виробництві і сервісним обслуговуванні агрегатів авіаційного, аерокосмічного, залізничного і загальномашинобудівного застосування і є постачальником агрегатів для авіабудівних і авіаремонтних підприємств .

Підприємства корпорації роблять наступну продукцію:

- паливо регулюючу апаратуру;
- агрегати гідравлічних систем;
- інтегральні гідроприводи;
- гідромотори і гідронасоси;
- пневмо-, гідроагрегати систем керування для авіаційної і ракетно-космічної техніки;

- запасні частини для автомобільної, сільськогосподарської, дорожньої і будівельної техніки, морських суден, бронетехніки;
- агрегати систем керування газоперекачувальних станцій;
- агрегати гальмової системи рухливого состава залізничного транспорту;
- побутову водозмішувальну арматуру.

У цей час концепція подальшого розвитку ГП ХМЗ «ФЕД» у рамках концепції розвитку корпорації «ФЕД» передбачає динамічний ріст технічного, економічного і інтелектуального потенціалу підприємств-учасників на базі єдиної технічної стратегії створення і виробництва високотехнологічної, конкурентоспроможної продукції. Її реалізація йде по наступних напрямках:

- ремонт авіаційної техніки;
- проектування і виробництво спеціальної техніки;
- виробництво виробів авіаційно-космічного призначення;
- виробництво товарів народного споживання.

2.1.4 Нові напрямки діяльності

Індивідуальність заводу визначається широтою номенклатури і технічною складністю продукції, що випускається.

Для нового середньомагістрального літака Ан-148 підприємствами корпорації «ФЕД» розроблені, сертифіковані і серійно проводяться 19 типів виробів: комбіновані, комплексні і електромеханічні приводи основної системи керування польотом, системи механізації крила, насоси і електропривідні насосні станції, агрегати гідросистем і системи електропостачання літака. На один літакокомплект Ан-148 підприємства ВАТ «ФЕД» виготовляють 42 найменування агрегатів.

Крім того успішно освоюються і частково вже освоєні випуски нової конкурентоспроможної продукції для двигунів ТВ3-117 ВМ (ВМА), АИ-222-25Ф, АИ-450, АИ-450МС, ТВ3-117 ВМА-СБМ1В, МС-400, МС-500, МС-350 літаків Як-130, Ан-140, Ан-148, Ту-204, Ту-214, Су-30 і його модифікацій, а так само вертольотів.

2.1.5 Пріоритетні напрямки розвитку підприємства

Основними напрямками розвитку корпорації «ФЕД» є відновлення і реконструкція виробничих потужностей, впровадження ефективної інформаційно-управлінської системи, розробка перспективних проектів і напрямків для створення конкурентних переваг.

Разом з науково-дослідними інститутами ведеться активна робота в напрямку розробки інноваційних проектів, поповнення номенклатурного ряду, оптимізації собівартості, що випускається продукції. На основі маркетингових досліджень ринку було визначено, що для оптимізації виробництва необхідне оснащення

підприємств-учасників корпорації таким сучасним устаткуванням для механічної обробки деталей як верстати зі ЧПК, що володіють високою швидкістю і точністю, можливістю виконання безлічі різнопланових операцій за один установ, що багаторазово знижує час обробки, забезпечуючи максимальну якість продукції, не потребуючої додаткової слюсарної обробки. Це дозволить Корпорації «ФЕД» виконувати великі замовлення в досить короткий термін.

На сьогоднішній день обробні центри є потужним устаткуванням, здатним замінити собою кілька верстатів і в багато разів скоротити час виготовлення деталі. Універсальний обробний центр зі ЧПК здатний повністю замінити виробничу лінію цеху. В умовах сучасної твердої ринкової економіки і обмеженого бюджету на придбання спеціального сучасного обладнання застосування на підприємстві обробних центрів є найбільш раціональним варіантом, що забезпечують конкурентоспроможність підприємства.

2.2 Характеристика і аналіз об'єкта виробництва

2.2.1 Призначення машини, вузла, деталі

Представлена на дипломне проектування деталь є складальною одиницею привода-генератора моделі ГП-21. ГП21.971 – корпус фільтра.

Корпус фільтра входить до складу вузла гідромеханічного привода постійних обертів, який забезпечує на валу генератора постійні оберти 12000 об/хв.

Даний привод-генератор є основним джерелом живлення електроенергією бортової мережі літаків Ан-72, Ан-74, Ан-148, Мить-29, Су-27 і їх модифікацій, а також Су-30 і Як-42.

2.2.2 Загальна характеристика деталі

Корпус фільтра є корпусною деталлю циліндричної форми, що полягає з елементарних сідчастих циліндричних поверхонь. Зовнішні діаметри перебувають у межах від 16,5 до 32 мм, внутрішні – від 14 до 21 мм. На чотирьох зовнішніх діаметрах виконані канавки, на найменшому зовнішньому діаметрі виконано чотири отвори, також на діаметрі 21,5 мм виконано чотири пази. На одному з торців виконаний шестигранний отвір, на іншому – циліндричне сідчасте. Довжина деталі становить 74,5 мм.

Найбільш точними циліндричними поверхнями є зовнішні діаметри $\text{Ø}25f7 \begin{smallmatrix} -0,02 \\ -0,04 \end{smallmatrix}$ і $\text{Ø}16h8-0,24$ із шорсткостями поверхонь відповідно $Ra=1,25$ і $Ra=0,8$. Для обробки деталі потрібне спеціальне пристосування. Маса деталі 0,071 кг.

До другорядних поверхонь деталі ставляться різні скоси, фаски, радіуси, торцеві зовнішні поверхні, які обробляються по 12 квалітету точності.

У виді того, що корпус фільтра працює при підвищених температурах і тиску, зануреним у масла типу ІПМ-10 і Турбонікойл 210А, матеріалом для його виготовлення обрана нержавіюча сталь 12Х18Н10Т за ДСТУ 2590-2006, яка завдяки унікальній комбінації властивостей і міцнісних характеристик має широке застосування майже у всіх галузях промисловості.

Основні фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу наведені в табл. 2.1, 2.2

Таблиця 2.1 - Хімічний склад матеріалу 12Х18Н10Т (в %)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Ti
до 0,12	до 0,8	до 2	9-11	до 0,02	до 0,035	17-19	до 0,3	0,6-0,8

Таблиця 2.2 - Основні фізико-механічні властивості матеріалу

12X18H10T

Температура, при якій отримані дані властивості	Межа короточасної міцності	Модуль пружності першого роду	Коефіцієнт температурного (лінійного) розширення (діапазон 20 °C)	Коефіцієнт теплопровідності	Щільність матеріалу	Питома теплоємність матеріалу
T, град.	Sв, МПа	E 10 ⁻⁵ МПа	a, 1/град.	Вт/(м·град.)	ρ , кг/м ³	Дж/(кг·град.)
20	510	1,98	-	15	7900	-
100	-	1,94	16,6	16	-	462

2.3 Визначення типу виробництва

За ДСТУ ISO 9001:2015 [18] тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій, який визначається відношенням сумарної кількості виконуваних операцій до сумарної кількості прийнятого встаткування:

$$K_{з.о.} = \frac{\Sigma O}{\Sigma Стр.} . \quad (2.1)$$

У машинобудуванні розрізняють умовно три основні типи виробництва: масове, серійне, одиничне.

Характерна ознака масового виробництва – виконання на більшості робочих місць тільки однієї закріпленої операції. При серійнім виробництві виготовляють серію виробів регулярно повторюваних через певні проміжки часу. Характерна ознака – виконання на робочих місцях декількох повторюваних операцій.

При одиничнім виробництві виробу виконують широкої номенклатури в малих кількостях, які або не повторюються зовсім, або повторюються через невизначений час. Тип виробництва, як найбільш загальна організаційна технічна характеристика виробництва визначається ступенем спеціалізації робочих місць, номенклатурою виробництва, формою руху виробів по робочих місцях. Укрупнено тип виробництва встановлюється по масі деталі і річній

програмі випуску. При $N=180 - 1800$ комплектів деталей масою до 10 кг – тип виробництва дрібносерійний.

2.4 Аналіз технологічності деталі

2.4.1 Якісна оцінка технологічності деталі

Деталь – корпус фільтра виготовляється з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т гарячим прокатом у формі прутка, тому конфігурація зовнішнього контуру і внутрішніх поверхонь відбувається вже в процесі обробки. Якісна оцінка технологічності деталі представлена згідно з малюнками 2.1 – 2.4. Номерами на малюнках відзначені поверхні.

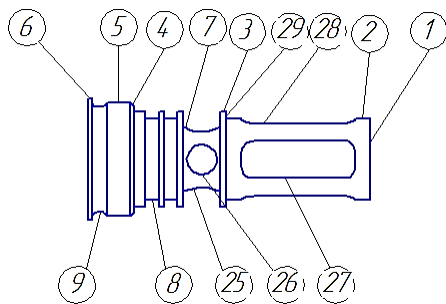


Рисунок 2.1

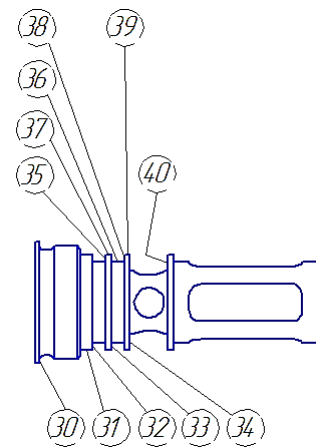


Рисунок 2.2

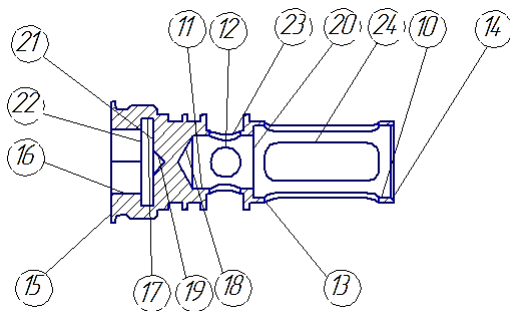


Рисунок 2.3

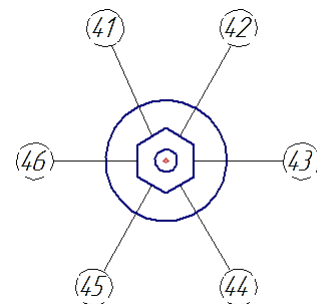


Рисунок 2.4

Нетехнологічним є шестигранний отвір (16, рис. 2.3), тому що для його виконання потрібна окрема операція з окремим устаткуванням і пристосуванням. Однак цей елемент визначається конструктивними міркуваннями, і змінити його не представляється можливим.

Радіальні биття отворів (10) і (11) легко забезпечити тому, що їх обробка

ведеться з один установ. Внутрішні отвори розташовані з діаметрально убутними розмірами і не мають виточень і проточек. Проточка (17, рис. 2.3) є технологічною тому що призначена для виходу інструмента.

В основному, усі оброблювані поверхні мають вільний доступ для входу і виходу інструмента. Деталь досить технологічна, допускає застосування високопродуктивних режимів обробки, має гарні базові поверхні для первісних операцій і досить проста по конструкції.

Розташування отворів допускає багато інструментальну обробку. Поверхні обертання можуть бути оброблені на багатошпиндельні і багаторізцевих верстатах.

2.4.2 Кількісна оцінка технологічності конструкції

Кількісну оцінку технологічності конструкції проводиться відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 14.202 – 2006. У якості кількісних показників технологічності розглядаються: маса деталі; коефіцієнт використання матеріалу; коефіцієнт точності обробки; коефіцієнт шорсткості поверхні; рівень технологічності конструкції по технологічній собівартості:

1) коефіцієнт використання матеріалу $K_{и.м.}$ визначається за формулою

$$K_{и.м.} = q / Q, \quad (2.2)$$

де q - маса деталі (оскільки деталь виготовляється із прутка, масою заготовки ухвалюється маса сталевого циліндра, еквівалентного розмірам деталі після відрізки);

Q - маса заготовки.

$$K_{и.м.} = 0,071 / 0,530 = 0,13;$$

2) коефіцієнт точності $K_{т.ч.}$ визначається за формулою:

$$K_{т.ч.} = 1 - 1 / IT \text{ порівн}, \quad (2.3)$$

де: IT порівн - середній квалітет;

$$IT_{ср} = \sum T_i \times ni / \sum ni, \quad (2.4)$$

де T_i – квалітет точності окремого розміру;

ni – кількість розмірів даного квалітету.

$$IT_{ср} = (7 \times 5 + 8 \times 3 + 9 \times 10 + 12 \times 19 + 13 \times 4 + 14 \times 3) / 44 = 10,7$$

$$K_{т.ч.} = 1 - 1 / 11,4 = 0,91;$$

По даному показникові деталь технологічна, тому що $K_{T.ч.} > 0,8$.

Кількість поверхонь, що мають відповідні квалітети з ІТ по ІТ14, зведено в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 - Таблиця квалітетів деталі ГП 21.971

Номер деталі	Квалітет ІТ					
	7	8	9	12	13	14
ГП 21.971	5	3	10	19	4	3

3) коефіцієнт шорсткості поверхні $K_{Ш}$ визначається за формулою (2.5):

$$K_{Ш} = 1 / Ra_{cp}, \quad (2.5)$$

де Ra_{cp} – середній квалітет шорсткості.

$$Ra_{cp} = \sum Rai \times ni / \sum ni;$$

$$Ra_{cp} = (10 \times 29 + 5 \times 2 + 1,25 \times 13) / 44 = 7,18;$$

$$K_{Ш} = 1 / 7,18 = 0,13.$$

По даному показникові деталь технологічна, тому що $K_{Ш} < 0,32$.

Кількість поверхонь, що мають відповідну шорсткість, зведено в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 - Таблиця шорсткості деталі ГП 21.971

Номер деталі	Шорсткість, мкм		
	10	5	1,25
ГП 21.971	29	2	13

4) коефіцієнт обробки поверхонь:

$$K_{O.п.} = 1 - D_{M.O.} / D_{\Sigma} \quad (2.6)$$

де $D_{M.O.}$ – кількість поверхонь, оброблюваних різальним інструментом;

D_{Σ} – загальна кількість поверхонь.

$$K_{O.п.} = 1 - 38 / 46 = 0,17;$$

5) коефіцієнт застосовності стандартних оброблюваних поверхонь визначається за формулою

$$K_{П.СТ.} = D_{O.C} / D_{M.O.},$$

де: $D_{O.C}$ – кількість поверхонь деталі, оброблюваних стандартним різальним інструментом.

$$K_{п.ст} = 38/46 = 0,82.$$

Характеристики технологічності зведено в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 - Аналіз технологічності деталі ГП 21.971

Маса деталі, кг	0,071
Маса заготовки, кг	0,53
Коефіцієнт використання матеріалу	0,13
Середній квалітет точності	10,7
Коефіцієнт точності	0,91
Середня шорсткість	7,18
Коефіцієнт шорсткості	0,13
Коефіцієнт обробки поверхонь	0,17

2.5 Вибір типу заготовки

Вид вихідної заготовки є одним з основних факторів, що впливають на характер технологічного процесу механічної обробки деталей, тому що величина припуску визначає собівартість виготовлення деталей. Чим ближче вихідна заготовка за формою і розмірам до форми і розмірам готової деталі, тем менше потрібно витрат часу і засобів на її обробку. Найбільший вплив на вибір способу одержання заготовки виявляють форма, тип виробництва, матеріал, розміри деталі. Вибрати заготовку означає встановити спосіб її одержання, намітити припуски на обробку кожної поверхні, розрахувати розміри і указати допуски на точність їх виготовлення. Для раціонального вибору заготовки необхідно одночасно враховувати всі перераховані вище дані, тому що між ними існує прямий зв'язок.

На ГП ХМЗ «ФЕД» заготовки для корпусу фільтра традиційно одержують шляхом нарізки сталевго прутка через те, що власне виробництво заготовок з кольорових металів на заводі відсутня. Для даного проекту це є зручним розв'язком, тому що встаткування (вибір і опис якого показані нижче) припускає обробку саме пруткових деталей.

Через те, що на підприємстві відсутнє прокатне встаткування, прутки слід здобувати у виробника. Це буде свідомо ощадливіше, чим закупівля прокатного встаткування і відповідних пристосувань, набір і навчання персоналу для виробництва заготовок для одного виробу. Таким чином, оптимальною формою заготовки є прутки.

2.6 Вибір і обґрунтування маршрутного технологічного процесу

Технологічний маршрут обробки поверхонь корпусу фільтра наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Маршрут обробки поверхонь корпусу фільтра ГП 21.971

№ поверхні	Вид поверхні	Квалітет	Шорсткість Ra, мкм	Маршрут обробки поверхонь
1	2	3	4	5
1	Торцева	8	10	Точіння чорнове Точіння чистове
2	Циліндрична	9	10	Точіння чорнове Точіння чистове
3, 31, 36, 37, 39	Циліндрична	7	1,25	Точіння чорнове Точіння чистове
4	Конічна	12	10	Точіння чорнове
5	Циліндрична	13	5	Точіння чорнове Точіння чорнове Різьбонарізування
6	Циліндрична	13	10	Точіння чорнове Точіння чистове
8, 38	Циліндрична	9	1,25	Точіння чорнове Точіння чистове
9	Фасонна	13	5	Точіння однократне
5	Циліндрична	13	5	Точіння чорнове Точіння чорнове Різьбонарізування
10	Циліндрична	13	10	Свердління Свердління з підторцовкой розсвердлювання
11	Циліндрична	12	10	Свердління однократне
12, 23, 25, 26	Циліндрична	12	10	Свердління однократне
13, 24, 27, 28	Фасонна	12	10	Фрезерування
14	Конічна	12	10	Точіння однократне
15	Торцева	8	10	Точіння чорнове Точіння чистове Центрування
16	Циліндрична	12	10	Свердління чорнове Свердління чистове Розточування
17	Циліндрична	12	10	Точіння однократне
18, 19	Конічна	17	-	Необроблювані поверхні
20	Торцева	14	10	Свердління Свердління з підторцовкой
21	Торцева	14	10	Точіння однократне
22	Торцева	14	10	Точіння однократне
29, 32, 33, 34, 35, 40	Торцева	9	1,25	Точіння однократне
30	Торцева	9	5	Точіння однократне
41, 42, 43, 44, 45, 46	Фасонна	12	10	Електрична ерозія

2.6.1 Вибір і обґрунтування маршруту обробки деталей (МОД)

Одним з етапів дипломного проекту є розробка маршрутного технологічного процесу механічної обробки деталей із застосуванням сучасного високотехнологічного встаткування. Розробка маршруту обробки деталі проводиться на підставі обраного типу виробництва, з дотриманням основних принципів базування, сполучення і сталості баз. Технологічні процеси розробляються згідно з ЕСТПП, вимогами ДЕРЖСТАНДАРТ 14-301-2005 і загальними правилами розробки технологічних процесів. При виборі способів і послідовності обробки слід вибрати такий варіант технологічного процесу, який відповідав би вимогам устанавленого типу виробництва, був орієнтований на типові технологічні процеси, а також на загальні положення проектування технологічних процесів у машинобудуванні. Прийняті технологічні процеси обробки повинні відповідати сучасному рівню машинобудування, у ньому повинні застосовуватися прогресивні методи обробки. Виходячи з основних положень технології машинобудування, у першу чергу визначаються операції технологічних базових поверхонь, потім намічаються чорнові, чистові і оздоблювальні операції. Для встановлення кількості переходів і операцій використовуються дані про точність і шорсткості при різних методах обробки. На підставі вищевикладеного та ескізу деталей розробляється технологічний процес деталі МОД.

На підставі вищевикладеного та ескізу деталей розробляємо технологічні процеси деталей МОД (таблиця 2.9).

Таблиця 2.9 - Маршрут обробки корпусу фільтра ГП 21.971 по базовому техпроцесу

№ операції	Найменування операції	Зміст переходу
1	2	3
010	Відрізна	1. Різати пруток на заготовки 2. Заправити кінці
020	Токарно-револьверна	1. Підрізати торець 1 2. Точити поверхня 2 3. Відрізати деталь
025	Токарно-доробкова	1. Підрізати торець 1 2. Притупити гострі крайки 3. Переустановити деталь 4. Притупити гострі крайки

№ операції	Найменування операції	Зміст переходу
030	Контроль	
040	Загартування	1. Нагрівання 2. Очищення
065	Токарська зі ЧПК	1. Підрізати торець 3, точити поверхня 2, торець 1 попередньо 2. Свердлити отвір 5 3. Точити поверхня 2 з підрізуванням торців 1 і 3 остаточно 4. Свердлити отвір 6 5. Розточити отвору 5 і 6 з утвором фаски 4
075	Токарна зі ЧПК	1. Підрізати торець 1, притупити гострі крайки, точити поверхня 4 2. Свердлити отвір 3 3. Розточити отвір 3 з оформленням фаски 2
076	Токарна	1. Розточити отвір 1 2. Розточити канавку 3 3. Розточити фаску 2 4. Притупити гострі крайки
085	Токарна з ЧПК	1. Точити поверхні 3, 6, 8 з підрізуванням торців 1, 4, 7 попередньо 2. Точити поверхні 3, 6 з підрізуванням торців 1, 4 остаточно з утвором фаски 10 3. Точити поверхня 8 з підрізуванням торця 7 остаточно 4. Точити канавку 5 5. Точити дві канавки 9 6. Точити канавку 2 з утвором фаски 11 7. Притупити гострі крайки 8. Нарізати різьбу 3
100	Токарська	1. Точити поверхня 1 з підрізуванням торця 2 2. Полірувати послідовно 2 канавки і прилягаючі торці
120	Токарна	1. Зачистити задирки і притупити гострі крайки 2. Оформити і заполірувати R0,1max
125	Слюсарна	1. Зачистити схід і захід різьби
145	Довбальна	1. Довбати послідовно шість граней 1
150	Свердлильна	1. Зняти задирки після свердління чотирьох отворів 1 на вході 2. Зняти задирки після свердління чотирьох отворів 1, 2 на виході 3. Притупити гострі крайки
160	Анодно-гідралічна	1. Притупити гострі крайки на перетинанні отворів
165	Промивання	1. Розмагнітити деталі 2. Промити деталі
175	Свердлильна	1. Свердлити послідовно вісім отворів 1
197	Вертикально-фрезерна	1. Фрезерувати чотири пазы 1 послідовно з поворотом деталі
200	Слюсарна	1. Притупити гострі крайки чотирьох пазів із зовнішньої сторони 2. Підпилить пазы при необхідності

№ операції	Найменування операції	Зміст переходу
220	Анодно-гідралічна	1. Притупити гострі краї на внутрішніх поверхнях пазів
230	Промивання	1. Розмагнітити деталі 2. Промити деталі
240	Токарська	1. Підрізати торець, витримавши розміри 1 і 2 2. Точити фаску 3 3. Притупити гострі краї
250	Токарська	1. Проточити поверхня 1 2. Притупити гострі краї
255	Слюсарна	1. Зачистити задири на шестиграннику і притупити гострі краї
280	Промивання	1. Розмагнітити деталі 2. Промити деталі
290	Контроль	
300	Хімічне пасивирування	
305	Нанесення состава ВАП-2	1. Нанести состав ВАП-2 на поверхню А
310	Контроль	
320	Консервація	

Таблиця 2.10 - Маршрут обробки корпусу фільтра по базовому
техпроцесу ГП 21.971

№ операції	Найменування операції	Зміст переходу
010	Термообробка	1. Нагрівання 2. Очищення
055	Комплексна зі ЧПК	1. Установити, закріпити і зняти деталь. 2. Обробити поверхні з 1 по 17
166	Електроерозійна	1. Пропалити шестигранник 1
170	Полірувальна	1. Полірувати поверхня 1
173	Промивання	
180	Контроль	
190	Хімічне пасивирування	
205	ВАП	
220	Консервація	

2.6.2 Розробка нового технологічного процесу

010 ТЕРМООБРОБКА

1. Нагрівання

2. Очищення

055 КОМПЛЕКСНА

1. Установити, закріпити і зняти деталь. Підрізати торець 1, точити поверхні 2, 3, 4, 5, 6 попередньо

2. Підрізати торець 1, точити поверхні 2, 3, 4, 5, 6 остаточно

3. Точити канавку 7

4. Свердлити отвір 10
5. Свердлити отвір 10 з підторцовкою
6. Свердлити отвір 11
7. Розточити отвір 10
8. Точити канавку 8 попередньо
9. Точити канавку 8 остаточно
10. Точити канавку 9
11. Нарізати різьби 5
12. Центрувати поверхню 7 для свердління чотирьох отворів 12
13. Свердлити послідовно чотири отвори 12
14. Фрезерувати послідовно чотири пази 13
15. Відрізати деталь і перехопити деталь у контр шпindel
16. Підрізати торець 15
17. Центрувати торець 15
18. Свердлити отвір 16
19. Свердлити отвір 16 з підторцовкою
20. Розточити отвір 16
21. Точити канавку 17
22. Притупити крайки

166 ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНА

1. Пропалити шестигранник 1

170 СЛЮСАРНА

1. Зачистити задирки і притупити крайки

173 ПОЛІРУВАЛЬНА

1. Полірувати поверхня 1

180 ПРОМИВАННЯ

1. Розмагнітити деталі
2. Промити деталі

205 ХІМІЧНЕ ПАСИВИРУВАННЯ

210 НАНЕСЕННЯ СОСТАВА ВАП-2

220 КОНТРОЛЬ

230 КОНСЕРВАЦІЯ

2.7 Розрахунки припусків на механічну обробку

2.7.1 Визначення припусків і технологічних розмірів на внутрішню циліндричну поверхню $\varnothing 19^{+0,28}$ [26]

Мінімальні припуски визначаються за формулою:

$$2Z \left[(Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2} \right]_{i_{min}},$$

де Rz_{i-1} — величина нерівностей профілю на попередньому переході, мкм;

h_{i-1} — величина ушкоджень поверхневого шару на попередньому переході, мкм;

$\Delta_{\Sigma_{i-1}}$ — сумарні просторові погрішності на попередньому переході, мкм;

ε_i — погрішність установки заготовки на виконуваному переході.

Таблиця 2.11 — Вихідні дані для розрахунків припусків

Технологічний маршрут обробки	Елементи припуску				Точність	Допуск	Граничний розмір, мм		Припуск, мкм	
	h	Rz	Δ	ε_y			Dmin	Dmax	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
Свердління	40	20	47	30	H14	520	17,8	18,34	—	—
Свердління торцеве	15	10	31	—	H13	330	18,55	18,88	214	1064
Розточування	5	5	—	—	+0,28	280	19	19,28	112	722

Зробимо розрахунки просторових погрішностей, необхідних для розрахунків мінімальних припусків [24].

Просторові погрішності при свердлінні рівняються відведенню спірального свердла, що становить 2,1 мкм на 1 мм довжини.

У такий спосіб:

$$\Delta_{\Sigma} = 2,1 \cdot 37 = 78 \text{ мкм.}$$

Для більш рівномірного розподілу припуску, розділимо цю погрішність між свердлінням і торцевим свердлінням у процентнім співвідношенні 60/40.

У такий спосіб:

$$\Delta_{\Sigma_0} = \frac{78 \cdot 60}{100} = 47 \text{ мкм;}$$

$$\Delta_{\Sigma_1} = \frac{78 \cdot 40}{100} = 31 \text{ мкм.}$$

Погрішність установки заготовки в чотирьохкулачковом патроні $\Delta\varepsilon_y = 30$ для першого переходу. Для інших переходів $\Delta\varepsilon_y = 0$, тому що обробка ведеться за один установ. [45]

Тоді мінімальні припуски на обробку по переходах:

$$2Z[(20 + 40) + \sqrt{47^2 + 30^2}]214_{1min} \text{ МКМ};$$

$$2Z[(15 + 10) + \sqrt{31^2 + 0^2}]112_{2min} \text{ МКМ}.$$

Максимальні припуски визначаються за формулою:

$$2Zi_{i-1}i_{min}i_{max},$$

де T_{i-1} — допуск на попередній стадії обробки, мм;

T_i — допуск на даній стадії обробки, мм

Тоді максимальні припуски на обробку по переходах:

$$2Z2_11127222_{min}2_{max} \text{ МКМ};$$

$$2Z1_010641_{min}1_{max} \text{ МКМ}.$$

Номінальні припуски визначаються за формулою:

$$2Zi_{ном} = 2Zi - 1i_{min};$$

Тоді номінальні припуски на обробку по переходах:

$$2Z2_{ном} = 2Z1_{2min} \text{ МКМ};$$

$$2Z1_{ном} = 2Z0_{1min} \text{ МКМ}.$$

На підставі розрахованих припусків, визначимо міжопераційні розміри і зробимо побудову схеми розподілу припусків [4].

Міжопераційні розміри по переходах:

$$D_{2max} \text{ мм};$$

$$D_{2ном} = D_{2min} \text{ мм};$$

$$D18,882_{min}2_{min}1_{max} \text{ мм};$$

$$D1_{ном}118,8818,55_{1max}1_{min} \text{ мм};$$

$$D18,5518,341_{min}1_{min}0_{max} \text{ мм};$$

$$D0_{ном} = D|es_0|18,3417,82_{0max} \text{ мм};$$

$$D0_{ном}|ei_0|17,8217,82_{0min} \text{ мм}$$

Номінальний діаметр свердління ухвалюємо $D_{0ном} = 17,8 \text{ мм}$

Схема розподілу припусків представлено на рисунку 2.5.

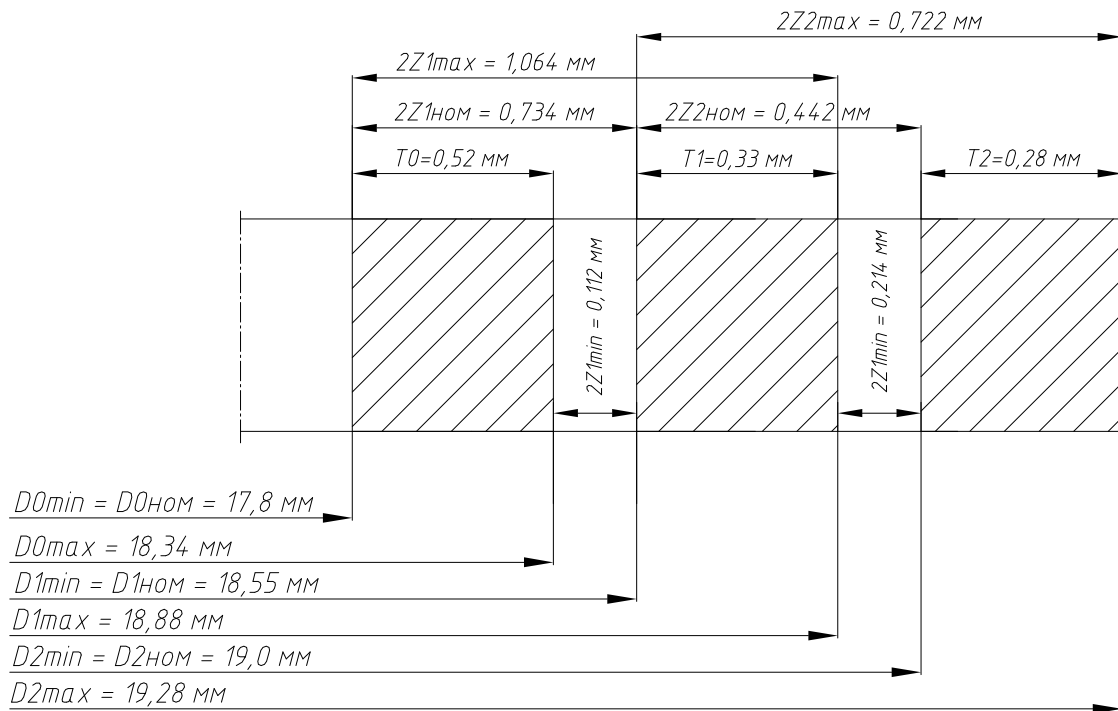


Рисунок 2.5 — Схема розподілу припусків для обробки поверхні
 $\varnothing 19^{+0,28}$

2.7.2 Визначення припусків і технологічних розмірів на внутрішню циліндричну поверхню $74,5_{-0,74}$

Таблиця 2.12- Вихідні дані для розрахунків припусків

Технологічний маршрут обробки	Елементи припуску				Точність	Допуск	Граничний розмір, мм		Припуск, мкм	
	h	Rz	Δ	ε_y			l_{min}	l_{max}	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
Заготовка	80	80	157	—	-2	2000	80,4	82,4	—	—
Точіння праве черн.	50	50	104	30	h14	740	79,31	80,05	347	3087
Точіння праве чист.	20	20	—	—	h14	740	78,37	79,11	204	1684
Відрізка	50	50	—	30	h14	740	74,63	75,37	3000	4480
Точіння ліве чист.	20	20	—	30	h14	740	73,76	74,5	130	1610

Мінімальні припуски визначаються за формулою:

$$Z_i - 1_{i-1} i_{i-1} i_{i_{min}}$$

Загальне відхилення осі від прямолінійності визначається за формулою:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\kappa} \cdot l = 0,35 \cdot 74,5 = 261 \text{ мкм},$$

де $\Delta_{\kappa} = 0,35$ мкм — відхилення осі від прямолінійності на 1 мм;

$l = 74,5$ мм — довжина деталі.

Для більш рівномірного розподілу припуску, розділимо цю погрішність між чорновим і чистовим Точіннями в процентнім співвідношенні 60/40.

У такий спосіб:

$$\Delta_{\Sigma_0} = \frac{261 \cdot 60}{100} = 157 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma_1} = \frac{261 \cdot 40}{100} = 104 \text{ мкм}.$$

Погрішність установки заготовки в чотирьохкулачковом патроні $\Delta \varepsilon_y = 30$ для першого, третього і четвертого переходів. Для другого переходу $\Delta \varepsilon_y = 0$, тому що обробка ведеться за один установ.

Тоді мінімальні припуски на обробку по переходах:

$$Z_{347}_{1min} \text{ мкм};$$

$$Z_{2min} \text{ мкм};$$

$$Z_{3min} \text{ мкм};$$

$$Z_{4min} \text{ мкм};$$

Максимальні припуски визначаються за формулою:

$$Z_{i-1} i_{min} i_{max},$$

Тоді максимальні припуски на обробку по переходах:

$$Z_{43} 16104_{min} 4_{max} \text{ мкм};$$

$$Z_{32} 44803_{min} 3_{max} \text{ мкм};$$

$$Z_{21} 16842_{min} 2_{max} \text{ мкм};$$

$$Z_{10} 30871_{min} 1_{max} \text{ мкм}.$$

Номінальні припуски визначаються за формулою:

$$Z_{i_{ном}} = Z_i - 1_{i_{min}}.$$

Тоді номінальні припуски на обробку по переходах:

$$Z_{4_{ном}} = Z_{3870} 4_{min} \text{ мм};$$

$$Z_{3_{ном}} = Z_{23min} \text{ мм};$$

$$Z_{2_{ном}} = Z_{1944} 2_{min} \text{ мм};$$

$$Z_{1_{ном}} = Z_{|ei_0|} 1_{min} \text{ мм}$$

Міжопераційні розміри по переходах:

$$l_{73,76_{4_{min}}} \text{ мм}; \quad l_{4_{ном}} = 74,5 \quad l_{4_{max}} \text{ мм};$$

$$l_{74,634_{min} 4_{max} 3_{min}} \text{ мм};$$

$$l_{3_{ном} 3_{min} 3} 74,6375,37_{3_{max}} \text{ мм};$$

$$l_{75,3778,373_{min} 3_{max} 2_{min}} \text{ мм};$$

$$l_{2_{ном} 2_{min} 2} 78,3779,11_{2_{max}} \text{ мм};$$

$$l_{79,1179,312_{min} 2_{max} 1_{min}} \text{ мм};$$

$$l_{1_{ном} 1_{min} 1} 79,3180,05_{1_{max}} \text{ мм};$$

$$l_{0_{ном}} 80,0580,401_{min} 1_{max} 0_{min} \text{ мм};$$

$$l_{0_{min} 0} 80,4082,40_{0_{max}} \text{ мм}.$$

На основі проведених розрахунків ухвалюємо $l_0 = 80,4_{-2,0}$.

Схема розподілу припусків для обробки поверхні $74,5_{-0,74}$ представлено на рисунку 2.6.

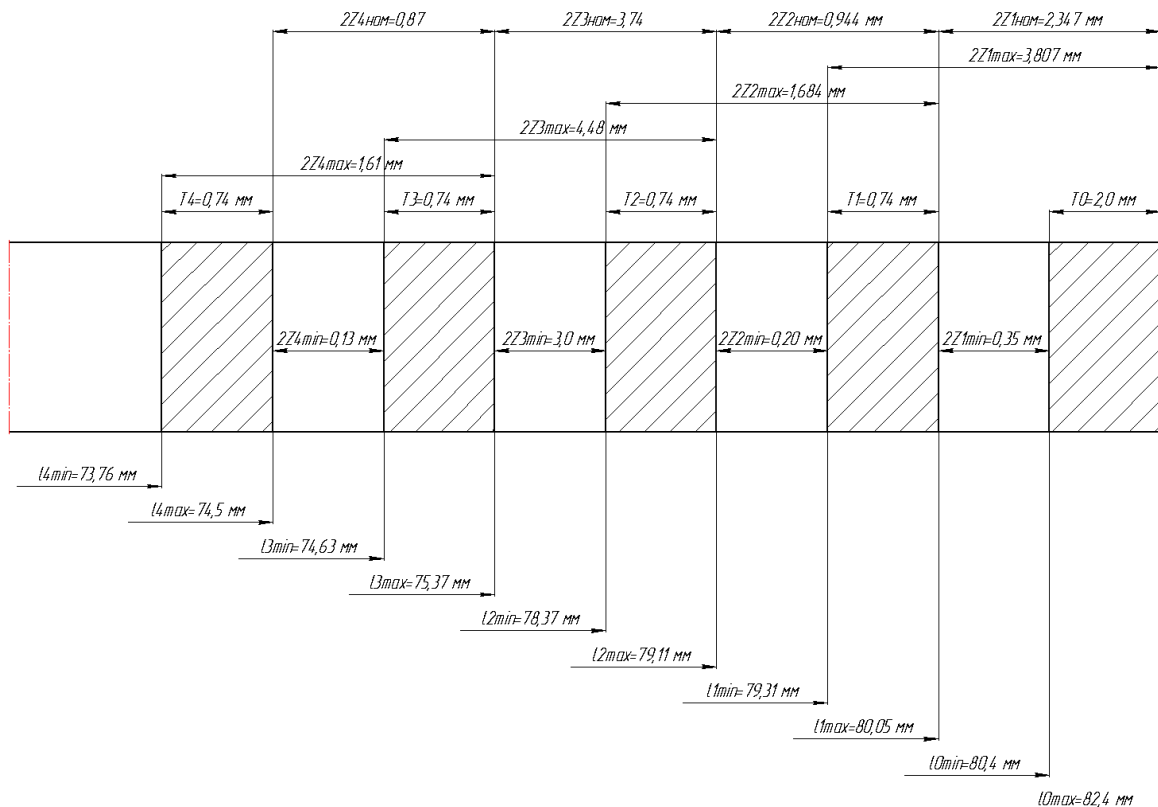


Рисунок 2.6 — Схема розподілу припусків для поверхні $74,5_{-0,74}$

2.8 Вибір і обґрунтування схем базування деталі по операціях

Одним з найбільш відповідальних і складних розділів проектування ТП механічної обробки є призначення технологічних і вимірювальних баз. Від вибору баз значною мірою залежать точність виконання розмірів, правильність взаємного розташування оброблюваних поверхонь, ступінь складності пристосувань, що ріжуть і вимірювальних інструментів, загальна вибірковість обробки заготовки [17].

При автоматизації виробництва застосовують верстати зі ЧПК, автоматичні і напівавтоматичні верстати. Значення технологічних баз (ТБ) ухвалює особливу важливість у світлі того, що всі ці види обробки ґрунтуються на принципі автоматичного одержання розмірів. Виходячи із цього, питання вибору ТБ вирішується технологом на початковому етапі проектування ТП одночасно з питанням про послідовність і вид обробки окремих поверхонь заготовки. При цьому призначення ТБ починається з вибору ТБ для виконання першої операції. ТБ, яка використовується на першому установі заготовки, називається чорновий ТБ. У якості чорновий ТБ слід вибирати поверхню, щодо якої на першій операції можуть бути оброблені поверхні, використані при подальших операціях як ТБ, тобто чорнова база – це база для обробки чистових баз. Для забезпечення точності базування і надійності закріплення заготовки в пристосуванні, чорнова база повинна мати достатні розміри і як можна більш високий ступінь точності [11].

На рисунках 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 показані схеми базування деталі корпус фільтра.

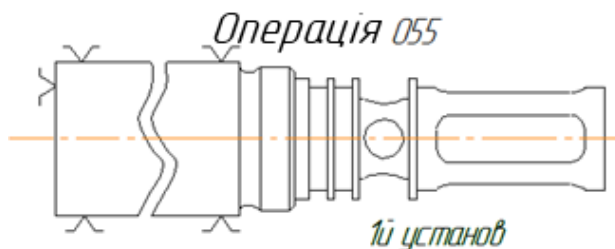


Рисунок 2.7-Схема базування на операції 055 на першому установі

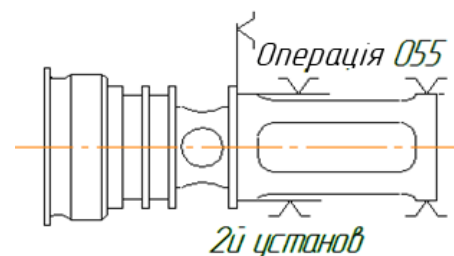


Рисунок 2.8 – Схема базування на операції 055 на другому установі.

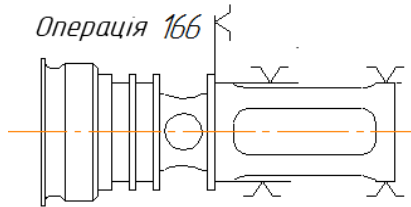


Рисунок 2.9 – Схема базування на операції 166

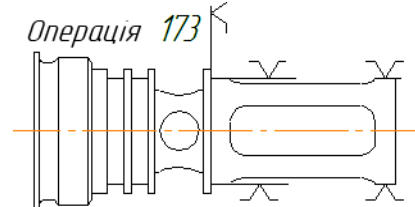


Рисунок 2.10 – Схема базування на операції 173

2.9 Вибір різального інструменту

На всіх операціях механічної обробки доцільно максимально застосовувати стандартні інструменти з механічним кріпленням багатогранних пластин із твердого сплаву зі зносостійкими покриттями на основі нітриду титану TiN і карбиду титану TiC. Це дозволить збільшити швидкість різання і стійкість інструмента, а також уникнути проектування спеціальних інструментів. У даному дипломному проекті для обробки деталі корпус фільтра стандартний різальний інструмент вибираємо згідно з рекомендаціям Sandvik Coromant Tool Guide [9,10]. Однак на одну операцію необхідно спроектувати спеціальний різальний інструмент.

Різальні інструмент, використовувані для виготовлення корпуси фільтра, представлено в таблиці 2.13 (вибір міряльного інструмента див. додаток А - операційна карта).

Таблиця 2.13 – Вибір різального інструменту і устаткування

Операція	Перехід	Верстат	Наявність інструментальної системи	Різальний інструмент			
				Найменування	Позначення	Виготовлювач	Метод підвищення стійкості РІ
1	2	3	4	5	6	7	8
Комплексна зі ЧПК 055	1	MAST MLS SX12	+	Різець прохідний	CNMG120408	Kennametal	Покриття TiN
	2			Різець прохідний	CNMG120404		
	3			Різець канавковий	PENTA 24N300J020		
	4			Свердло	ICP 190		
	5			Свердло торцеве	61020499-14		
	6			Свердло	IDM 140		
	7			Різець розточний	CCMT 060204		
	8			Резьбофреза	TM25D17L26Z2		

	9			Різець канавковий	PENTA 24N300J020		
Комплексна зі ЧПК 055	10	MAST MLS SX12	+	Різець канавковий	PENTA 24N300J020	Kennametal	Покриття TiN
	11			Різець канавковий	PENTA 24N150Z010		
	12			Різець різьбовий	16ER A60		
	13			Свердло центрувальне	6100002-17		
	14			Свердло	SCD 081-035-100		
	15			Фреза	EC060B16-4C06		
	16			Різець	HGN 3003C		
	17			Різець	CNMG 120408-TF		
	18			Свердло	SCD 169-051-180		
	19			Свердло торцеве	6.102.0499-18		
	20			Різець розточний	CCMT 060204		
	21			Різець канавковий	GIQR 11-2.50-0.20		
	Електроерозійна 166			22	Sodick AQ35L		
Шліфувальна зі ЧПК 173	23	ELB Rotary VS	+	Шліфувальне коло	ПП 450 X 63 X 127 СЭ 8.40 CM2 K6		-

2.10 Розрахунки режимів різання і норм часу обробки деталі

2.10.1 Розрахунки режимів різання

Точіння і розточування:

1) Вибір глибини різання. Мінімальна необхідна глибина різання для напівчистої обробки визначається по [16]. Для поверхні 2, діаметр якої відповідає інтервалу розмірів від 30 до 50 мм, рекомендується глибина різання $t = 1,3$ мм.

2) Вибір інструмента. На верстаті MLS 560×1410 SX12 фірми MAST використовують різці з перетином державки 25×25 мм. Товщина пластини 4,8 мм. По [4,8] і з умов обробки ухвалюється ромбічна форма пластини з кутом при вершині $\epsilon = 80^\circ$ із твердого сплаву IC908.

По [12] вибирається спосіб кріплення пластини – клин-прихватом. По [12] і з умов обробки вибираються кути в плані: $\phi = 50^\circ$, $\phi_1 = 7^\circ$. По [12] визначаються інші геометричні параметри ріжучої частини: задній кут $\alpha = 6^\circ$, передній кут $\gamma = 10^\circ$. Форма передньої поверхні – плоска з фаскою; радіус вершини різця $r_b = 1,0$ мм.

Нормативний період стійкості визначається по [10]. $T = 60$ хв.

3) Вибір подачі

Для напівчистої обробки подача вибирається по [10]. Рекомендована подача $S_{от} = 0,14$ мм/ об. По тій же карті визначаються поправочні коефіцієнти на подачу:

- залежно від інструментального матеріалу $K_{Su} = 1,0$;
- способу кріплення пластини $K_{sp} = 1,0$.

Рекомендовані подачі заносяться в таблицю 2.17

По [12] визначаються поправочні коефіцієнти на подачу для змінених умов обробки залежно від:

- перетину державки різця $K_{S\delta} = 1,0$;
- міцності ріжучої частини $K_{Sh} = 0,95$;
- механічних властивостей оброблюваного матеріалу $K_{Sm} = 1,25$;
- схеми установки заготовки $K_{Sy} = 0,8$;
- стану поверхні заготовки $K_{Sn} = 0,8$;
- геометричних параметрів різця $K_{S\phi} = 0,95$;
- твердості верстата $K_{Sj} = 0,75$.

Остаточно подача визначається за формулою :

$$S_0 = S_{om} \cdot K_{Su} \cdot K_{Sp} \cdot K_{S\delta} \cdot K_{Sh} \cdot K_{Sm} \cdot K_{Sy} \cdot K_{Sn} \cdot K_{S\phi} \cdot K_{Sj}. \quad (2.20)$$

Розраховані подачі перевіряються по осьовий P_x і радіальної P_y складовим сили різання, що допускаються міцністю механізму подач.

По [20] визначаються табличні значення складових сил різання: $P_{xm} = 530H$, $P_{ym} = 160H$.

По [20] визначаються поправочні коефіцієнти на сили різання для зміни умов залежно від:

- механічних властивостей оброблюваного матеріалу $K_{Pmx} = K_{Pmy} = 0,75$;

- головного переднього кута $K_{P\gamma_x}=1,2$; $K_{P\gamma_y}=1,1$;
- кута нахилу крайки $K_{P\lambda_x}=K_{P\lambda_y}=1,0$;
- головного кута в плані $K_{P\phi_x}=0,95$; $K_{P\phi_y}=1,15$.

Остаточні складові сили різання визначаються по формулах:

$$P_x = P_{Xm} \cdot K_{P_{mx}} \cdot K_{P\gamma_x} \cdot K_{P\lambda_x} \cdot K_{P\phi_x} \quad (2.21)$$

$$P_y = P_{Ym} \cdot K_{P_{my}} \cdot K_{P\gamma_y} \cdot K_{P\lambda_y} \cdot K_{P\phi_y}. \quad (2.22)$$

Розраховані значення складових сил різання менше, чим допускається механізмом подач верстата.

$$P_{x_{дон}} = 453,15 \text{ Н}, P_{y_{дон}} = 151,8 \text{ Н}.$$

Розраховані значення подач заносяться в табл. 2.17

4) Вибір швидкості різання

Рекомендовані значення швидкості різання вибираються з карти [11]

$$V_T = 315 \text{ м/хв.}$$

По [20] вибираються поправочні коефіцієнти залежно від інструментального матеріалу $K_{Vu} = 1,0$.

По [20] вибираються інші поправочні коефіцієнти на швидкість різання для змінених умов залежно від:

- групи оброблюваності матеріалу $K_{Vc} = 0,5$;
- виду обробки $K_{Vo} = 1,0$;
- твердості верстата $K_{Vj} = 0,75$;
- механічних властивостей оброблюваного матеріалу $K_{Vm} = 1,7$;
- геометричних параметрів різця $K_{V\phi} = 1,0$;
- періоду стійкості ріжучої частини $K_{Vm} = 0,7$;
- наявності охолодження $K_{V_{жс}} = 1,0$.

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання визначається за формулою:

$$KV = K_{Vu} \cdot K_{Vc} \cdot K_{Vo} \cdot K_{Vj} \cdot K_{Vm} \cdot K_{V\phi} \cdot K_{Vm} \cdot K_{V_{жс}}. \quad (2.23)$$

Остаточна швидкість різання визначається за формулою:

$$V = V_m \cdot KV. \quad (2.24)$$

Табличні і скоректовані значення швидкості різання заносяться в таблицю 2.17.

Частота обертання шпинделя визначається за формулою:

$$n = \frac{1000V}{\pi \cdot D} \quad (2.25)$$

Ухвалюється частота обертання шпинделя, наявна на верстаті, $n_{\phi}=112$ об/хв. Тоді фактична швидкість різання визначається за формулою:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.26)$$

5) Перевірка обраних режимів по потужності привода головного руху

Таблична потужність різання визначається по [20] $N_m=3,6$ кВт.

По [20] визначається поправочний коефіцієнт на потужність залежно від твердості оброблюваного матеріалу $K_N=0,6$.

Таблична потужність різання коректується за формулою:

$$N = N_m \cdot K_N \cdot v_{\phi} / v_m. \quad (2.27)$$

6) Визначення хвилинної подачі.

Хвилинна подача розраховується за формулою:

$$S_m = n_{\phi} \cdot S_o \quad (2.28)$$

Значення хвилинної подачі заноситься в таблицю 2.14

Таблиця 2.14 - Елементи режимів різання при чочінні

Операція		055							
№ переходу		1	2	3	7	8	9	10	16
Коефіцієнти і показники ступеня	K_{Vu}	0,95	1	1	0,95	1	0,95	0,95	1
	K_{Vc}	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	K_{Vo}	1	1	1,2	1,25	1	1	1	1
	K_{Vj}	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
	K_{Vm}	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
	$K_{V\phi}$	1	1,1	1,1	1	1,11	1	1	1
	K_{Vr}	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8
	$K_{Vж}$	1	1	1	1	1	1	1	1
Елемент	t, мм	1,3	0,7	0,5	0,6	1	0,6	0,6	1,3
	$S_{от}$, мм/об	0,14	0,17	0,13	0,17	0,14	0,17	0,17	0,4
	T, хв	60	45	45	60	45	60	60	45

Операція		055							
№ переходу		1	2	3	7	8	9	10	16
	$V_T, \text{м/хв}$	340	300	380	350	327	350	350	340
	$V_\phi, \text{об/хв}$	289	349	537	359	439	289	289	399
	$n, \text{об/хв}$	288	348	1038	603	657	433	332	398
	$S_o, \text{мм/об}$	0,09	0,11	0,08	0,11	0,09	0,11	0,11	0,27
	$N_T, \text{кВт}$	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	4,9
	$N, \text{кВт}$	1,8	2,5	3,05	2,21	2,89	1,78	1,78	2,53
	$S_M, \text{мм/хв}$	25,38	39,05	84,8	63,8	61,2	48,4	36,3	99,9

Обробка отворів. Нижче наведений порядок розрахунків на наступні види робіт: свердління, [34].

- 1) Вибирається глибина різання. При свердлінні глибина різання:

$$t = 0,5D \quad (2.29)$$

- 2) Призначається подача. При свердленні отворів без обмежуючих факторів вибирається максимально припустима по міцності свердла подача.

- 3) Швидкість різання, м/хв, при свердлінні [13]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^{m_v} \cdot S^{y_v}} K_v \quad (2.30)$$

- 4) Крутний момент, Н·м, та осьова сила, Н, розраховується за формулами:

$$M_{кр} = 10C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p; \quad (2.31)$$

$$P_0 = 10C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \quad (2.32)$$

- 5) Потужність різання, кВт, визначається за формулою:

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} \quad (1.33)$$

Частота обертання інструмента або заготовки, об/хв:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (1.34)$$

Фрезерування.

Вихідні дані:

- матеріал заготовки 12Х18Н10Т твердістю 179 НВ;
- операція: токарська ЧПК;
- перехід: фрезерування чотирьох отворів [34] шириною $B = 10$ мм і глибиною $t = 0,75$ мм, параметр шорсткості Rz 40.

Необхідно вибрати різальний інструмент, призначити режими різання, визначити основний час.

Вибір різального інструменту.

Фреза кінцева із циліндричним хвостовиком діаметром $D = 6$ мм, довжина фрези $L = 57$ мм, довжина ріжучої частини $l = 16$ мм, число зубів $z = 6$ [34].

Матеріал ріжучої частини – твердий сплав IC900.

Значення геометричних параметрів фрези:

$$\gamma = 15^\circ; \alpha = 14^\circ; \omega = 45^\circ; \phi = 3^\circ. [12]$$

Призначення режимів різання.

Вибирається глибина різання. Припуск знімається за два робочі ходи: $t = 0,75$ мм, $B = 30$ мм.

Далі слід призначити подачу. Для досягнення шорсткості поверхні Rz40 рекомендується подача $S = 0,3$ мм/зуб. Подача на зуб фрези складе.

$$S_z = S/z \quad (2.35)$$

$$S_z = 0,05 \text{ мм/об}$$

Визначення хвилинної подачі:

$$S_m = S \cdot n = S_z \cdot Z \cdot n \quad (2.36)$$

$$S_m = 0,05 \cdot 6 \cdot 2016 = 604,8 \text{ мм/хв}$$

Частота обертання фрези:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.37)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 116,6}{3,14 \cdot 6} = 6157,112 \text{ об/хв}$$

Ухвалюємо частоту обертання шпинделя:

$$n_{\text{min}} = 6000 \text{ об/хв}$$

Швидкість різання, м/хв:

$$V = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^{m_v} \cdot t^{x_v} \cdot S_z^{y_v} \cdot B^{u_v} \cdot Z^{p_v}} K_v C_v = 46,7; q = 0,45; x = 0,5; y = 0,5; u =$$

$$0,1; p = 0,1;$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \quad (1.38)$$

$$K_{mv} = 1,0; K_{nv} = 1,0; K_{uv} = 0,85 [13]$$

$$K_v = 0,85$$

Стійкість для даного діаметра інструмента:

$$T = 80 \text{ хв}$$

$$V = \frac{46,7 \cdot 6^{0,45}}{80^{0,33} \cdot 0,75^{0,5} \cdot 0,02^{0,5} \cdot 10^{0,1} \cdot 6^{0,1}} \cdot 0,85 = 116,6$$

Сила різання, Н:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}$$

$$C_p = 85; x = 0,75; y = 0,6; u = 1; q = 0,86; w = 0$$

$$K_{mp} = 0,74$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 85 \cdot 0,75^{0,75} \cdot 0,02^{0,6} \cdot 10^1 \cdot 6}{6^{0,86} \cdot 1} \cdot 0,74 = 583,1$$

Крутний момент, Н·м,

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100}$$

$$M_{кр} = \frac{583,1 \cdot 6}{200} = 17,49 \quad (1.39)$$

Потужність різання, кВт:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}$$

$$N_e = \frac{583,1 \cdot 116,6}{1020 \cdot 60} = 1,11 \quad (1.40)$$

Різьбонарізування

1) Глибина різання і подача. Якщо крок різьби $P \leq 2,5$ мм, поперечна подача має радіальний напрямок S_p , і утвір різьби відбувається за профільною схемою. Якщо крок різьби $P > 2,5$ мм, чорнові ходи виконують за генераторною схемою з поперечною подачею S_b , паралельній бічній стороні різьбового профілю, залишаючи припуск на чистові робочі ходи, що зрізуються за профільною схемою [34].

2) Швидкість різання, м/хв, при нарізуванні метричного різьби різцями:

$$V = \frac{C_v \cdot i^x}{T^{m \cdot s_y}} \cdot K_v \quad (2.41)$$

$$V = \frac{14,8 \cdot 6^{0,7}}{80^{0,11} \cdot 1,2^{0,3}} \cdot 0,85 = 26,01$$

3) Тангенціальна складова сили різання, Н, при нарізуванні різьби різцями:

$$P_z = \frac{10C_p P^y}{i^n} \cdot K_p \quad (2.42)$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 148 \cdot 1,5^{1,7}}{60^{0,71}} \cdot 0,74 = 612,9$$

де: P - крок різьби, мм;

i - число робочих ходів.

4) Потужність, кВт, при нарізуванні різьби:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (1.43)$$

$$N = \frac{612,9 \cdot 26,01}{1020 \cdot 60} = 0,26$$

5) Оберти шпинделя, об/хв, при нарізуванні різьби:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} \quad (1.44)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 26}{3,16 \cdot 30} = 276,11 \approx 276$$

Розрахунки раціональних режимів різання на лезових операціях наведено в таблиці 2.15

Таблиця 2.15 – Елементи режимів різання при свердлінні, нарізуванні різьб, фрезеруванні

Операція	Перехід	Обробка	Елементи режимів різання						
			t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	M _{кр} , Н·м	P _о , Н	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
055	4	Свердлити отвір (10)	4,5	0,45	15,23	167,25	145,44	1749,2	2,49
	5	Свердлити з подторцовкой отвір (10)	14,5	0,45	15,23	167,25	145,44	1749,2	2,49
	6	Свердлити отвір (11)	7	0,3	14,59	331,89	25,57	637,03	0,87
	11	Нарізати різьбу (5)	0,7	1,2	30,6	276	-	-	0,26
	13	Свердлити послідовно 4 отвору (12)	4	0,2	14,46	575,63	6,21	270,89	0,36
	17	Фрезерувати послідовно 4 паза (13)	5	0,05	116,6	6000	17,49	-	1,11
	19	Свердлити отвір (16)	8,5	0,33	15,63	292,8	40,3	827,51	1,21

2.10.2 Нормування технологічних операцій

Нормування технологічних операцій проводиться відповідно до прийнятих раніше схем обробки деталі і з урахуванням призначених режимів різання на кожній з них, тобто визначається регламентований час виконання певного виду робіт у конкретних виробничих умовах [36].

Норма штучного часу розраховується за формулою:

$$T_{шт} = t_o + t_{всп} + t_{тех} + t_{орг} + t_{отд}, \quad (2.45)$$

де $T_{шт}$ - штучний час обробки деталі, хв;

t_o - основний час, хв;

$t_{всп}$ - допоміжний час, хв;

$t_{тех}$ - час на технічне обслуговування, хв;

$t_{орг}$ - час на організаційну роботу, хв;

$t_{отд}$ - час на відпочинок і особисті потреби, хв.

Основний час визначається за формулою:

$$t_o = \frac{L}{n \cdot S}, \quad (2.46)$$

де L - довжина робочого ходу, мм;

n - частота обертання шпинделя, об/хв;

S - подача, мм/ об.

Допоміжний час розраховується за формулою:

$$t_{всп} = t_{уст} + t_{перем} + t_{изм} \quad (2.47)$$

де $t_{уст}$ - час на установку і зняття деталі, хв. [15];

$t_{перем}$ - час, затрачуване на холосте переміщення різального інструменту до деталі з початку обробки і повернення у вихідне положення наприкінці, хв. [15];

$t_{изм}$ - час на контрольні виміри, хв. [36].

Час на технічне обслуговування робочого місця визначається за формулою:

$$t_{он} = t_o \cdot t_{всп}, \quad (2.48)$$

де: t_o - загальний операційний час, хв;

$t_{всп}$ - допоміжний час, хв.

Час на організаційне обслуговування робочого місця визначається за формулою:

$$t_{обс} = t_{мо} + t_{оо}, \quad (2.49)$$

де $t_{мо}$ - час на технічне обслуговування [36];

$t_{оо}$ – час на організаційне обслуговування [36].

Час на відпочинок і особисті потреби визначається за формулою:

$$t_{отд} = \frac{(t_o + t_e) \cdot a_{отд}}{100}, \quad (2.50)$$

де: $a_{отд}$ - час на відпочинок, виражене в %, $a_{отд}=7\%$.

Штучно-калькуляційний час на кожну операцію визначається за формулою:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{нз}}{n}, \quad (2.51)$$

де: $T_{нз}$ – підготовчо-заклучний час, вибирається по [15];

n – партія запуску, розраховується за формулою:

$$n = \frac{N_p \cdot a}{254}, \quad (2.52)$$

де: N_p – річна програма випуску, шт.;

a – коефіцієнт завантаження складських приміщень, $a = 3, 6, 9, 15$.

Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.16

Таблиця 2.16 – Нормування часу обробки деталі по проектуваному технологічному процесі

Операція	T_o	$T_{в\text{ вуст}}$	$T_{в\text{ оп}}$	$T_{в}$	$a_{тех}+a_{орг}+a_{отн}, \%$	$T_{ш}, \text{ хв}$
055	48,34	0,32	15,46	3,55	8	55,14
166	10,28	0,41	0,52	1,02	8	12,36
173	5,36	0,32	1,71	5,33	8	8,2

2.11 Розробка програми для обробки деталі «Корпус фільтра генератора моделі ГП21»

Розроблена програма для «стійки» Sinumerik 820d верстата MAST MLS 560×1410 для обробки деталі «корпус насоса» показана у додатку В.

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунки і проектування спеціального верстатного пристосування

3.1.1 Призначення і опис роботи пристосування

На операції 166 «Електроерозійна обробка» виконується обробка шестигранного отвору з радіусом описаної окружності 17 мм і глибиною 8 мм. На цій операції застосовується пристосування із гвинтовим прихватом деталі, що загвинчуються вручну [45].

Дане пристосування кріпиться на верстаті Sodick AQ35L (див. рис. 3.1) за допомогою болтів, які встановлюються в посадкові отвори.



Рисунок 3.1 - Загальний вигляд електроерозійного верстата Sodick AQ35L

Застосування немеханізованого пристосування обумовлене механічними властивостями деталі. Деталь є тонкостінною і у випадку застосування гідравлічного або пневматичного затискача вона може бути ушкоджена. Застосування гідро- або пневморедукторів у цьому випадку є невиправдано складним і спричиняє захаращення робочого простору. Також через те, що обробка ведеться в середовищі рідкого діелектрика, ушкодження гідравліки пристосування з високою ймовірністю може привести до забруднення діелектрика і різкому падінню якості обробки. Аналогічні ушкодження

пневматичних деталей можуть привести до спінювання і розбризкуванню діелектрика, що не тільки може погіршити якість обробки, але і привести до травми.

Ще однією ознакою нераціональності механізації пристосування на даній операції є те, що сили, що впливають на заготовку, незмірно малі і не можуть вплинути на точність установки або якимось образом розкріпити заготовку. Таким чином, немає необхідності в забезпеченні значного зусилля закріплення.

Пристосування являє собою вертикальну призму із закріпленої на ній відкидною планкою і затискним гвинтом зі смушковою гайкою.

Заготовка встановлюється на призматичну поверхню, зверху накидається притискна планка, яка фіксується гвинтом зі смушковою гайкою. Розкріплення проводиться у зворотному порядку.

3.1.2 Аналіз схеми базування деталі, вибір і обґрунтування настановних елементів пристосування

Деталь, корпус фільтра, має циліндричну форму, отже, її зручно встановлювати за схемою для циліндричних деталей з використанням призми.

Деталь установлюється вертикально, що дає подвійну напрямну базу, що позбавляє деталь чотирьох ступенів волі. Упорну базу, що позбавляє деталь п'ятому ступені волі, являє собою поверхня 1 (рисунок 3.2). Шостому ступеня волі – поворот навколо своєї осі – деталь позбавляє координата, проведена від поверхні шпонкової канавки призми [17].

Таким чином, схема базування є повної, при такій установці деталь втрачає всіх ступенів волі.

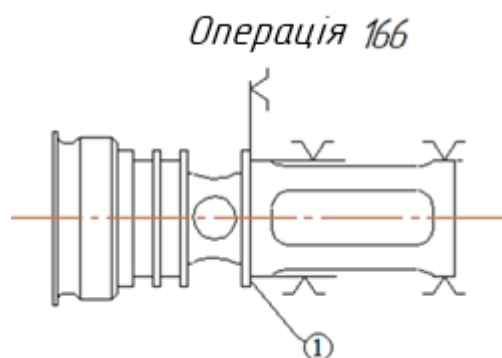


Рисунок 3.2 – Схема базування деталі

3.1.3 Розрахунки точності базування заготовки в пристосуванні і аналіз точності виконання розміру

Деталі, як у процесі обробки, так і готові вироби мають відхилення від точної геометричної форми і номінальних розмірів, заданих кресленням. Сумарна погрішність складається із трьох видів погрішностей:

- погрішність установки;
- погрішність настроювання верстата;
- погрішність обробки.

Погрішність установки виникає в процесі установки заготовки в пристосуванні. Погрішність установки — це відхилення фактично досягнутого при установці положення заготовки від необхідного [17].

Погрішність настроювання містить у собі погрішності, пов'язані з настроюванням інструмента і погрішності систем позиціонування інструментальних блоків.

Погрішність обробки містить у собі геометричну точність верстата, деформації технологічної системи при обробці, теплові деформації і зношування різального інструменту.

Погрішність установки заготовки в пристосуванні $\Delta\varepsilon_y$ обчислюється з урахуванням погрішності базування ($\Delta\varepsilon_\delta$), закріплення заготовки ($\Delta\varepsilon_{np}$), виготовлення і зношування опорних елементів пристосувань ($\Delta\varepsilon_{np}$), положення пристосування. Погрішність установки визначається як граничне поле розсіювання положень вимірюваної поверхні щодо поверхні відліку в напрямку виконуваного розміру.

У зв'язку з тим, що погрішності, відзначені вище, є випадковими величинами [17], те:

$$\Delta\varepsilon_y = \sqrt{(\Delta\varepsilon_\delta)^2 + (\Delta\varepsilon_3)^2 + (\Delta\varepsilon_{np})^2}. \quad (3.14)$$

Погрішність базування — відхилення фактично досягнутого положення від заданого. Виходячи з того, що при збігу вимірювальної і технологічної визначає відхилення положення пристосування від заданого (від траєкторії

переміщення різального інструменту). Погрішність пристосування бази, які в цьому випадку збігаються, погрішність цього розміру рівняється нулю.

Погрішність закріплення — різниця між найбільшими і найменшими величинами проекцій зсуву вимірювальної бази на напрямок розміру, що виконується, у результаті додатка до заготовки затискного зусилля.

Погрішність закріплення $\Delta\varepsilon_z = 0$, тому що пристосування є досить твердим і добре закріпленим.

Погрішність пристосування виражається формулою [17]

$$\Delta\varepsilon_{np} = \sqrt{(\Delta\varepsilon_{uzg})^2 + (\Delta\varepsilon_{uzm})^2 + (\Delta\varepsilon_{yct})^2}, \quad (3.15)$$

$\Delta\varepsilon_{uzg} = 0,015$ — погрішність виготовлення і складання елементів пристосування, становить від 0 до 15 мкм [17];

$\Delta\varepsilon_{uzm} = 0,015$ - погрішність зношування настановних елементів устаткування, становить від 0 до 15 мкм [17];

$\Delta\varepsilon_{yct}$ — погрішність установки встаткування.

Погрішність установки пристосування на верстаті не впливає на точність розмірів, тому що може бути відрегульована відповідним настроюванням різального інструменту $\Delta\varepsilon_{yct} = 0$.

Отже, погрішність пристосування

$$\Delta\varepsilon_{np} = \sqrt{0,015^2 + 0,015^2 + 0^2} = 0,021 \text{ мкм.}$$

Таким чином, погрішність установки деталі для розміру;

$$\Delta\varepsilon_y = \sqrt{0^2 + 0^2 + 0,021^2} = 0,021 \text{ мкм.}$$

Отже, умови точності виконана.

Силві розрахунки розробленого пристосування (див. рис 3.3) для пропалювання шестигранника проводити немає необхідності у виді того, що через специфіку електроерозійної обробки силами, що впливають на оброблювану деталь, можна зневажити.

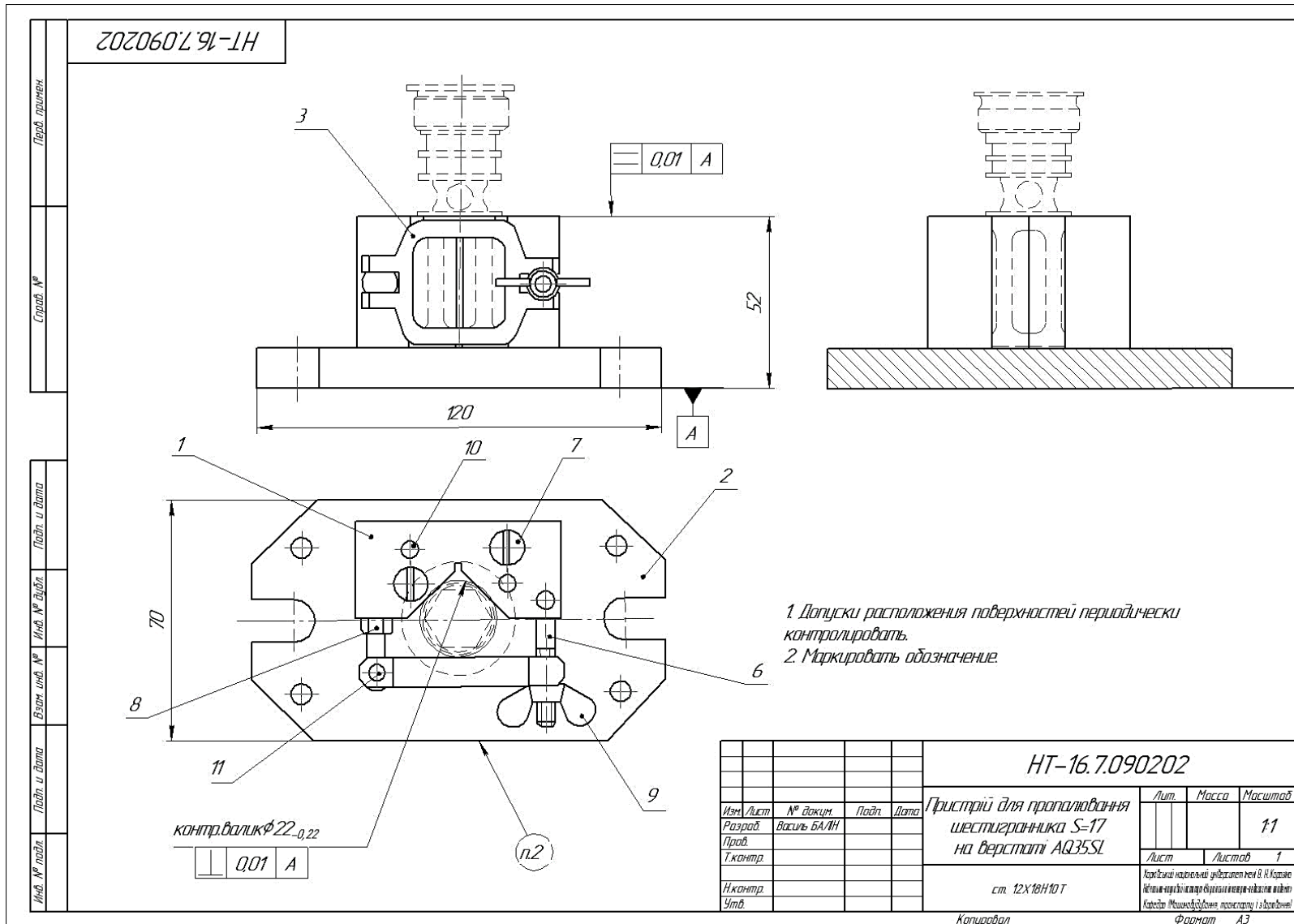


Рисунок 3.3

3.2 Проектування та вибір різальних інструментів

3.2.1 Аналіз операції 075 (свердління)

Свердління нержавіючих аустенітних сталей, зокрема 12X18H10T, є складним технологічним процесом. Ця сталь характеризується високою корозійною стійкістю, пластичністю та низькою теплопровідністю, що ускладнює обробку різанням [4, 20, 38]. Однією з актуальних проблем є забезпечення точності та довговічності свердла, особливо при свердлінні отворів з точним діаметром, наприклад 16,75 мм.

Проблеми свердління сталі 12X18H10T полягають у наступному:

1. Підвищене тертя та нагрівання: низька теплопровідність матеріалу призводить до перегріву свердла, що скорочує його ресурс.
2. Забивання свердла стружкою: пластичність сталі викликає налипання стружки на ріжучу кромку, що погіршує якість обробки.
3. Закалювання кромки свердла: високі температури можуть призводити до локального загартування поверхні свердла, зменшуючи його ріжучі властивості.
4. Точність діаметра: при свердлінні отворів 16,75 мм важливо дотримуватись правильної швидкості обертання та подачі, інакше відбувається збільшення або деформація отвору.

3.2.1.1 Рекомендації щодо вибору свердла та режимів обробки

- Матеріал ріжучої частини: швидкорізальна сталь (HSS) або кобальтові сплави (HSS-Co), які забезпечують стійкість до нагріву та зносу.
- Форма та тип свердла: спіральне свердло зі стандартним кутом заточки 118–130°, можливе застосування свердел із покриттям TiN для зменшення тертя.

Технічні параметри свердління:

- Режим різання: 10–20 м/хв, залежно від типу HSS.
- Швидкість обертання шпинделя: близько 280–285 об/хв для діаметра 16,75 мм.

- Подача: невелика, з періодичним охолодженням.
- Змащення: обов'язкове використання спеціальних рідких мастил для нержавіючих сталей, щоб уникнути перегріву і налипання стружки.

У сучасному машинобудуванні та металургії однією з ключових проблем залишається забезпечення підприємств якісним різальним інструментом, зокрема свердлами для нержавіючої та твердих сталей. Імпортні свердла від європейських та шведських брендів, таких як Dormer Pramet, Garant та Sandvik Coromant, беззаперечно відзначаються високою якістю та надійністю [2, 10]. Однак їхня вартість часто є дуже високою, що створює додаткове фінансове навантаження для підприємств.

Основними чинниками, що обґрунтовують високу ціну, є матеріали, технологія виробництва, контроль якості та сервіс. Так, у виробництві використовують високоякісну сталь HSS-Co, леговану кобальтом, застосовують покриття TiN та TiAlN, що підвищує ресурс і зносостійкість. Крім того, точність шліфування, полірування, термообробка та суворий контроль геометрії свердел забезпечують стабільний ресурс навіть при свердлінні складних матеріалів. Нарешті, компанії надають технічну підтримку та рекомендації щодо режимів різання, що теж враховується у вартості.

Разом із тим, залежність від імпорту має суттєві недоліки: висока вартість (див. табл.3.1), можливі затримки через логістику, митні збори та валютні коливання, а також обмежена адаптація інструменту до місцевих матеріалів і специфічних виробничих умов.

У зв'язку з цим постає питання доцільності проектування і виробництва вітчизняного свердла HSS-Co. Власне виробництво дозволить знизити собівартість на 30–50% при масовому виробництві, адаптувати інструмент під локальні матеріали, розвивати національні технології та створювати нові робочі місця. Навіть із початковими інвестиціями економічний ефект від застосування вітчизняного інструменту може бути значним.

Таблиця 3.1 - Таблиця ключових параметрів імпортних і потенційних вітчизняних свердел:

Параметр	Dormer Pramet / Sandvik / Garant	ZCC-CT (бюджетний)	Потенційне вітчизняне свердло
Матеріал	HSS-Co, HSS з покриттям TiN/TiAlN	HSS-Co доступного класу	HSS-Co локального виробництва
Точність геометрії	Висока, контроль 100%	Середня	Висока (залежить від обладнання)
Ресурс (кількість отворів)	Високий, гарантійно перевірений	Середній	Планований високий при адаптації до локальних умов
Ціна (умовна)	Дуже висока	Низька	Середня, нижча за імпорт
Адаптація під матеріали	Частково	Обмежено	Повна можливість локальної адаптації
Технічна підтримка	Повна	Обмежена	Можлива у виробника
Ризики логістики	Високі (імпорт)	Середні	Мінімальні (вітчизняне виробництво)

Як бачимо, імпортний інструмент забезпечує максимальний ресурс та надійність, але його вартість і залежність від зовнішніх постачальників створюють серйозні проблеми для масового виробництва. Китайські аналоги доступні за ціною, але їхній ресурс і стабільність залишаються нижчими. Вітчизняне виробництво потенційно дозволяє поєднати доступну ціну, високий ресурс та адаптацію під локальні умови, що робить його стратегічно важливим для розвитку промисловості.

Отже, створення власного свердла HSS-Co — це не лише економічно доцільно, але і необхідно для забезпечення технологічної незалежності та конкурентоспроможності вітчизняного машинобудування.

3.2.2 Проектування свердла для операції 075

Проектується свердло для обробки отвору діаметром 17 мм. Насамперед, необхідно визначити діаметр свердла. За ДСТ 885-2005 діаметр свердла складе 16,75 мм. Зворотна конусність такого свердла складе 0,08 мм на 100 мм довжини.

Наступним кроком є визначення кутів нахилу гвинтової канавки ω і кута ріжучої частини 2ϕ . Ці кути визначаються по таблицях, складених на основі емпіричного досвіду [9, 19].

Для свердла діаметром 16,75 мм за таблицями [2] значення кута ω для нержавіючої сталі складе 30, а значення кута 2ϕ складе 118°. Кут нахилу поперечної ріжучої крайки ψ для свердлів діаметром понад 12 мм становить 55°.

За ISO 513:2012 - Конуси інструментальні. Основні розміри (метричні та конуси Морзе) [10] визначаються параметри конуса Морзе. Найближчим значенням діаметра є 17,780 мм. Таким чином, ухвалюється конус Морзе №2 з лапкою, який має наступні параметри:

- $D_1 = 18,0$;
- $d_2 = 14,0$;
- $d_{3max} = 13,5$;
- $l_{3max} = 75,0$;
- $l_{4max} = 80,0$;
- $\alpha = 5,0$;
- $bh13 = 6,3$;
- $c = 10,0$;
- $l_{max} = 16,0$;
- $R = 6,0$;
- $R_l = 1,6$;
- $v = 0,065$.

Наступним кроком є визначення довжин різних частин свердла. Ці довжини визначаються за ДСТУ ISO 494:2018 . Відповідно до даного Держстандарту:

- загальна довжина свердла $L = 119$ мм;
- довжина робочої частини хвостовика $l_0 = 59$ мм;
- довжина робочої частини шейки $l_2 = 48$;
- $d_l = D_l - 1,0 = 17 - 1 = 16$ мм.

Далі слід визначити геометричні та конструктивні параметри робочої частини свердла [38]:

- задній кут: $\alpha = 11^\circ$;
- кут нахилу поперечної крайки: $\psi = 45^\circ$;
- поперечна крайка: $a = 2,0$ мм, $l = 3,5$ мм;
- стрічка: $l_1 = 1,5$ мм, $f_1 = 0,2$, $\alpha_1 = 6^\circ$.

Товщина серцевини свердла dc вибирається залежно від діаметра свердла [18]. Для діаметра свердла 16,75 мм $dc = 0,14 \cdot D = 2,3$ мм.

Ширина стрічки f_0 і висота потилиці по спинці K_0 вибираються за таблицями [10]. Відповідно до діаметра свердла D свердла, $f_0 = 1,2$ мм, $K = 0,6$ мм.

Ширина пера $B = 0,58 \cdot D = 0,58 \cdot 16,75 = 9,715 \approx 9,7$ мм.

Ескіз спроектованого свердла показано на рисунку 3.4.

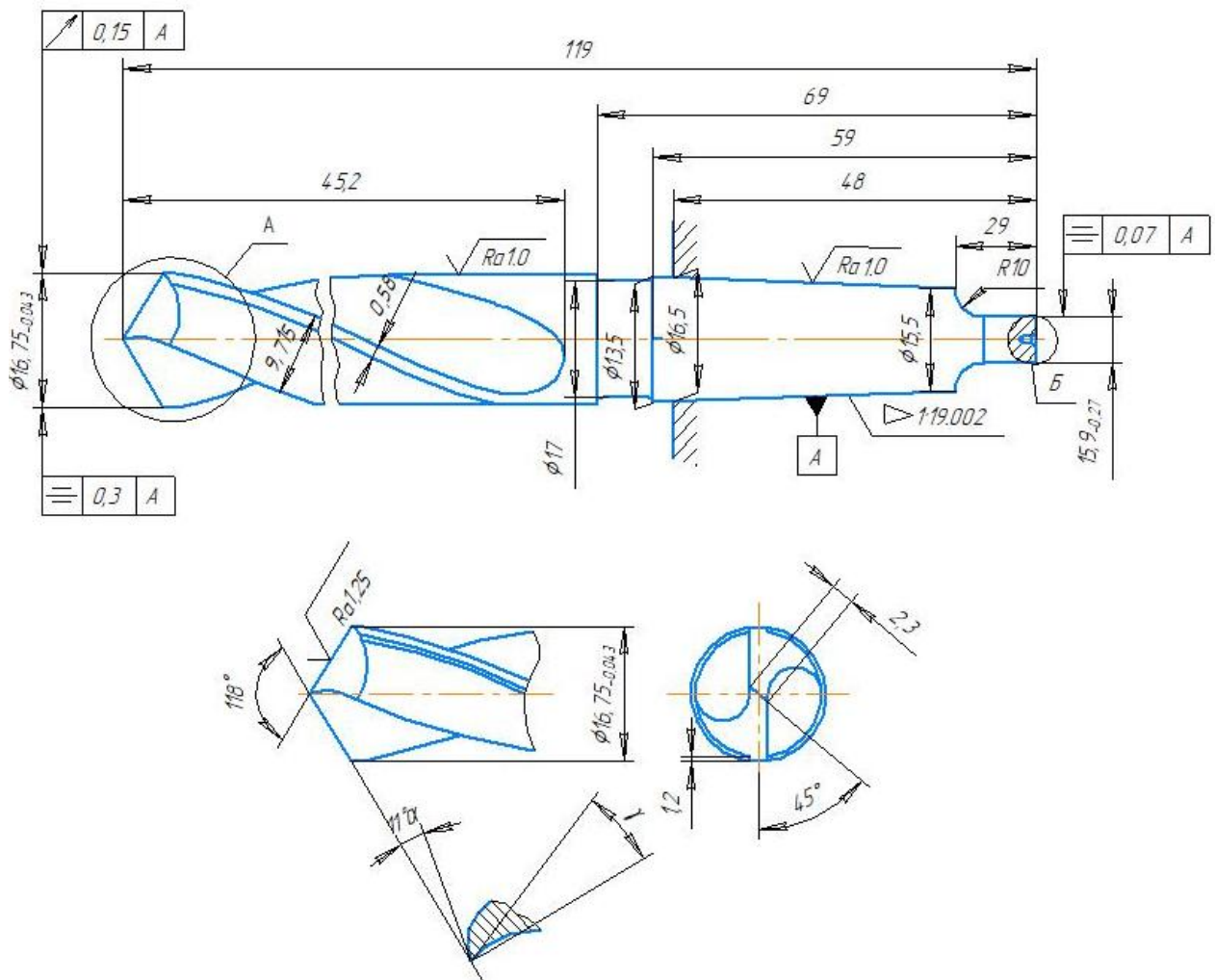


Рисунок 3.4 - Ескіз спроектованого свердла

3.3 Автоматизація вибору інструменту для токарно-фрезерної обробки

Матеріал 12X18H10T — це аустенітна корозійностійка сталь (аналог AISI 321, X6CrNiTi18-10), яка має підвищену в'язкість, схильність до налипання та погану теплопровідність. Тому для неї важливо правильно підібрати інструмент і режими обробки — найкраще через автоматизований вибір у SolidCAM.

У SolidCAM вибір інструментів для матеріалу 12X18H10T виконується через:

- Tool Kit або Tool Library (Tool Database)
- Technology Database (TechDB) — база даних технологічних параметрів.

Ці модулі дозволяють:

- Автоматично вибрати інструмент за типом операції.
- Встановити оптимальні режими різання (V , t , S).
- Застосувати стандартизовані інструменти з бібліотеки (каталогу).

3.3.1 Процедура автоматизованого вибору інструментів

Крок 1. Відкриваємо SolidCAM далі в (у середовищі CAM-Part) вибираємо меню: SolidCAM → Tool → ToolKit / Tool Library. (див. рис. 3.5). Потім вибираємо потім вибираємо обладнання (верстат) - Machine Type: Turning / Mill-Turn (для токарно-фрезерної обробки - верстат MAST MLS 560×1410) (див. рис3.6) [8,30].

Крок 2. Вибір матеріалу обробки:

1. У вікні ToolKit натискаємо вкладку "Workpiece Material".
2. У списку матеріалів «знайди або додай»:
3. Stainless Steel → 12X18H10T / AISI 321
4. Якщо матеріалу немає — можна додати вручну (через TechDB):

Крок 3. Вибір типу операції

Обираємо потрібну операцію:

- Turning (точіння)

- Boring (розточування)
- Drilling (свердління)
- Milling (фрезерування)

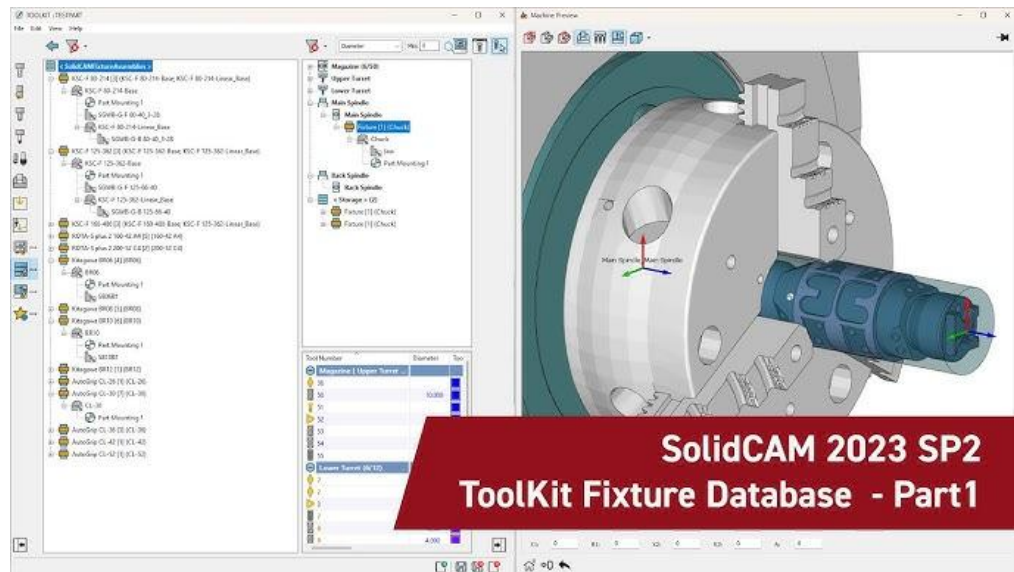


Рисунок 3.5 - Вікно SolidCAM автоматизованого вибору інструменту з банку даних (ToolKit / TechDB)



Рисунок 3.5 - Верстат MAST ML 560×1410

SolidCAM автоматично пропонує список інструментів (див. рис 3.6) [4], які:

- Підходять за геометрією.
- Відповідають матеріалу (через TechDB).
- Мають налаштовані режими різання.

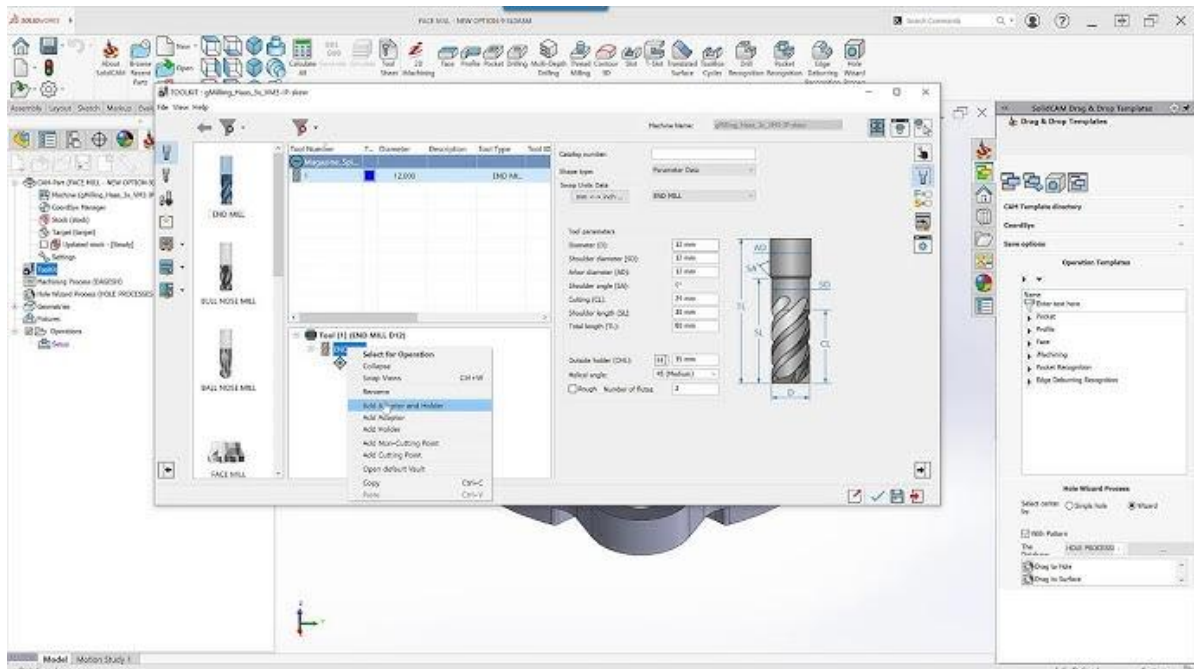
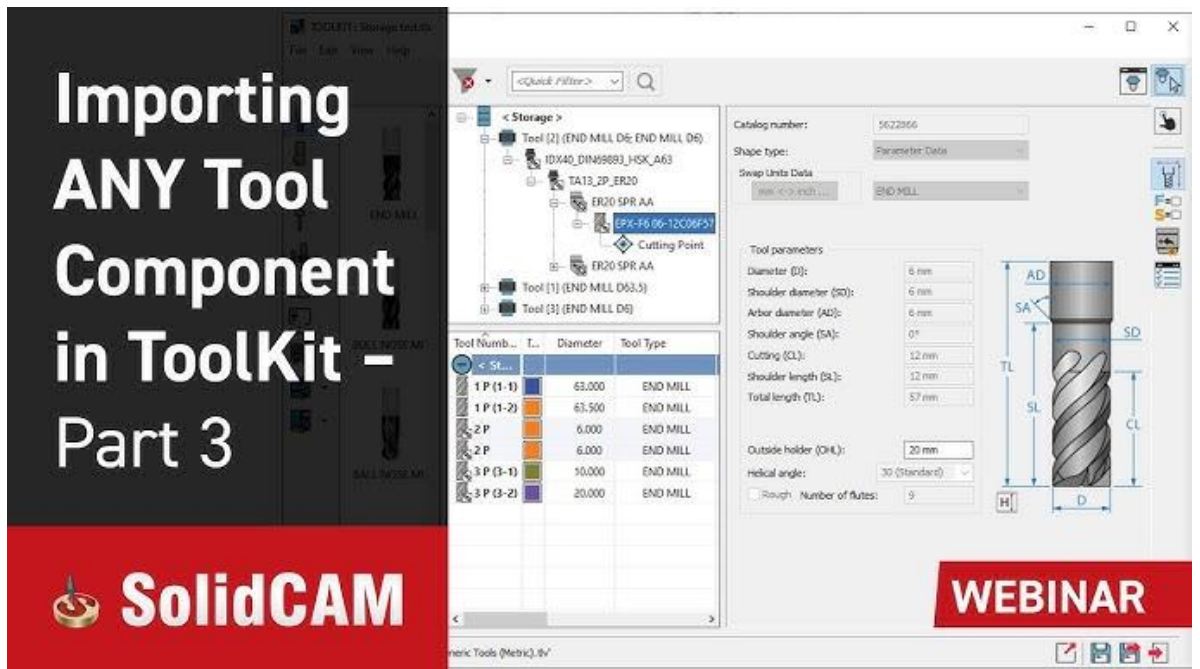


Рисунок 3.6 - Список інструментів SolidCAM.

Крок 4. Автоматичний підбір з банку інструментів

1. У ToolKit натискаємо “Auto Select Tool”.
2. Програма:
 - Зчитує геометрію елемента (отвір, площина, паз).
 - Визначає тип операції.
 - Вибирає інструмент з бібліотеки виробників інструментів (Sandvik, Iscar, Kennametal, Seco) через Tool Catalog Integration (за діаметром, довжиною, типом) (див.рис. 3.7).

3. SolidCAM порівнює матеріал за таблицями ISO:
- P → сталі,
 - M → нержавіючі сталі (наш випадок - 12X18H10T),
 - K → чавуни, тощо.

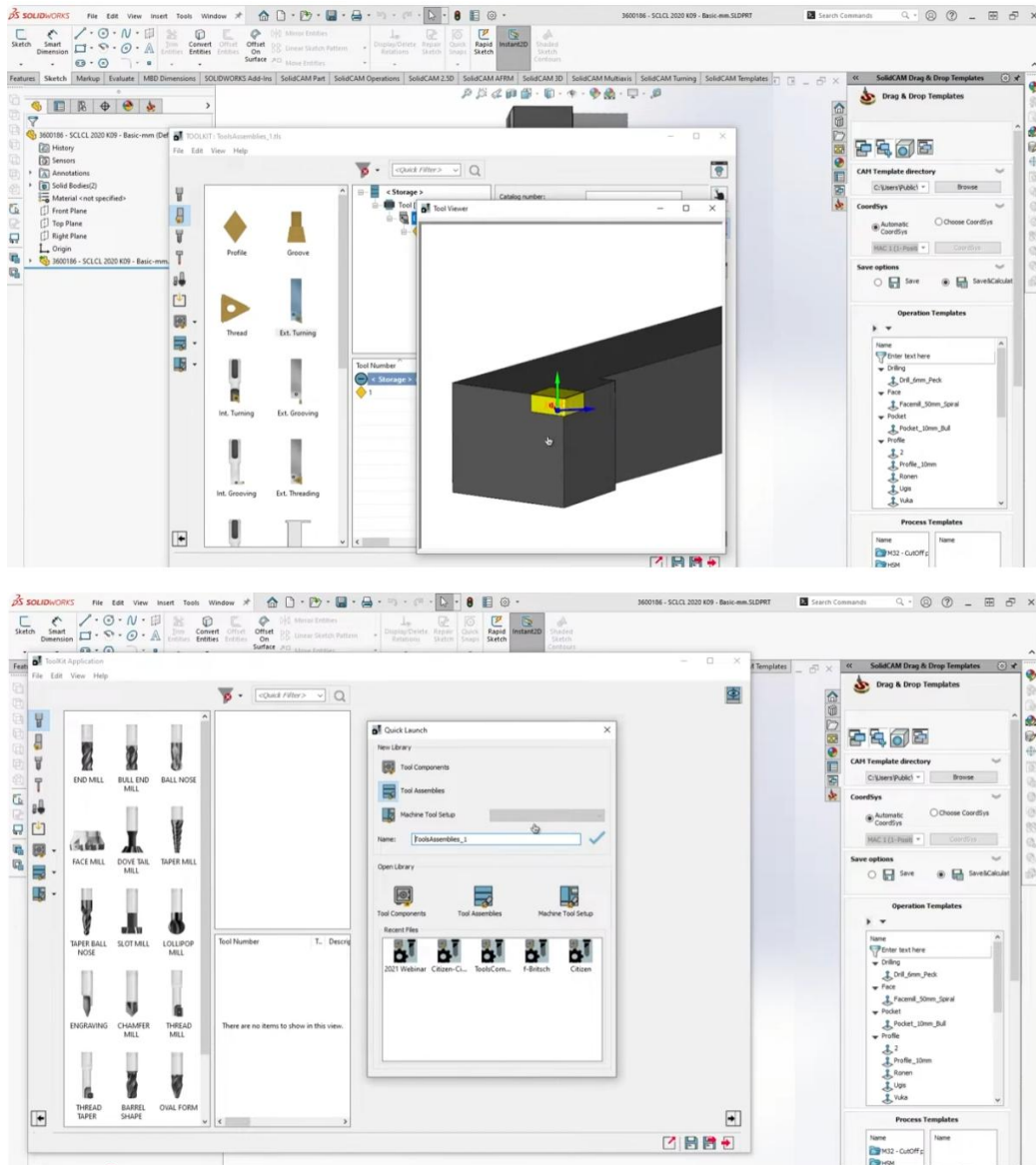


Рисунок 3.7 - Банк інструментів

Крок 5. Перевірка параметрів

SolidCAM запропонує режими:

Параметр	Значення (приклад)	Примітка
Швидкість різання V_c	60–120 м/хв	Залежно від інструмента
Подача t	0.1–0.3 мм/об	Для точіння
Глибина різання t	0.5–2.5 мм	Для чорнової обробки
t (фрезерування)	1–3 мм	Для кінцевих фрез
S (поперечна подача)	0.2D	Для чистових операцій

Крок 6. Підтвердження і збереження

- Натискаємо “Apply Tool” → “Save to Part Tool Library”.
- SolidCAM додасть обраний інструмент до поточної бібліотеки.
- Ці інструменти автоматично з’являться у Tool List для NC-програми.

3.4 Симуляція обробки корпусу фільтра в SolidCAM

Вихідні дані та матеріал:

Деталь: корпус фільтра.

Матеріал: сталь 12X18H10T (аналог AISI 321), корозійностійка, добре піддається токарній і фрезерній обробці.

Точність поверхонь: IT8–IT10.

Шорсткість після чистової обробки: Ra 1,6–3,2 мкм.

Опис обладнання:

Верстат: токарно-фрезерний центр MAST MLS 560×1410.

Система керування: Siemens Sinumerik 840D sl.

Револьверна головка: 8 інструментів, приводні позиції (див. рис.3.8).

ЗОТС – подача через шпиндель, система контролю навантаження.

Заготовка кріпиться у трикулачковому патроні, центрування по осі Z.

Установ 1 — токарна та свердлильна обробка (див. рис.3.9)

1. Підрізання торця.
2. Чорнове точіння зовнішньої поверхні $\text{Ø}65 \rightarrow \text{Ø}50$.
3. Свердління центрального отвору $\text{Ø}12$.
4. Розточування $\text{Ø}25$.
5. Зенкування фаски під 90° .
6. Після завершення контролюються припуски для наступного установу.

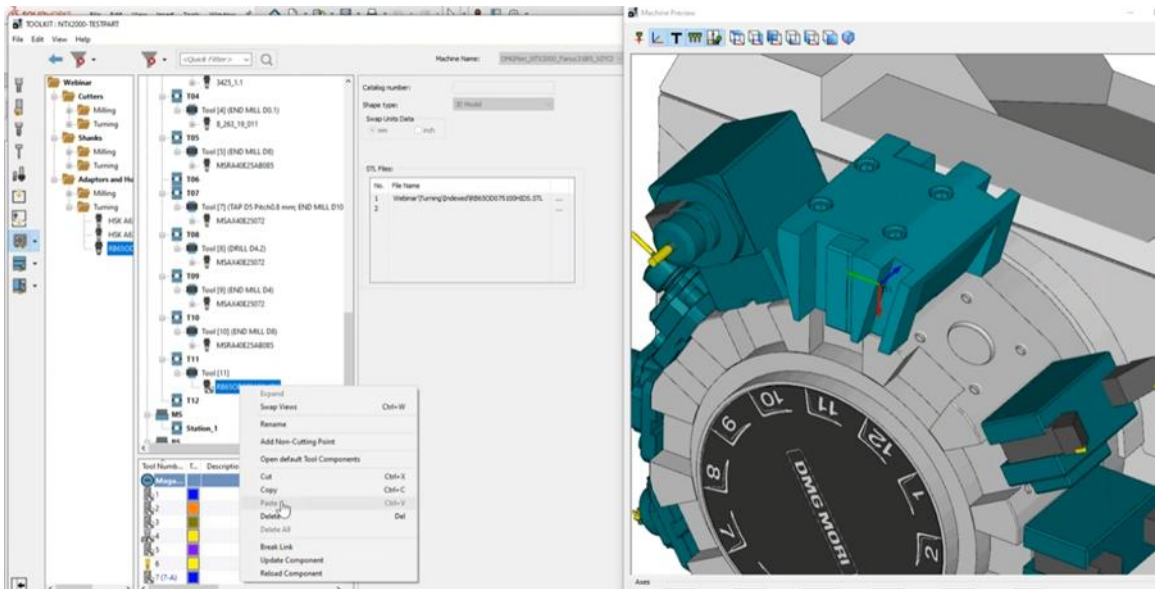
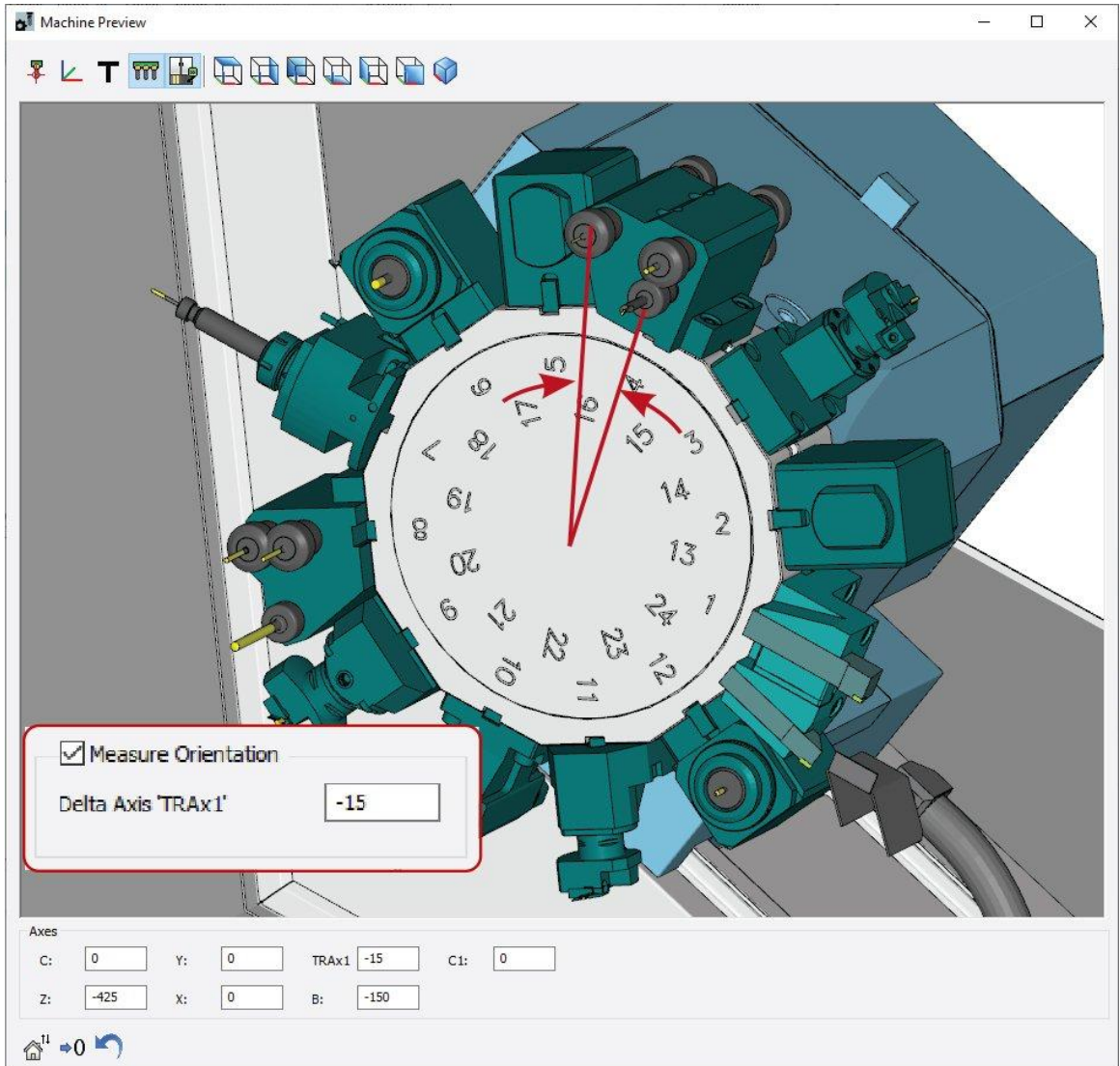


Рисунок 3.8 - Револьверна головка на 8 інструментів

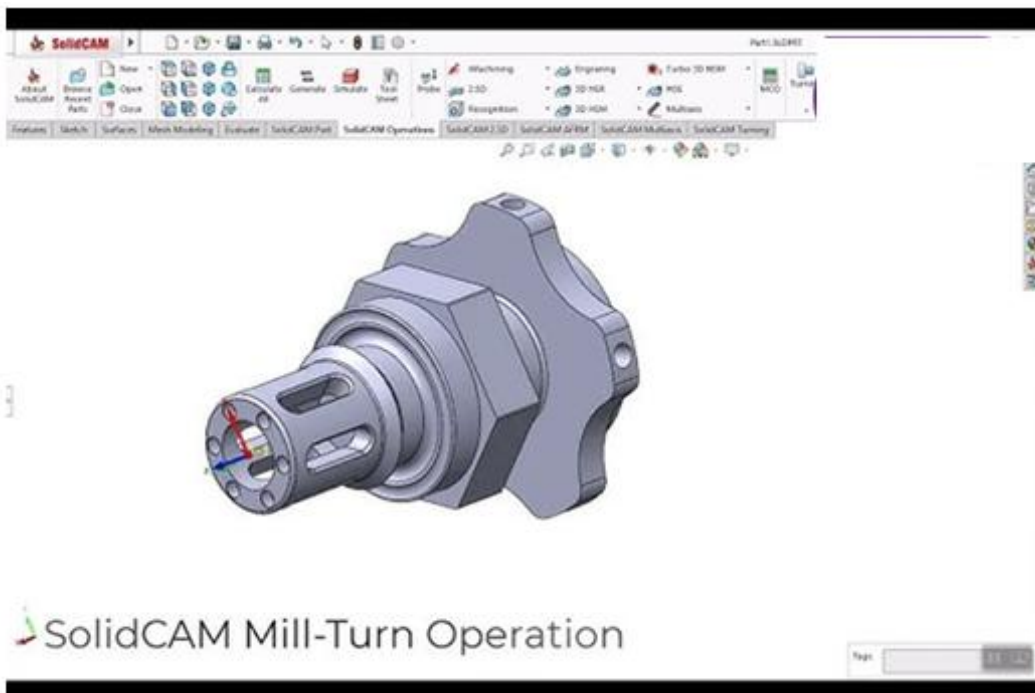
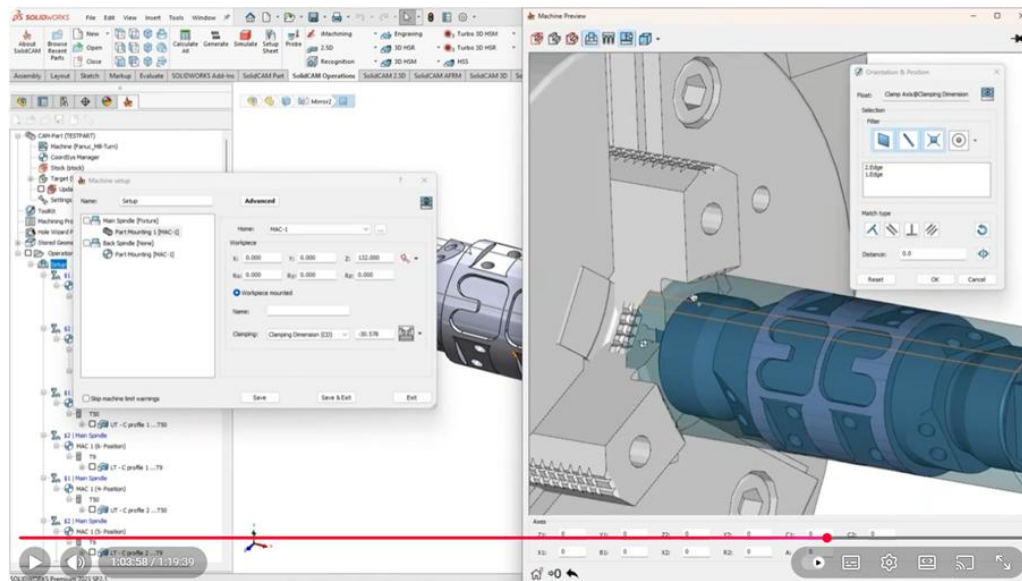
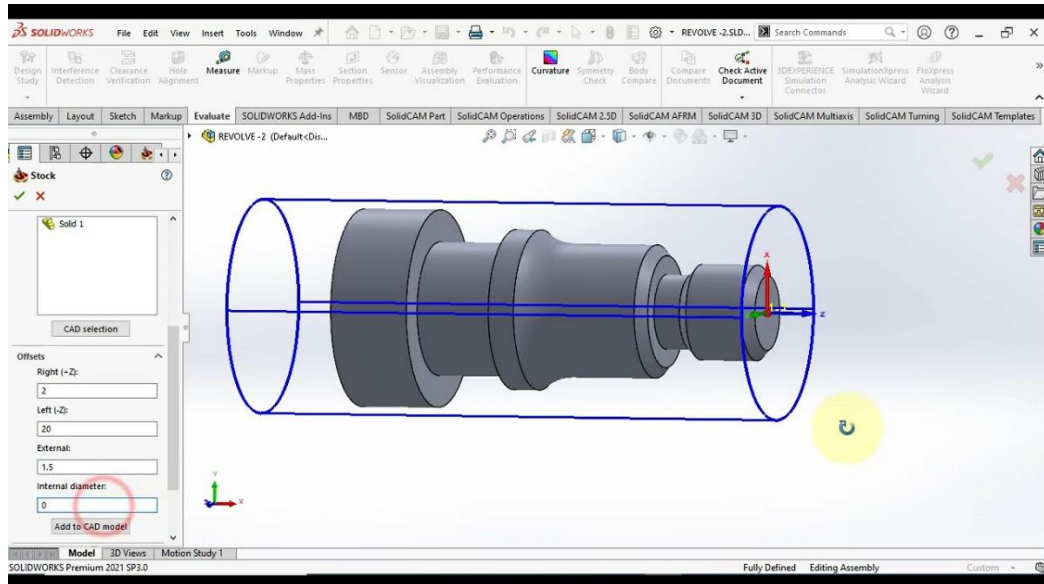


Рисунок 3.9 - Установ 1 — токарна та свердлильна обробка

Установ 2 — токарна, фрезерна та свердлильна обробка (див. рис.3.10)

1. Базування деталі з протилежного боку.
2. Розточування посадочного $\varnothing 40$.
3. Фрезерування площин під кріплення.
4. Фрезерування отворів $\varnothing 8$.
5. Нарізання різьби M24 \times 1,5.
6. Фрезерування шпонкового паза $\varnothing 10$.
7. Чистове точіння $\varnothing 48$ і торця.
8. Контроль розмірів і шорсткості.

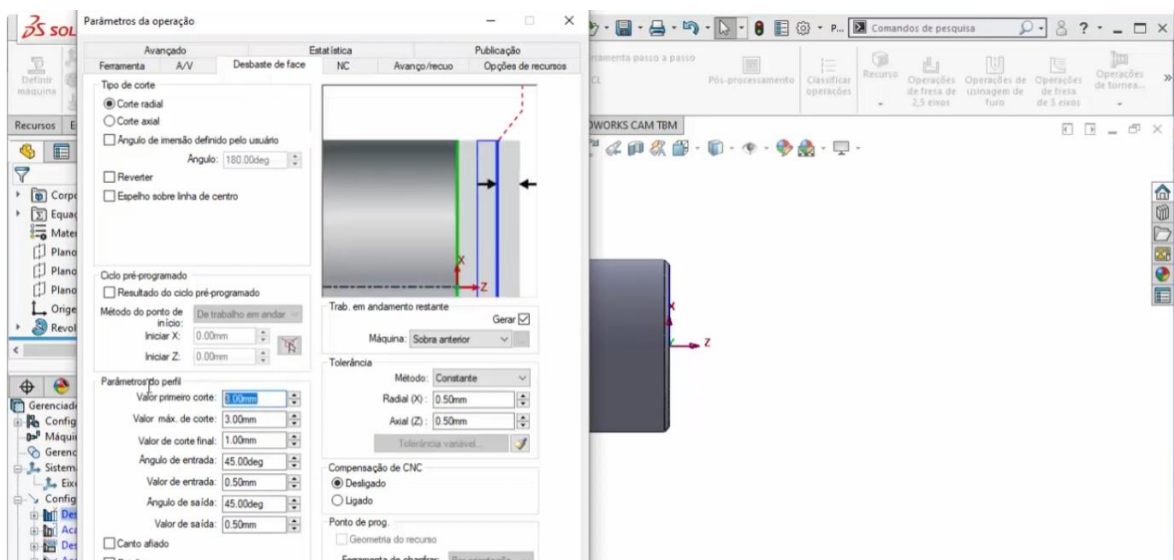
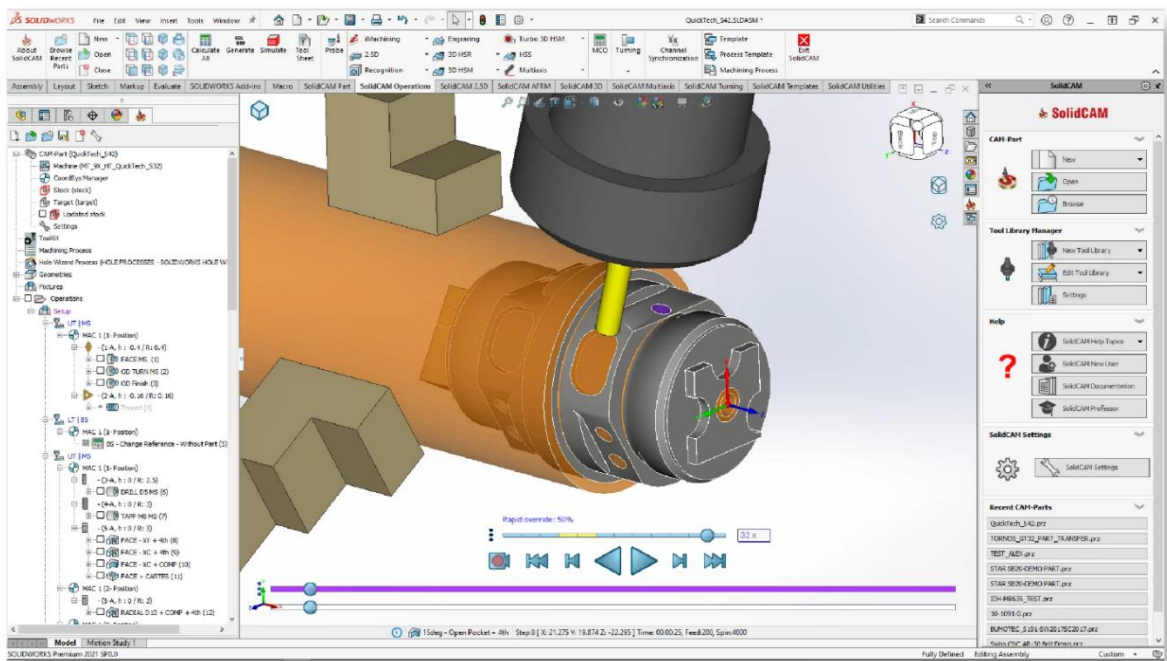


Рисунок 3.10 - Установ 2 токарна, фрезерна та свердлильна обробка

3.4.1 Симуляція в SolidCAM (покроковий опис)

1. Імпорт 3D-моделі корпусу фільтра у SolidWorks (див. рис.3.11).
2. Запуск модуля SolidCAM → New Project.
3. Визначення заготовки (*Stock*), базування по центру патрона.
4. Створення послідовності операцій:
 - Turning → Face — підрізання торця;
 - Turning → Rough — чорнове точіння;
 - Drilling — свердління;
 - Boring — розточування;
 - Milling — фрезерування площин;
 - Threading — різьбонарізання.
5. Налаштування інструментів (Tool Library).
6. Призначення режимів різання та подач (див. табл. 3.2).
7. Запуск перевірки траєкторій у SolidVerify, потім Machine Simulation.
8. Аналіз колізій, контроль відпрацьованих координат.
9. Генерація NC-коду через постпроцесор *Siemens 840D sl*.
10. Перевірка програми у вікні *G-code Editor*. (див. рис. 3.13)

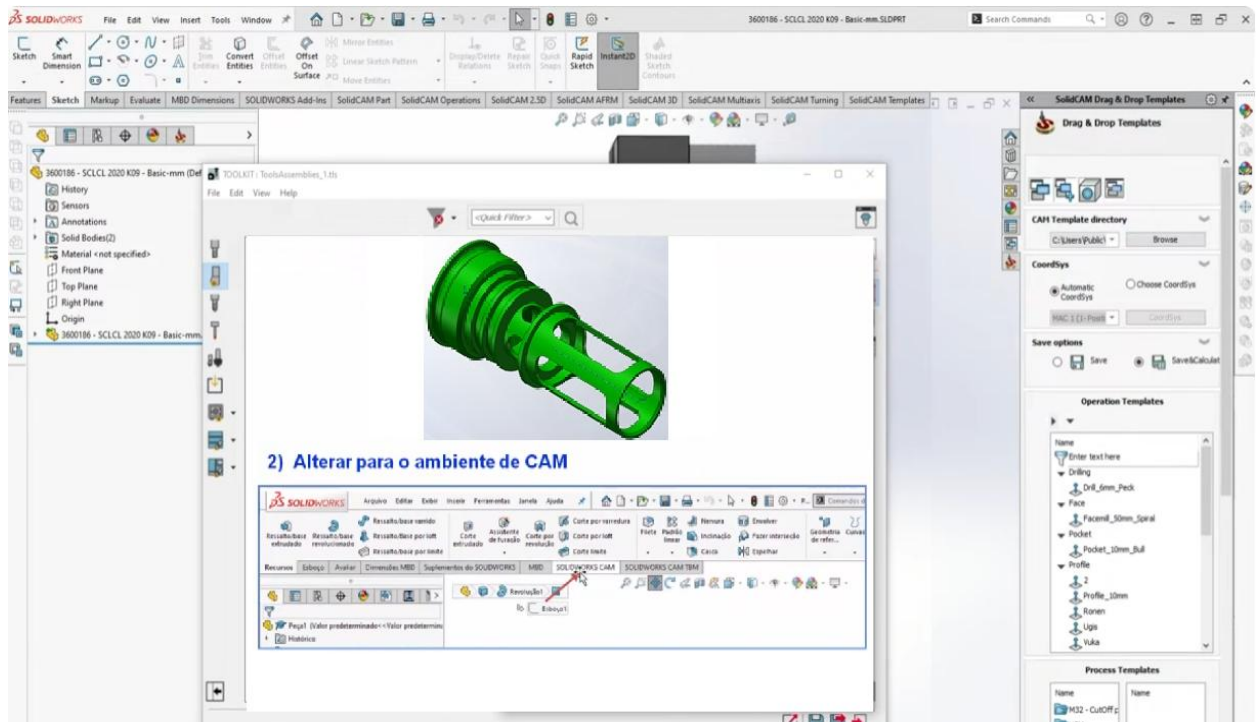


Рисунок 3.11 - Імпорт 3D-моделі корпусу фільтра у SolidWorks

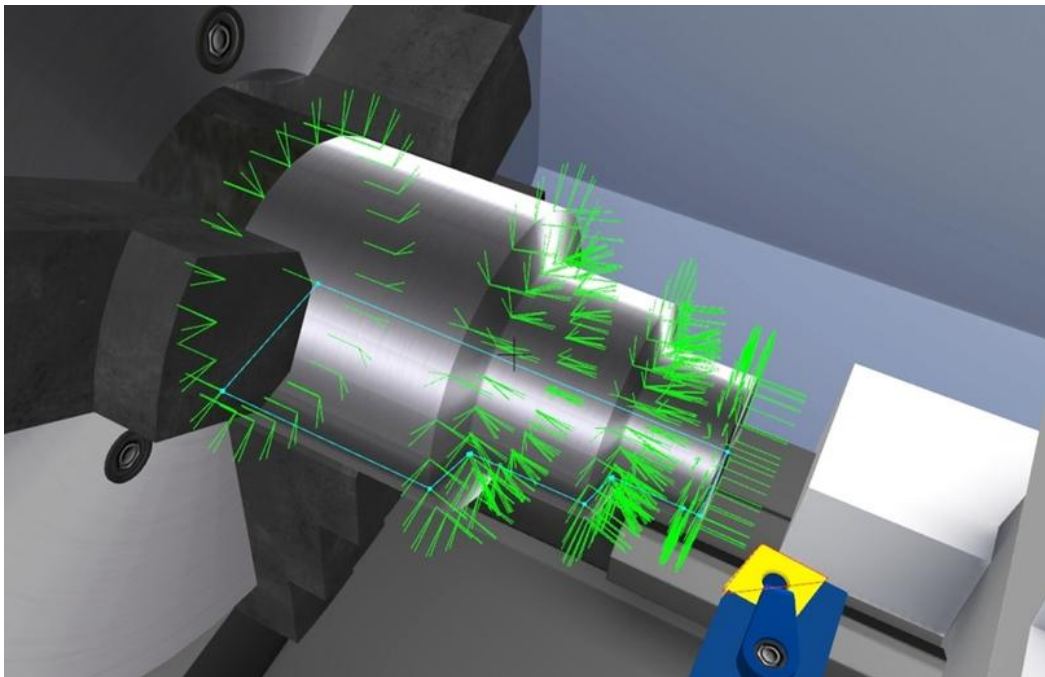
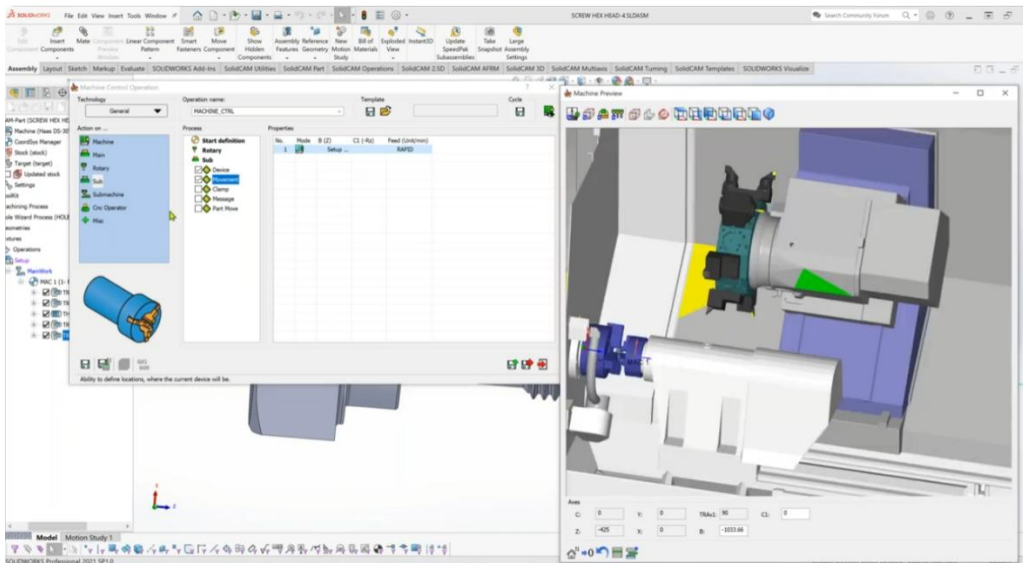
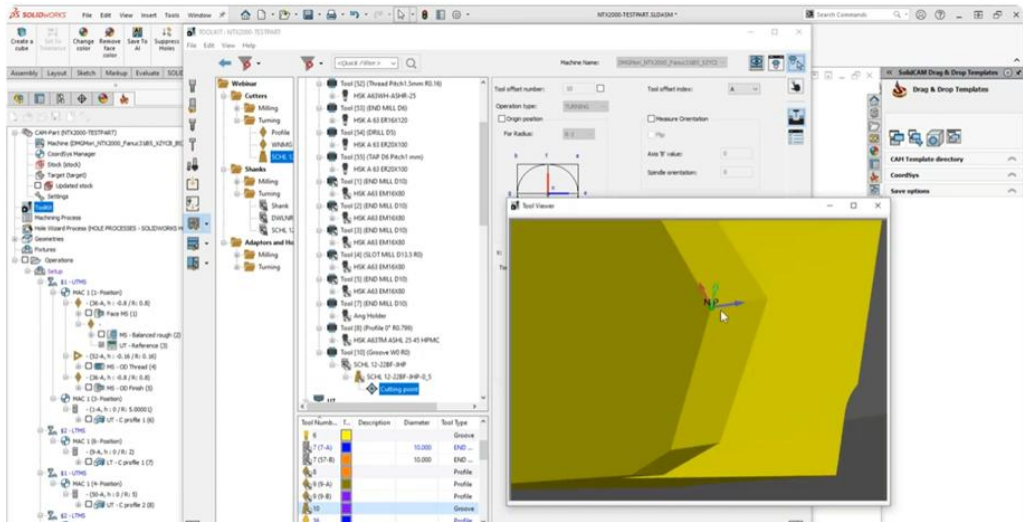


Рисунок 3.12 - Запуск перевірки траєкторій у SolidVerify

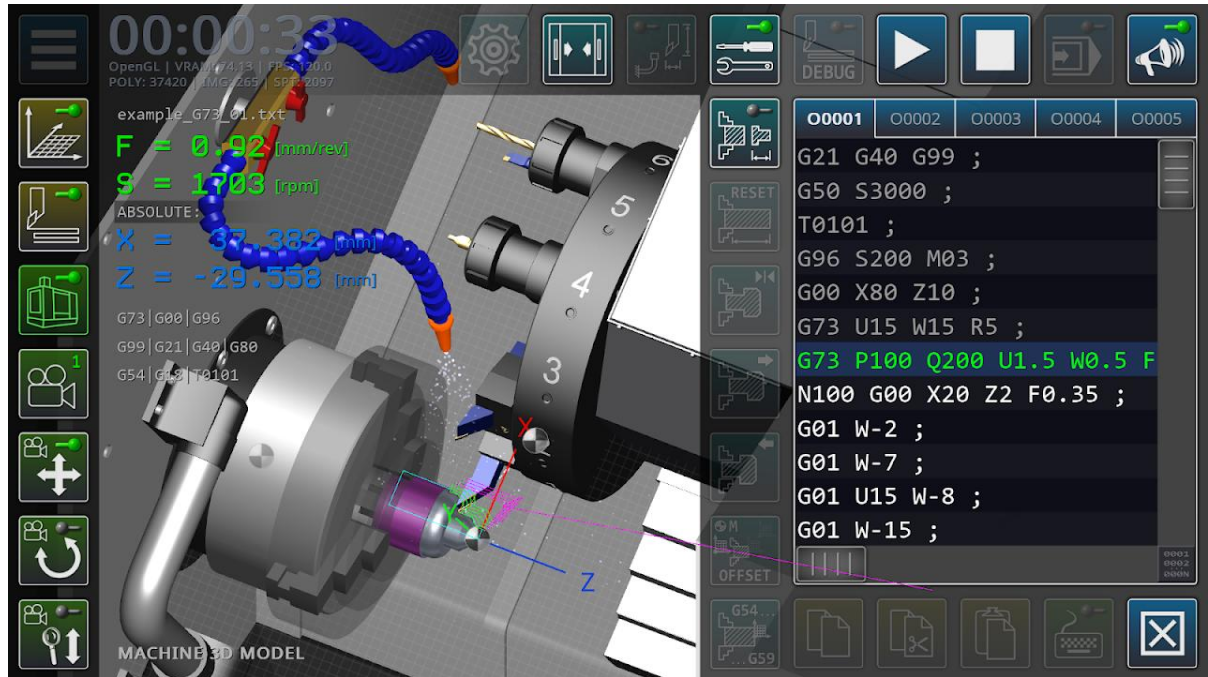


Рисунок 3.13 - Перевірка програми у вікні G-code Editor.

Таблиця 3.2 - Таблиці режимів різання

Установ 1

№	Операція	Інструмент	Vc (м/хв)	f (мм/об)	ap (мм)	n (об/хв)	Примітка
1	Підрізання торця	CNMG120404	160	0,25	1,5	1200	Чорнова
2	Чорнове точіння Ø65→Ø50	CNMG120408	170	0,3	2,5	1250	Відбір припуску
3	Свердління Ø12	HSS-Co Ø12	80	0,12	–	2100	Попереднє
4	Розточування Ø25	CCMT060204	130	0,15	1,0	1850	Чистова
5	Зенкування фаски	Ø25×90°	60	0,08	–	1200	Зняття фаски

Установ 2

№	Операція	Інструмент	Vc (м/хв)	f (мм/об)	ap (мм)	ae (мм)	n (об/хв)	Примітка
1	Розточування Ø40	CCMT09T304	120	0,12	1,5	–	1900	IT8
2	Фрезерування площини	Торцева Ø25	140	0,08	1,0	4,0	2800	Приводний інструмент
3	Фрезерування отворів Ø8	Свердло-фреза Ø8	110	0,06	0,8	2,0	3400	Позиційне
4	Нарізання різьби M24×1,5	16ER1,5ISO	60	–	–	–	800	Зворотне обертання
5	Фрезерування паза Ø10	Кінцева фреза Ø10	130	0,05	0,5	2,0	3100	Шпонковий паз
6	Чистове точіння Ø48	DCMT070204	150	0,15	0,5	–	1350	Ra 1,6

3.4.2 Аналіз точності та шорсткості

Симуляція підтвердила:

- похибки позиціювання — до 0,02 мм;
- відхилення форми в межах IT8–IT9;
- шорсткість: після чорнового — Ra 3,2, після чистового — Ra 1,6, після фрезерування — Ra 1,25;
- колізій та перевищення кінематичних обмежень не виявлено.

3.5 Висновки по другому розділу

1. Симуляція обробки корпусу фільтра підтвердила правильність вибору послідовності переходів.
2. Обробка у два установи забезпечує точність і стабільність форми.
3. Режими різання підібрано відповідно до рекомендацій для сталі 12X18H10T.
4. SolidCAM показав коректне моделювання переходів і безпечну траєкторію інструменту.
5. Функція запобігання конфліктам синхронізації каналів вимикає генерацію G-коду або симуляцію, якщо у визначеній синхронізації є будь-які конфлікти. Якщо функція активна, вона позначатиме операції, що потребують дії, спрямовуючи вас за допомогою загострених стрілок та корисних коментарів. Система знає логіку контролера та перевіряє можливості синхронізації, враховуючи кінематику машини, спільне використання осей та правила позначок очікування синхронізації.
6. В результаті симуляції підтверджено можливість обробки корпусу фільтра на токарно-фрезерному центрі MAST MLS 560×1410 із досягненням точності IT8–IT9, шорсткості Ra 1,6–3,2 та тривалості циклу ~7,5 хв.
7. Методика може бути використана у виробничій практиці та навчанні операторів ЧПК.

4. ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОГО ВСТАТКУВАННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ДЕТАЛІ ГП 21.971

4.1 Високі технології на ГП ХМЗ «ФЕД»

До високих технологій звичайно відносять самі наукомісткі галузі промисловості.

Протягом останніх 10-15 років машинобудування в індустріально розвинених країнах досягло значного прогресу. Гнучке ринково орієнтоване виробництво вимагало розробки нових наукомістких технологій. Матеріалообробка впритул наблизилася до граничного – нанометричного діапазону точності обробки. Створення нових конструкційних і інструментальних матеріалів дозволило значно підняти рівень функціональних, естетичних і екологічних властивостей виробів машинобудування [18].

У руслі цього розвитку в області технології машинобудування накопичений значний обсяг знань і досвіду, на яким базуються наукові дослідження, розробка і реалізація високих технологій. У тому числі – високих технологій у машинобудуванні. Уже сьогодні він має надзвичайно велике значення для формування інженерного мислення і підготовки фахівців для народного господарства України [18].

Головною рушійною силою розвитку високих технологій є не прагнення до прогресу і розвитку, як можна подумати при поверхневому погляді на запитання, а прагнення в остаточному підсумку вигідно продати споживачеві свою продукцію, зробивши її як можна більш конкурентоспроможною за рахунок спрощення виробництва. Ринок визначає вимоги не тільки до кінцевого продукту, але і до його виробництва практично на всіх етапах розробки, освоєння, ін.

При постійній тенденції до ускладнення виробів кількість виробів і розмір партії поменшилися до індивідуального виготовлення замовлення споживача [18]. У даній ситуації ясно проявляється необхідність в устаткуванні, що поєднує у своїх якостях універсальність і високу точність. Застосування сучасного встаткування розглядається в даному проекті.

4.2 Вибір високотехнологічного встаткування

У даному пункті будуть вироблені основні вимоги до встаткування на основі аналізу деталі «корпус фільтра» ГП 21.971, наведеного в п.2.4. Основним критерієм вибору встаткування буде служити простота обробки деталей з його допомогою і простота в експлуатації.

4.2.1 Вибір устаткування для обробки циліндричних поверхонь

Більшість поверхонь деталі (як зовнішні, так і внутрішні) є циліндричними. Ця обставина дає можливість обробити ці поверхні точінням за мінімум установок без використання спеціальних пристосувань.

Повинна бути реалізована можливість багато інструментальною обробки, через необхідність свердління і фрезерування при неоднаковості вимог до поверхонь.

Найбільшою мірою висунутим вимогам задовольняють токарно-револьверні верстати із двома шпинделями.

Найбільш яскравим зразком подібної техніки є токарно-фрезерний обробний центр з ЧПК MLS 560×1410 SX12 фірми MAST.

Ключовими особливостями даної моделі є [30]:

- жорстка конструкція литої чавунної станини;
- похила станина з кутом в 45°;
- компактна конструкція верстата з мінімальними габаритами;
- централізоване змащення всіх осей і кулько-гвинтових пар;
- вісь Y повністю вбудована в конструкцію станини за допомогою кутових напрямних;
- абсолютні енкодери по всіх осях;
- система ЧПК Siemens_840D-solutionline з кольоровим екраном 15" з діалоговим програмуванням "SHOPTURN BASIC";
- приводи по всіх осях по цифровий Ac-Технології;
- шпиндель 1 – вбудований мотор-шпиндель із рідинним охолодженням із установленію безпосередньо на шпиндель полою прямій вимірювальною системою для осі Z;

- гідравлічний порожній затискної циліндр із максимальним діаметром прутка 52 мм;
 - частота обертів шпинделя 0-5.000 об/хв; потужність 18 кВт при крутному моменті 113 Нм;
 - конус шпинделя А6;
 - шпиндель 2 – вбудований мотор-шпиндель із рідинним охолодженням із встановленою безпосередньо на шпиндель полою прямої вимірювальною системою для осі Z;
 - швидкість шпинделя 0-7.000 об/хв, 6 кВт, 38 Нм; кінець шпинделя - плоский фланець 100 мм;
 - револьверна головка: високошвидкісна Ас- серво-револьверна головка, виготовлювач MAST;
 - у верхній частині робочої зони, з 12 інструментальними позиціями для точіння, радіальна система кріплення VDI25;
 - переміщення: X=180 мм, Z=450 мм;
 - 8 позицій приводних інструментів у револьверній головці для фрезерування і свердління;
 - від 0 до 6.000 об/хв / 2,2 кВт / 8 Нм, зачеплення тільки в робочій позиції с переміщенням по осі Y +/- 40 мм для неосевого поперечного свердління і фрезерування;
 - високоточні загартовані і шліфовані напрямні ковзання;
 - електричний інтерфейс для установки барфідера відповідно до норм MASTUNIMAG;
 - наявність огороження, пристрою охолодження, робочого висвітлення, гідравлічного і пневматичного встаткування;
 - необхідні опорні елементи для виставляння верстата за рівнем.
- Основні функції ЧПК Siemens 840D-SL SW2.6 "Operate" [30]:
- контроль осей за допомогою панелі користувача SHOFTURN BASIC (без *Stepchain*-програмування);
 - діалогове програмування для легкого програмування циклів із простій графічною версією;
 - 15" кольоровий LCD екран / панель оператора OP15;

- маховик, вбудований у панель оператора;
- пам'ять користувача 2 Мбайт;
- процесор NCU720.x, час системного циклу 125 μ s; час циклу позиціонування 1 мс; час обробки блоку 3,33 мс;
- 1 рознімання USB
- інтерфейс для мережі Ethernet;
- цикли Siemens для нарізування різьб, свердління, чорнового точіння, обробки пазів, фрезерування;
- опція Siemens "Синхронізація шпинделя" і "Полігональне точіння", а також функція "Transmit/Tracyl";
- тверде нарізування різьблення по центру шпинделя і приводним інструментом.

Токарський обробний центр MLS 560×1410 SX12 фірми MAST має можливість підключення барфідера – пристрою для автоматичної подачі прутка. Цією можливістю слід скористатися, тому що наявність барфідера не тільки знижує допоміжний час, але і значно полегшує праця оператора верстата.

Так само є можливість установити на револьверну головку замість одного з інструментів уловлювач деталей, який буде після обробки вивантажувати їх за межі робочої зони, що так само скоротить допоміжний час і позначиться на зручності обслуговування верстата.

Технічні характеристики верстата наведено в таблиці 4.1

Через те, що на токарському обробному центрі MLS 560×1410 SX12 неможлива шліфувальна обробка в силу особливостей компоновання, впливає для шліфування деталі застосувати окремий верстат.

Найбільш підходящим можна вважати карусельно-шліфувальний верстат Rotary VS фірми ELB-SCHLIFF WZM GmbH.

ELB Rotary – серія, що відмінно зарекомендувала себе, карусельно-шліфувальних верстатів с прецизійними планшайбами [27].

Верстати серії Rotary VS мають вертикальний шпиндель із регульованим нахилом ($\pm 45^\circ$).

Таблиця 4.1 - Технічні характеристики токарського обробного центру
MAST MLS 560×1410 SX12

Основні функції	Показник
1	2
Макс. діаметр над кожухами, мм	300
Макс. діаметр точіння, мм	~ 250/200
Макс. довжина точіння, мм	~400
Переміщення по осі X, мм	180
Переміщення по осі Y, мм	80 (-40/+40)
Переміщення по осі Z, мм	400
Макс. швидкість по осях X/Z, м/хв	15/24
Головний шпиндель	
Макс. швидкість шпинделя, об/хв	5000
Внутрішній діаметр підшипника, мм	90
Конус шпинделя	DIN 55026/A6
Макс. діаметр прутка, мм	52
Діаметр патрона, мм	210
Потужність шпинделя (100%/40%), кВт	15/19
Крутний момент шпинделя (100%/40%), Н	95/121
Субшпиндель	
Макс. швидкість шпинделя, об/хв	7000
Конус шпинделя	Ø 100
Макс. діаметр прутка, мм	32
Діаметр патрона, мм	130
Потужність шпинделя (100%/40%), кВт	6/7,8
Момент шпинделя (100%/40%), Н	38/50
Револьверна головка	
Кількість позицій для інструмента	12
Різдеутримувачі	VDI25
Кількість приводних інструментів	12
Макс. швидкість, об/хв	6000
Потужність привода (100%/40%), кВт	1,1/3,7 (Fanuc) / 2,2/5,9 (Siemens)
Момент привода (100%/40%), Н·м	7/23,5 (Fanuc) / 9,5/14,75 (Siemens)
Задня бабка	
Конус задньої бабки	MK4
Хід тіла задньої бабки, мм	370
Інші дані	
Маса верстата, кг	~ 3500
Габарити верстата, м	2 × 1,6 × 1,99

Верстати серії ELB Rotary з вертикальним шпинделем можуть бути постачені системою швидкої зміни інструмента типу HSK, що дозволяє автоматизувати зміну інструмента і, таким чином, перетворити верстат типу

ELB Rotary у гнучкий обробний центр. Стандартною системою керування є ЧПК типу "Siemens 840D". Особливостями даного верстата є:

- кругле шліфування по зовнішньому і внутрішньому діаметрах;
- гнучкість у застосуванні шпинделя;
- прецизійні столи обертання;
- стіл обертання як додаткова вісь В;
- автоматична зміна інструмента;
- автоматичне виправлення з компенсацією зношування шліфувального кола;
- можливість переходу на ручне керування в автоматичних циклах;
- документація і маски керування російською мовою.

У цьому випадку найбільший інтерес представляє модель Rotary VS10, параметри якої представлено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Параметри карусельно-шліфувального верстата ELB Rotary VS10

Параметри верстата	Показник
Діаметр стола, мм	1000
Висота шліфування, мм	400 (+200)
Максимальна швидкість шпинделя, об/хв	16000
Потужність, кВт	10
Конус шпинделя	HSK 63 (36, 60)
Розміри шліфувального кола, мм	300×50×76,2

4.2.2 Вибір устаткування для обробки шестигранного отвору

Через специфіку форми шестигранний отвір вимагає для своєї обробки окремого верстата. Раніше таким верстатом міг бути довбальний. Однак зараз довбальні верстати вже неприйнятні в силу того, що вони досить вузько спеціалізовані, вимагають виготовлення складного інструмента, їх точність не відповідає сучасним вимогам, занадто потужним силовим впливом можуть зашкодити тонкостінні деталі, а так само занадто гучні.

Сучасною альтернативою довбанню є електроерозійна обробка. Сучасні електроерозійні верстати являють собою компактні малOSHUMні високопродуктивні механізми. Числове програмне керування в комбінації із сучасною механічною частиною дає нанометричну точність і високу

продуктивність при високій якості обробленої поверхні і простоті обслуговування.

Найкращим варіантом такого верстата в контексті виробництва деталі корпус фільтра ГП 21.971 є електроерозійний верстат моделі AQ35L фірми Sodick (Японія).

Особливостями даного верстата є [27]:

- складна лита станина із чавуну- механіта, у передній частині якої відлиті опори робочого стола, а в задній – потужний портал;

- лінійні сервоприводи;

- каретка осі X переміщає нижній кронштейн блоку напрямного дроту по напрямній на станині під порталом, при цьому нижній керамічний кронштейн переміщається усередині каретки X по осі Y;

- по твердому порталю, що становить єдине ціле зі станиною, переміщається каретка осі U (паралельно осі X), по якій рухається каретка осі V (паралельно осі Y);

- керамічна робоча зона;

- SUPER BS: повно-біполярна імпульсна система: виключені умови електролітичної ерозії і корозії, суперфінішне різання до шорсткості $Ra = 0,32 \div 0,16$ мкм;

- оптичні лінійки Heidenhein з дозволом 10 нанометрів = 0,01 мкм;

- дискретність приводів 0,1 мкм;

- кожна з осей може бути віссю сервоподач;

- АІС: Прогностична інтелектуальна система оптимізації різання;

- мультипроцесорний комп'ютерний ЧПК-Генератор PENTIUM+RISC, WINDOWS NT4.0;

- 3D CAD/CAM (на базі Esprit і Solidworks).

Окремого розгляду також заслуговує лінійний сервопривод і керамічна робоча зона верстата SODICK AQ35L через новаторство їх застосування.

Фірма SODICK робить і застосовує у своїх верстатах власні високоміцні ідеальні для електроерозійних верстатів матеріали.

Сучасна промисловість і особливо інструментальне виробництво вимагають від устаткування все більшої точності обробки при одночасному

росту продуктивності. Прецизійні лінійні двигуни, лінійні і поперечно-роликові напрямні зі зниженим коефіцієнтом тертя забезпечують високу точність осьових переміщень. Однак точність обробки в електроерозійних верстатах визначається не тільки точністю приводів але і матеріалом робочої зони.

Кераміки верстатів "SODICK", застосовувані в робочій зоні верстата, по міцності або не уступають, або перевершують традиційні сталь і чавун. Володіючи значно меншою питомою вагою, кераміки дозволяють знизити масу конструкції і зменшити навантаження на привод. Твердість керамік близька до твердості сапфіру (на столі з FINEXCERA ніколи не з'явиться подряпин), матеріали мають високу хімічну стійкість (що необхідно для дротяно-вирізних електроерозійних верстатів з водою) і високим електричним опором. Останнє надто важливо для стабільної роботи комп'ютерних систем верстатів, які обробляють високочастотними, потужними електроіскровими розрядами.

Електроерозійна обробка - у великому ступені термічна. Високі температури в електроерозійному зазорі через елементи конструкції, заготовку нерівномірно передаються на несучі конструкції, частини приводів, викликаючи їх деформації. Ці малі деформації цілком істотні, коли відхилення в трохи мікрон у готовому виробі, наприклад, у матриці прецизійного штампа, можуть стати причиною шлюбу.

SODICK - єдиний у світі виготовлювач електроіскрових верстатів, що застосував у найбільш підданих температурним впливам елементах конструкції принципово нові матеріали. Ці тонко керамічні матеріали створені SODICK у результаті багатьох лет дослідницьких робіт і відомі в промисловості за назвою FINEXCERA.

Характерна властивість нових матеріалів, що визначило їхнє використання - край малий коефіцієнт теплового розширення: в $2\div 2,5$ рази менше, чим у граніту; в $2,5\div 3$ рази - чому в термостабільних чавунних сплавів "механіт" і в $4\div 5$ раз менше, чим у нержавіючої сталі. Малий коефіцієнт теплового розширення, а також високі діелектричні характеристики, довговічність і висока хімічна і корозійна стійкість роблять FINEXCERA кращими в цей момент матеріалами для електроерозійних верстатів. Верстати

SODICK з погляду температурної стабільності мають якість конструкції вище, чим у кращих вимірювальних машин.

З тонких керамік FINEXCERA виготовляються всі несучі конструкції робочої зони, теплове розширення яких впливає на точність обробки, і які повинні бути електрично ізольовані:

- плита стола, опори заготовки;
- верхній і нижній кронштейни;
- антизношувані частини – напрямні.

Порівняння різних матеріалів показано в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Порівняння Finexcera і традиційних матеріалів

		Finexcera	Традиційні матеріали				Полімер-бетон	
Характеристика	ед. изм.	с оксидом алюмінію SA610	з нітридом кремнію SN810	Чавун- механіт FC25	Сталь вуглецева	Граніт	Сталь нерж.	RHENOCAST (Georg Fischer)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Питома вага	г/см ³	3,5	3,2	7,8	8,0	3,0	---	2,4
Водопоглинення	%	0	0	---	---	0,03-3,0	---	
Твердість по Вickersу (500 г)	HV	1300	1600	620	---	590-1000	---	
Твердість по шкалі Мооса	одиниць	прим. 8,5	прим. 9,0	5,5-6,0	5,5-6,0 (гартована)	6,5-7,0	---	
Міцність на вигин	кгс/см ²	3000	8000	4000	3500	300-500	---	250-350
Модуль Юнга	*10(6) кгс/см ²	2,7	3,0	1,1	2,0	0,3-0,9	---	0,4
Питома теплоємність	Кал/гС	0,24	0,16	---	---	---	---	---
Коеф. теплового розширення	10(-6)/3	4,7	3,1	11	12	8	18	12-14
Питомий електричний опір	Ом*см	> 1014		---	---	---	---	---
Хімічна і корозійна стійкість	-	дуже висока		---	---	низька	---	---

Ще однією особливістю даного верстата є наявність лінійного сервоприводу.

Іскрові розряди в електроерозійній обробці є свого роду інструментом. Характеристики іскрових розрядів у дуже значному ступені залежать від величини іскрового (між електродного) зазору. Якщо зазор більше або менше ніж потрібно, губляться продуктивність і якість. В ідеальному випадку в кожний момент робочої сервоподачі зазор повинен бути дорівнює командному значенню, що задається КЧПК.

Звичайні приводи через більші втрати в механізмах перетворення обертового руху в лінійне, інерційності тощо, забезпечують подачу в командні крапки лише з точністю в 0,1 мм або, у найкращому разі, в 0,01 мм. У результаті електроерозійний верстат зі звичайними приводами тільки малу частину часу працює з оптимальними іскровими зазорами й, відповідно, в оптимальних енергетичних режимах [27, 45].

У міру зменшення між електродного зазору ефективність розрядів падає (розряди через гази), зношування електрода зростає, на певній величині зазору виникають дугові розряди, що приводить до псування електрода і деталі. У той же час у міру збільшення зазору число іскрових розрядів падає. На певній величині зазору обробка зупиняється.

Оптимальний зазор в електроерозії (величину оптимального зазору задає в електроерозійних верстатах система комп'ютерного ЧПК, розраховуючи її по стану зазору і даним бази знань електроерозійної обробки) – це оптимальні енергетичні режими іскроутворення й, у результаті, найбільш продуктивна і якісна обробка при найменшій зношенні електрода.

Завдяки більш високій точності і динаміці лінійних сервоелектродвигунів гарантується точне і одночасно динамічне позиціонування електрода в область оптимального зазору, що неможливо з використанням традиційних приводів із кульково-гвинтовими парами.

Лінійні приводи «Sodick» забезпечують швидкість сервоподач до 36 м/хв (600 мм/с) з максимальним прискоренням до 1,89G при дуже малій інерції і мінімумі термодформацій завдяки унікальній системі охолодження і конструкційній кераміці з особливо малим тепловим розширенням.

Сервосистема «Sodick» коректує положення електрода відповідно до команд К-ЧПК 500 разів у секунду.

Відсутність передавального механізму означає відсутність люфтів, зазорів, «мертвих» ходів, стрибкоподібних подач при мінімальній терті (тільки в напрямних). Так само немає необхідності в компенсуванні погрішності кроку гвинта.

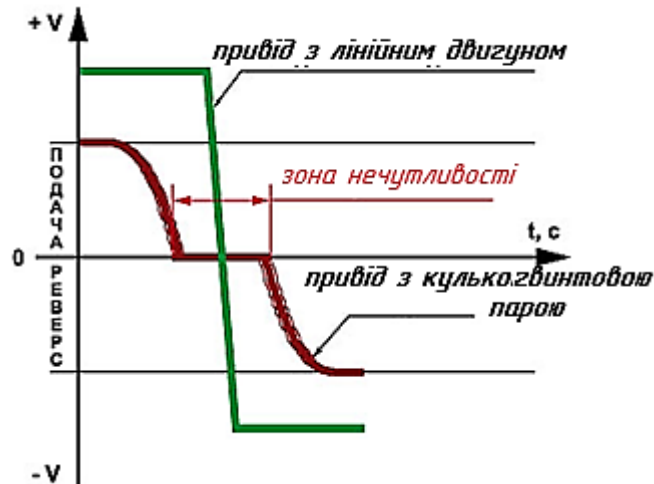


Рисунок 4.2 - Порівняльна динаміка лінійного привода і привода зі КГП.

Переваги лінійних двигунів обумовлені їхньою конструкцією. Сам двигун складається із трьох частин: стаціонарний електромагнітний статор, рухливий "ротор" з рідкісноземельними магнітами на керамічній каретці і лінійний датчик положення. У випадку поломки для заміни статора потрібно відвернути 8 болтів, 2 трубки і 2 проведення; щоб зняти "ротор" - 6 болтів. Двигун можна замінити не весь, а вроздріб.

Конструкторами фірми «Sodick» був знайдений оптимальний матеріал постійних магнітів і кут установки цих магнітів стосовно змінних магнітів. Створена ефективна масляна система охолодження (по типу довговічних систем охолодження високовольтних трансформаторів). Для мінімізації теплових деформацій каретка вертикального повзуна зроблена із власної кераміки «Finexera» з тепловим розширенням в 2 рази меншим, чому в граніту.

Противаги, що компенсують вагу вертикального повзуна і електрода у звичайних приводах ефективні до прискорення в 1,0 G. У лінійного привода це значення досягає 1,89 G. Для того щоб каретка повзуна з електродом не

падали, коли вимикається електроживлення, використовується швидкодіючий пневмо-противага, подібний високонадійних конструкцій, що застосовуються в системах пневмоавтоматики.

Термін служби лінійних сервоприводов визначається терміном служби постійних магнітів. Для магнітів, які використовуються в сучасних лінійних приводах «Sodick», цей строк експериментально перевищив 15 років і оцінюється в 25 - 30 років.

Технічні характеристики верстата наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.3 - Технічні характеристики верстата Sodick AQ35L

Показник	Значення
Привод	Лінійні сервоприводи
Ходи по X/Y/Z, мм	350/250/250/
Розміри стола, мм	600×400
Рівень діелектрика в робочій ванні, мм	100-300
Внутрішні розміри ванни, мм	790×550×320
Максимальна вага деталі, кг	550
Максимальна вага електрода, кг	50
Дискретність кута	2 варіанта: 0,001° (3,6") або 0,0005° (1,8")
Шпиндель обертання, об/хв	2 варіанта: 0÷30 або 0÷2000
Точність позиціонування, мкм	2
Точність обробки, мкм	±2,5
Одночасне керування	4 або 8 осей
Фактична дискретність приводів	Осі X,Y,Z = 0,1мм (фізичний крок подач) Осі 3, A, W = 0,001° (3,6")
Оптичні лінійки	Оптичні лінійки Heidenhein з дозволом 10 нм = 0,01мкм
Комп'ютерний апу-Генератор	LN2, LP2 або LP20
Максимальний середній струм генератора, А	40
Обсяг бака діелектрика, л	285

4.2.3 Вибір вимірювального встаткування

Через описану вище тенденцію до росту точності і наближення можливостей обробки до границі можливостей ручний мір'яльний інструмент, так само як і оптичні прилади, не тільки стають морально застарілими, але і не забезпечують винної якості вимірів. Це відбувається як через межі вимірів самих приладів, так і через надмірний вплив суб'єктивних погрішностей.

Дана обставина означає необхідність удатися до таких засобів виміру, які можуть працювати з високою точністю і результати вимірів яких не піддані викривленню оператором.

Такими засобами є координатно-вимірювальні машини. Оператор такої машини бере участь тільки в установці і знятті деталі, запуску програми і фіксації даних. Сучасні координатно-вимірювальні машини мають високу точність і швидкість роботи.

Для проведення контрольних вимірів деталі корпус фільтра ГП 21.971 можна вибрати координатно-вимірювальну машину TESA Micro-Nite 3D моделі 454 у виконанні Remote Control.

Вимірювальна машина TESA MICRO-NITE 3D відрізняється винятковою простотою в експлуатації. Даний високопродуктивний вимірювальний пристрій знаходить найбільше застосування в дрібносерійнім і одиничнім виробництві деталей з точним дотриманням їх розмірів. конструкція пристрою базується на високоякісних вихідних матеріалах і компонентах, що гарантує її довгострокову надійність.

Модель 454 Remote Control дозволяє виконувати точне позиціонування вимірювальної головки, особливо при вимірі невеликих і складних деталей. Три індивідуально керовані джойстиком серводвигуна забезпечують точне переміщення по кожній координатній осі з позиціонуванням з точністю до мікрометра. Для ручних переміщень по осях передбачене опціональний мікрометричний пристрій [27].

Реєстрація результатів вимірів проводиться простим натисканням відповідної кнопки. Спеціально рекомендується для відеовимірів деталі з використанням ПЗС-камери.

Інтуїтивне програмне забезпечення TESA-REFLEX дозволяє розпізнавати форми окремих елементів вимірюваної деталі, і будь-який користувач може працювати з TESA-REFLEX уже через кілька годин навчання [11].

Основні властивості моделі 454 Remote Control:

- рухливий портал;
- підстава приладу з легкого сплаву;
- вимірювальний стіл із граніту;
- 22 повітряних підшипника забезпечують плавне переміщення;
- висока стабільність завдяки трикутному перетину порталу;

- запатентована фірмою TESA оптоелектронна вимірювальна система, що базується на інкрементних скляних вимірювальних лінійках;
- моторизовані переміщення по 3 осям X/Y/Z з обраною швидкістю 1 мкм/крок, 10 мм/с або 20 мм/с;
- ручне переміщення по трьом осям координат зі швидкістю 760 мм/з;
- мікрометричний пристрій;
- вимірювальна головка Tesastar-і з комплектом швидкозмінних насадок;
- джойстик з інтегрованої Zmouse;
- легко освоюване програмне забезпечення TESA Reflex.

Основні властивості програмного забезпечення:

- кілька режимів: вимір, сканування, ретранслирування даних;
- виклик і збереження програм обробки деталей;
- визначення декількох позицій вимірювальної головки;
- різні способи збереження результатів виміру: Usb-Накопичувач, цифровий вихід RS232 або принтер.

У всіх координатно-вимірювальних машинах фірми TESA можуть використовуватися три типи керованих вручну вимірювальних головок, що дозволяють операторові знайти розв'язок, що відповідає поточним потребам. Кожна вимірювальна головка програми TESASTAR, що включає повний асортимент вимірювальних датчиків контактного типу, а також високоточні комплектуючі з маркою SWISS MADE, підходить уводити, увести до ладу будь-якому типу вимірювальних машин з комп'ютерним або ручним керуванням.

Технічні характеристики координатно-вимірювальної машини зведено в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 - Характеристики KIM TESA MICRO-NITE 3D 454 Remote Control

Параметр	Показник
Переміщення	Ручне / моторизоване
Діапазон вимірів, мм	460 × 710 × 420
MPE _E (мкм) (L у мм)	3 + 4 L/1000
Габарити машини, (Д × Г × В), мм	970 × 1130 × 1730
Вага машини, включаючи гранітний стіл, кг	315
Програмне забезпечення	TESA-REFLEX MH3D

4.3 Централізація керування

Усі чотири верстати мають комп'ютерне керування з відповідними інтерфейсами, що дозволяє об'єднати їх у єдину комп'ютерну мережу і управляти ними з одного робочого місця, при цьому всебічно контролюючи їх роботу і одержуючи результати вимірів у реальному часі. Це дозволяє не тільки швидко реагувати на які або зміни, але і скоротити кількість працівників.

Так само централізоване керування дозволяє оптимізувати транспортування по підприємству як заготовок, так і готових виробів, полегшити ведення обліку матеріалу. Ґрунтуючись на цьому технічному розв'язку можна почати введення на підприємстві концепції ощадливого виробництва.

4.4 Переваги високотехнологічного встаткування перед традиційним при обробці деталі ГП 21.971

Переваги високотехнологічного встаткування перед традиційним настільки великі, що їх можна назвати фундаментальними.

Насамперед, слід звернути увагу на верстатний парк. Для обробки деталі корпус фільтра ГП 21.971 традиційним шляхом тільки металорізального встаткування необхідно десять одиниць. Сучасного ж металорізального встаткування потрібно три одиниці, з яких одна позиція використовується для доводочних робіт. Скорочення парку дозволяє знизити витрати електроенергії на 1,2 кВт/год, при росту потужності верстатів в 1,7 рази.

Тому що обробка всіх поверхонь, крім шестигранної, проводиться за два установи, значно полегшує і прискорюється праця інженера-технолога за рахунок скорочення обсягу розроблювальної їм технологічної документації.

Із застосуванням сучасного встаткування росте точність обробки, що обумовлюється багаторазовим зменшенням кількості установов і відсутністю необхідності переносу деталі з верстата на верстат, а також ростом точності обробки самих верстатів. Так, наприклад, електроерозійний верстат Sodick AQ35L здатний досягати точності обробки в 2,5 мкм.

Спостерігається значна економія матеріалу через те, що в результаті відмови від обробки довбанням шестигранного отвору на користь електроерозійної обробки, відпадає необхідність у захисному припуску матеріалу, що охороняв деталь від змінання в процесі довбання. Завдяки заміні довбання електроерозією коефіцієнт використання матеріалу виріс на 15%.

Значно спрощене виробництво спеціального інструмента для обробки шестигранного отвору – замість довбняка використовується шестигранний мідний електрод.

Із застосуванням координатно-виміральної машини значно зросла точність контрольних вимірів і знизилася ймовірність помилки в них.

Умови роботи персоналу поліпшуються: завдяки меншій необхідній площі можна використовувати менше приміщення, яке легше провітрюється і обігрівається в холодну пору року. Так само в порівнянні із традиційним устаткуванням значно знижені шуми і вібрації.

Кількість необхідного персоналу в такий спосіб можна зменшити до двох-трьох чоловік.

Централізоване завдяки з'єднанню керуючих комп'ютерів у мережу керування дозволяє оптимізувати транспортування по підприємству як заготовок, так і готових виробів, полегшити ведення обліку матеріалу. Така мережа є надійним фундаментом для подальшого введення на підприємстві концепції «економного виробництва».

5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ НОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ "КОРПУС ФІЛЬТРА"

5.1 Організаційний план. Розрахунки кількості робочих місць і робітників

Основною розрахунковою величиною потокової лінії є такт, обумовлений за формулою:

$$\tau = \frac{(\Phi - П) \cdot C}{П_{сут}}, \quad (5.1)$$

де Φ – змінний фонд робочого часу, $\Phi=480$ хв.;

$П$ – втрати часу на обслуговування (20-40 хв. за зміну);

$П_{сут}$ – програма випуску за зміну, шт.;

C – кількість змін.

Програма випуску на зміну розраховується за формулою:

$$П_{сут} = \frac{N_p}{D_p}, \quad (5.2)$$

де N_p – річна програма випуску деталей, рівна 250 виробів;

D_p – кількість робочих днів у році, рівне 254 дням;

$$П_{сут} = \frac{250}{254} = 0,98 = 1шт;$$

$$\tau = \frac{(480 - 20) \cdot 1}{1} = 460 \text{ хв.}$$

У поточковім виробництві необхідна кількість робочих місць розраховується для кожного робочого місця за формулою:

$$n_p = \frac{t_{шт}}{\tau}, \quad (5.3)$$

де n_p – розрахункова кількість робочих місць;

$t_{шт}$ – трудомісткість операції, хв.;

τ – такт потокової лінії, хв.

Коефіцієнт завантаження встаткування визначається за формулою:

$$\eta = \frac{n_p}{n_{пр}}$$

де n_p - розрахункова кількість верстатів, шт.;

$n_{пр}$ - прийнята кількість верстатів на даній операції.

Розрахунки кількості встаткування і коефіцієнт завантаження встаткування затягаємо в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 –Розрахунки кількості встаткування і коефіцієнт завантаження встаткування

№ опер	Найменування операції	$t_{шт.}$, хв.	n_p , шт.	$n_{пр}$, шт.	η
055	Комплексна	55,14	0,11	1	0,11
166	Електроерозійна	12,36	0,005	1	0,005
173	Шліфувальна	8,2	0,017	1	0,017
Усього		65,7	0,132	3	0,044

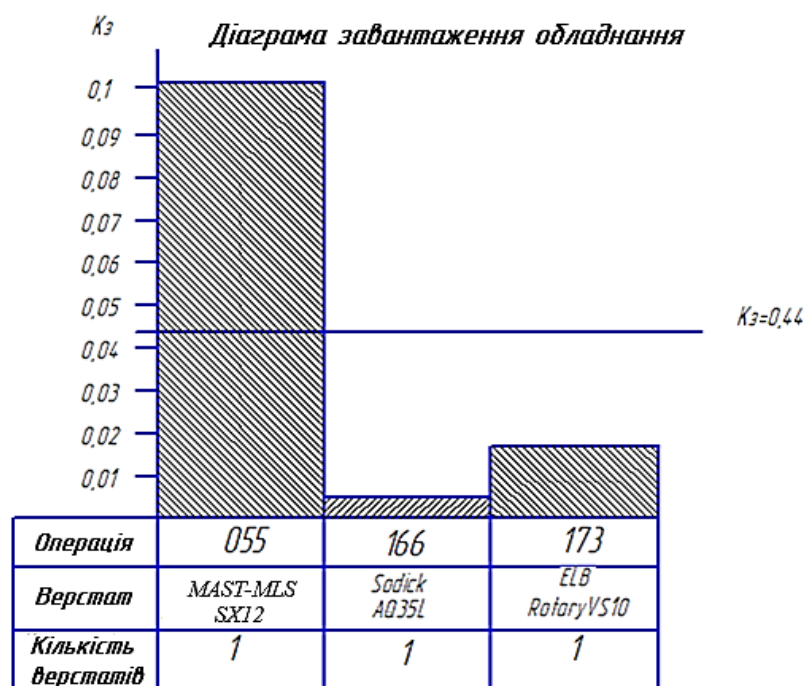


Рисунок 5.1 - Діаграма завантаження обладнання

5.2 Стратегія маркетингу. Економічне обґрунтування варіанта технологічного процесу

Економічне обґрунтування – це зіставлення декількох можливих варіантів механічної обробки деталі, що забезпечує вибір оптимального розв'язку.

Для обґрунтування варіанта технологічного процесу необхідно визначити ріст продуктивності праці шляхом порівняння продуктивності базового і проектного варіантів [17].

У проектованому варіанті всі верстати, що здійснюють лезову обробку, замінені токарським обробним центром MLS 560×1410 SX12 проведення фірми MAST. Довбальна операція на вертикально-фрезерному верстаті замінена електроерозійною операцією на верстаті AQ35L проведення фірми «Sodick». Це сприяє збільшенню швидкості обробки, скороченню часу на проектування і виготовлення готового виробу від моменту одержання завдання на проектування і виготовлення деталей типу «корпус фільтра». Для виконання техніко-економічного обґрунтування зазначених нововведень усі необхідні дані заносяться в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Вихідні дані по варіантах

Найменування		Одиниця виміру	Позначення	Варіанти	
				Базовий	Проектований
1		2	3	4	5
Річний випуск деталей		<i>шт.</i>	N_2	250	250
Устаткування	2) кількість	<i>шт.</i>		8	3
	3) ціна за одиницю	<i>грн</i>	$C_{об}$	205000	420000
Норма штучного часу		<i>хв</i>	$t_{шт}$	126,71	65,7
Норма машинного часу		<i>хв</i>	t_m	98,83	54,98
Потужність електродвигуна		<i>кВт</i>	N_y	28,52	48,8
Розряди робіт				3	3
Кількість працівників		<i>чл</i>	$R_{сн}$	16	4
Виробнича площа під устаткування		m^2	$S_{пр}$	88	32,81
Тарифна ставка робочого		<i>грн./год.</i>	C_i	7,5	7,5
Тарифна ставка наладчика		<i>грн./ год.</i>	C_n	11,5	11,5
Кількість основних виробничих робітників		<i>чл.</i>	$R_{сн}$	14	3
Ціна 1 м ² виробничої площі		<i>грн</i>	$C_{пл}$	1230	1230
Норматив обслуговування 1 м ² виробничої площі, у рік, грн.		<i>грн</i>	$H_{пл}$	120	120
Коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату.			K_d	1,2	1,2
Коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування			K_c	1,7	1,7
Норматив витрат на додаткові матеріали на один верстат.		<i>грн</i>	H_e	417	417
Тариф на електроенергію		<i>грн./кВтч</i>	P_e	0,5	0,5
Норма амортизації		<i>%</i>	H_a	10	10
Діючий фонд часу роботи встаткування		<i>год</i>	Φ_d	4250	4250
Розряд наладчика				4	4
Коефіцієнт, що враховує додаткову площу			Γ	4,5	4,5

Критерієм вибору ефективного варіанта обробки є мінімальне значення наведених витрат ($CN+E_H K \rightarrow \min$), тому необхідно здійснити розрахунок елементів технологічної собівартості і капітальних витрат.

5.2.1 Розрахунки елементів технологічної собівартості

На підставі даних з табл. 5.2 проводиться розрахунок елементів технологічної собівартості. Розрахунок зводиться в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок елементів технологічної собівартості

Найменування	Витрати по варіантах	
	Базовий	Проектований
1	2	3
1. Основна і доповнить. ЗП робітника з відрахуваннями	$Z_{np} = C_{ip} \cdot \frac{t_{um}}{60} \cdot K_d \cdot K_c \cdot K_{mo}$, де K_d, K_c, K_{mo} – коефіцієнти, що враховують додаткову ЗП і доплати – 1,4, відрахування соц. страхування – 1,37, багатостатне обслуговування – 1	
	$Z_{np} = \frac{7,5 \cdot 126,71 \cdot 1,4 \cdot 1,37 \cdot 1}{60} = 30$	$Z_{np} = \frac{7,5 \cdot 65,7 \cdot 1,4 \cdot 1,37 \cdot 1}{60} = 16$
2. Основна і доповнить. ЗП наладчика з відрахуваннями	$Z_n = \frac{C_{in} \cdot F_d \cdot K_d \cdot K_c \cdot n}{n_{obs} \cdot N_e}$, де F_d – фонд часу наладчика, n_0 – кількість верстатів на операції, N_r – норма обслуговування для наладчика	
	$Z_n = \frac{11,5 \cdot 1830 \cdot 1,4 \cdot 1,37 \cdot 8}{1 \cdot 1400} = 230,6$	$Z_n = \frac{11,5 \cdot 1830 \cdot 1,4 \cdot 1,37 \cdot 3}{1 \cdot 1400} = 86,5$
3. Витрати на амортизацію встаткування	$Z_a = \frac{C_{ob} \cdot K_m \cdot H_a \cdot t_{um}}{\Phi_d \cdot \eta \cdot 100 \cdot 60}$	
	$Z_a = \frac{205000 \cdot 1,1 \cdot 1,4 \cdot 126,71}{4250 \cdot 0,12 \cdot 100 \cdot 60} = 7,83$	$Z_a = \frac{420000 \cdot 1,1 \cdot 1,4 \cdot 65,7}{4250 \cdot 0,132 \cdot 100 \cdot 60} = 13,26$
5. Витрати на ремонт устаткування	$Z_{рем} = 0,33 \cdot Z_a$	
	$Z_{рем} = 0,33 \cdot 7,83 = 2,58$	$Z_{рем} = 0,33 \cdot 13,26 = 4,37$
5. Витрати на електроенергію	$Z_3 = [0,25 N_{ob} (t_{um} - t_m) + 0,6 N_{ob} \cdot t_m] \frac{S_3}{100 \cdot 60}$	
	$Z_3 = [0,25 \cdot 28,52(126,71 - 98,83) + 0,6 \cdot 28,52 \cdot 98,83] \frac{50}{100 \cdot 60} = 15,6$	$Z_3 = [0,25 \cdot 48,8(65,7 - 54,98) + 0,6 \cdot 48,8 \cdot 54,98] \frac{50}{100 \cdot 60} = 14,4$
6. Витрати на інструмент	$C_{инст} = \frac{(C + n_{nep} \cdot C_{nep}) t_m \cdot K_{yb}}{T(n_{nep} + 1)}$	

	$C_{инст} = \frac{(4 + 10 + 0,1) \cdot 98,83 \cdot 1,07}{60 \cdot (10 + 1)} = 2,25$	$C_{инст} = \frac{(4 + 12 + 0,1) \cdot 54,98 \cdot 1,07}{60 \cdot (12 + 1)} = 1,21$
7. Витрати на допоміжні матеріали на 1 верстат, у рік.	$z_{вм} = \frac{Nв \cdot t_{ум} \cdot n_0}{\Phi_0 \cdot \eta \cdot 60}$ де $Nв$ - норма витрат на допоміжні матеріали; n кін-у верстатів на даній операції.	
	$z_{м} = \frac{417 \cdot 126,71 \cdot 8}{4250 \cdot 0,12 \cdot 60} = 23,7$	$z_{м} = \frac{417 \cdot 54,98 \cdot 3}{4250 \cdot 0,132 \cdot 60} = 2,04$
8. Витрати на утримання виробничої площі	$z_{пл} = \frac{N_{пл} \cdot S \cdot t_{ум}}{\Phi_0 \cdot \eta \cdot 60}$	
	$z_{пл} = \frac{120 \cdot 88 \cdot 126,71}{4250 \cdot 0,12 \cdot 60} = 43,72$	$z_{пл} = \frac{120 \cdot 32,81 \cdot 65,7}{4250 \cdot 0,132 \cdot 60} = 7,68 \text{грн}$
9. Витрати на ремонт і амортизацію пристосувань	$z_{пр} = \frac{1,4 \cdot Ц_{пр} \cdot t_{ум} \cdot n_{пр}}{\Phi_0 \cdot \eta \cdot 60}$ Де $Ц_{пр}$ -Ціна пристосування; $n_{пр}$ - кін-в устаткування.	
	$z_{пр} = \frac{1,4 \cdot 300 \cdot 126,71 \cdot 8}{4250 \cdot 0,12 \cdot 60} = 13,91 \text{грн}$	$z_{пр} = \frac{1,4 \cdot 300 \cdot 65,7 \cdot 3}{4250 \cdot 0,132 \cdot 60} = 2,45 \text{грн}$
Технологічна собівартість	$z_1 = 370,19$	$z_2 = 147,91$

5.3 Фінансовий план. Розрахунки собівартості деталі і кошторису витрат на проведення продукції.

5.3.1 Розрахунки капітальних витрат по варіантах наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.4 – Розрахунки капітальних витрат

Найменування	Варіант	
	Базовий	Проектований
Капітальні вкладення в устаткування	$K_{об} = Ц_{об} \cdot K_T \cdot n_0$ Де K_T —коефіцієнт, що враховує видатки на транспортування і монтаж устаткування, рівний 1,1; n_0 -кін-у верстатів для викон. даної операції; $Ц_{об}$ -оптова ціна верстата.	
	$K_{об} = 205000 \cdot 1,1 \cdot 8 = 1804000$	$K_{об} = 420000 \cdot 1,1 \cdot 3 = 1386000$
Капітальні вкладення у виробничу площу	$K_{пл} = Ц_{пл} \cdot S \cdot \gamma$ $Ц_{пл}$ -ціна 1 м ² виробничої площі; S -Площа, займана встаткуванням, м ² ; γ - коефіцієнт, що враховує дополнит. площа, $\gamma=4,5-5$	
	$K_{пл} = 1230 \cdot 88 \cdot 4,5 = 487080$	$K_{пл} = 1230 \cdot 32,81 \cdot 4,5 = 181603,35$
Витрати на оснащення	10 % від вартості встаткування	
	$z_{осн} = 20500$	$z_{осн} = 42000$
Капітальні витрати	$K_1 = 2311580$	$K_2 = 1609603,35$

Результати порівняння базового і проектного технологічних процесів говорять про те, що впровадження нового обладнання є вигідним.

5.3.2 Аналіз ефективності процесу обробки

По отриманих розрахункових значеннях технологічної собівартості і капітальних витрат по варіантах обчислюємо кількісні показники ефективності запропонованого процесу проведення деталей.

Економія, отримана від зниження собівартості виготовлених деталей при впровадженні нової технології:

$$E = (C_1 - C_2)N_2$$

$$E = (370,19 - 147,91)250 = 55570 \text{ грн}$$

Вивільнення капітальних витрат визначається за формулою:

$$\Delta K' = K_1 - K_2$$

$$\Delta K' = 2311580 - 1609603,35 = 701916,65 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект, отриманий від зниження собівартості продукції і вивільнення капітальних витрат визначаємо за формулою:

$$E_2 = (3_1 - 3_2) N_2 + \Delta K' E_n,$$

де E_n – нормативний коефіцієнт капітальних вкладень, $E_n = 0,15$.

$$E_2 = (370,19 - 147,91) \cdot 250 + 701916,65 \cdot 0,15 = 160857,49 \text{ грн.}$$

Зниження собівартості визначається за формулою:

$$\Delta_{\sigma} = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100\% ,$$

$$\Delta_{\sigma} = \frac{370,19 - 147,91}{370,19} 100\% = 60,04\%.$$

Ріст продуктивності визначається за формулою:

$$\Delta \Pi = \frac{t_{шт}^{баз} - t_{шт}^{проект}}{t_{шт}^{проект}} \cdot 100\% ,$$

$$\Delta \Pi = \frac{126,71 - 65,7}{65,7} \cdot 100\% = 92,86\%$$

5.3.3 Розрахунки ціни деталі

Розрахунки собівартості і ціни одиниці продукції представлений в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Калькуляція на деталь «корпус фільтра».

Найменування статей	Сума, грн	Розрахунки
1	2	3
1) Витрати на матеріали	218,3	$Z_M = M_M * C_M - M_o * C_o$
2) Витрати на транспортування	4,36	2% від п.1
3) Основна ЗП виробничих робітників	4,6	$Z_{ЗП} = C_{чл} * K_{гп} * (t_{гп} / 60)$
4) Додаткова ЗП	0,55	12% від п.3
5) Відрахування на соціальне страхування	3,24	37% від (п.3+п.4)
6) Відрахування до фонду соціального захисту	0,1	2% від (п.3+п.4)
7) Видатки на утримання встаткування	4,6	100% від п.3
8) Цехові витрати	3,22	70% від п.3
9) Повна цехова собівартість	238,97	п.1+п.2+п.3+п.4+п.5+п.6+п.7+п.8
10) Загальнозаводські видатки	1,84	60% від п.3
11) Разом виробнича собівартість	240,81	п.9+п.10
12) Невиробничі видатки	4,81	2% від п.11
13) Разом повна собівартість	245,62	п.11+п.12
14) Прибуток	49,12	20% від п.13
15) Разом оптова ціна	294,74	п.13+п.14
16) Податок на додаткову вартість	58,94	20% від п.15
17) Відпускна ціна	353,68	п.15+п.16

Рентабельність визначається за формулою:

$$P = \frac{П}{C} \cdot 100\% = \frac{49,12}{238,97} \cdot 100\% = 20,55\%$$

Далі розраховується кошторис витрат на впровадження. Результати розрахунків зводяться в таблицю 5.6

Таблиця 5.6 – Розрахунки кошторису витрат на впровадження

	Найменування витрат	Сума, грн
1	Витрати на матеріали	54575
2	Транспортно-заготівельні витрати	1090
3	Основна ЗП виробничих робітників	1150
4	Додаткова заробітна плата	137,5
5	Відрахування на соціальне страхування	810
6	Відрахування до фонду соціального захисту	25
7	Видатки на утримання встаткування	1150
8	Цехові витрати	805
9	Разом цехова собівартість	59742,5
10	Загальнозаводські видатки	460
11	Разом виробнича собівартість	60202,5
12	Невиробничі видатки	1202,5
13	Разом повна собівартість	61405
14	Прибуток	12280
15	Разом оптова ціна	74435
16	Податок на додаткову вартість	14735
17	Відпускна ціна товарного випуску	88420

6 ДОСЛІДЖЕННЯ СПРЯМОВАНЕ НА УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

6.1 Методологія дослідження та планування експерименту

У другому розділі кваліфікаційної роботи були визначені геометрія та конструкція інструменту, а також розраховані режими різання для кожного переходу операції 055 Токарної з ЧПК. Аналіз отриманих результатів показує, що для подальших наукових досліджень доцільно звернути увагу на вплив швидкості різання та подачі при механічній обробці $\varnothing 25f7$, яка є найбільш точною для зазначеної операції. Основною метою віртуального експерименту стане встановлення залежностей між режимами різання, рекомендованими програмою Sandvik Tool Guide, та такими параметрами, як шорсткість обробленої поверхні, стійкість різального інструменту, температура різання і тангенціальна складова сили різання [4, 10]. В основі планування віртуального експерименту лежить методика повнофакторного експерименту. Враховуючи кількість факторів, буде використано план типу 2^2 . Це означає, що необхідно визначити рівні двох факторів — швидкість різання та величину подачі — для їхнього варіювання у межах дослідження. Верхній та нижній рівні факторів будуть визначені на основі даних щодо швидкості різання та подачі, запропонованих програмою Tool Guide.

Методика повнофакторного експерименту передбачає зміну всіх можливих комбінацій рівнів факторів. Факторами в даному контексті називаються технологічні параметри, які змінюються під час проведення експерименту. У даному випадку такими факторами є швидкість різання і подача. Рівні факторів визначають конкретні значення, які кожен із факторів набуває в кожному досліді. Прийнято виділяти кілька рівнів факторів. Нульовий рівень фактору задається як розрахункове значення швидкості різання та подачі, визначене за допомогою інтерфейсу програми Sandvik Tool Service. Нижній рівень відповідає значенню технологічного параметра, яке на 10% менше порівняно з нульовим рівнем. Водночас верхній рівень фактора становить значення технологічного параметра, яке на 10% більше за нульовий рівень. Для виконання експерименту складемо таблицю-матрицю планування,

в якій варіюються рівні факторів швидкості різання та подачі (Табл. 6.1).

Таблиця 6.1 - Вихідні дані для планування експерименту

Назва фактору	Нульовий рівень фактору	Нижній рівень фактору	Верхній рівень фактору
Швидкість різання, (м/хв)	0	-1	+1
Подача, (мм/об)	0	-1	+1
Глибина різання, (мм)	const	const	const

Використаємо стандартну матрицю планування для повно факторного експерименту 2^2 (табл. 6.2)

Таблиця 6.2 – Кодування факторів повно факторного експерименту

№ досліду	Швидкість різання, (м/хв)	Подача, (мм/об)	Глибина різання, (мм)**
1	+1	+1	Const
2	+1	-1	const
3	-1	+1	const
4	-1	-1	const
5	0	0	const

** - значення глибини різання визначається зі звіту програми Sandvik

Tool Guide.

Виконаємо обчислення верхніх та нижніх рівнів для обох факторів швидкості різання та подачі.

- визначимо нижній рівень швидкості різання згідно формули 6.1, та округливши до цілого:

$$VC_1 = VC_0 - 10\%, \quad (6.1)$$

де VC_0 - значення швидкості різання визначене у програмі Tool Guide

Визначимо верхнього рівень швидкості різання згідно формули 3.1, та округливши до цілого:

$$VC_2 = VC_0 + 10\%, \quad (6.2)$$

Визначимо значення верхнього на нижнього рівнів факторам подачі керуючись аналогічним підходом.

$$VF_1 = VF_0 - 10\%, \quad (6.3)$$

де VF_0 - значення подачі визначене у програмі Tool Guide

$$VF_2 = VF_0 + 10\%, \quad (6.4)$$

Виконаємо обчислення за формулами 6.1-6.4 та запишемо отримані значення у таблицю 6.3

Таблиця 6.3 – Декодування рівнів факторів для операції 055 Токарна з ЧПК

№ досліду	Швидкість різання, (м/хв)	Подача, (мм/об)	Глибина різання, (мм) **
1	226	0,161	0,25
2	226	0,131	0,25
3	185	0,161	0,25
4	185	0,131	0,25
5	205	0,146	0,25

Таблиця 6.4 – Таблиця варіювання режиму оброблення через частоту обертання шпинделя

№ досліду	Частота обертання шпинделя, (об/хв)	Подача, (мм/об)	Глибина різання, (мм) **
1	756	0,161	0,25
2	756	0,131	0,25
3	618	0,161	0,25
4	618	0,131	0,25
5	687	0,146	0,25

Формалізуємо умови проведення віртуального експерименту (табл.6.5)

Маркування пластини	Головний кут в плані (φ°)	Кут при вершині (ε°)	Допоміжний кут в плані (φ'°)	Задній кут (α°)	Радіус при верши
CNMG 09 03 04-MM 1125	95	80	5	7	0,4

Таблиця 6.5 – Умови проведення віртуального експерименту

Параметр	Значення
Постійні параметри проведення експерименту	
Матеріал деталі	Сталь 12X18H10T
Діаметр обробки	25мм
Довжина обробки	24 мм
Шорсткість поверхні	Ra 1,6
Тип операції	Чистова токарна операція
Маркування пластини	CNMG 09 03 04-MM 1125
Геометрія різальної пластини	Головний кут в плані (φ°) – 95 Кут при вершині (ε°) – 80 Задній кут (α°) – 7 Радіус при вершині (r, мм) – 0,4
Матеріал пластини	Твердий сплав
Змінні параметри віртуального експерименту (фактори)	
Швидкість різання, м/хв	Від 185 до 226
Подача, мм/об	Від 0,131 до 0,161

Виконаємо остаточну підготовку усіх необхідних параметрів для проведення віртуального експерименту(табл. 6.6).

Таблиця 6.6 – Узагальнена таблиця налаштування умов віртуального експерименту

Маркування пластини/ номер дослід CNMG 09 03 04-MM 1125	Головний кут в плані (φ°)	Кут при вершині (ϵ°)	Допоміжний кут в плані (φ°)	Задній кут (α°)	Радіус при вершині (r , мм)	Частота обертання, (об/хв)	Подача, (мм/об)	Глибина різання, (мм)
1	95	80	5	7	0,4	756	0,161	0,25
2	95	80	5	7	0,4	756	0,131	0,25
3	95	80	5	7	0,4	618	0,161	0,25
4	95	80	5	7	0,4	618	0,131	0,25
5	95	80	5	7	0,4	687	0,146	0,25

Наведені у таблиці 6.6 значення параметрів будуть введені у відповідні поля стартової сторінки програми емулятора процесу точіння “SINUMERIK”.

6.2 Експериментальне дослідження

Розрахунки здійснюємо за допомогою програми SINUMERIK. Дані з таблиці 6.6 вводимо у відповідні поля у вікні програми (рисунок 6.1) та проводимо розрахунки. За один цикл може бути виконано лише один експеримент. Таким чином, відповідно до матриці планування експерименту (таблиці 6.3 та 6.4), а також таблиці 6.6, виконуємо п’ять окремих експериментів.

Необхідні дані заносимо у відповідні комірки програми SINUMERIK. Спочатку виконуємо розрахунок для експерименту №1. Результати, отримані для кожного проведеного експерименту, заносимо у таблицю 6.3

Таблиця 6.3 – Результати експерименту

№ дослід	Швидкість різання, (м/хв)	Подача, (мм/об)	Температура різання, ($^\circ\text{C}$)	Шорсткість поверхні, Ra (мкм)	Стійкість інструменту, (хв)	Тангенціальна складова сили різання, (Н)
1	226	0,161	923	2,08	1609	39
2	226	0,131	861	1,59	1955	33
3	185	0,161	848	2,35	1921	41
4	185	0,131	816	1,78	2300	34
5	205	0,146	899	2,04	1923	36

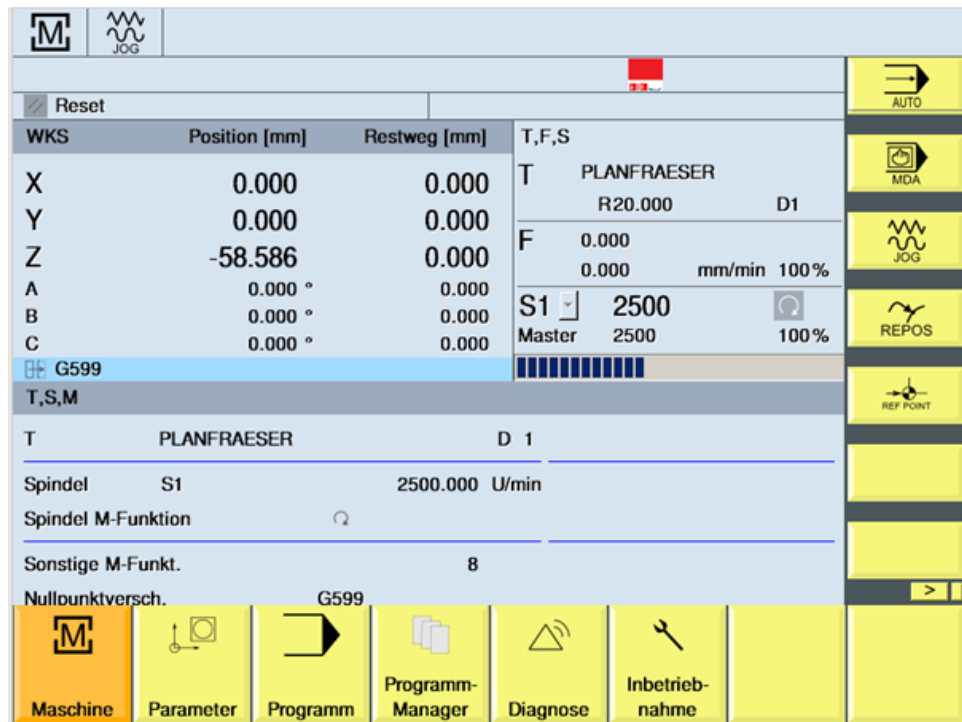


Рисунок 6.1 – Стартове вікно програми “SINUMERIK”

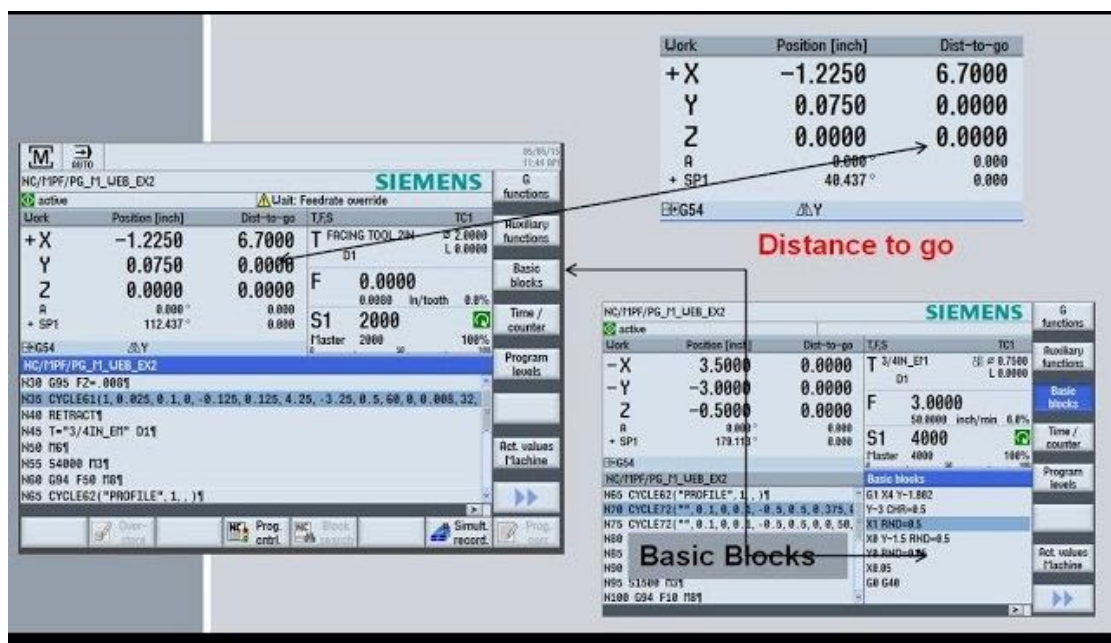


Рисунок 6.2 – Інтерфейс програми « SINUMERIK »

Для візуалізації залежності буде використано метод дисперсійного аналізу (SPSS). Цей статистичний інструмент дозволяє аналізувати варіації між середніми значеннями різних груп.



Рисунок 6.3 – Вплив режимів різання на шорсткість поверхні

Аналізуючи графік залежності шорсткості поверхні від швидкості різання та подачі при чорновому точінні, можна встановити, що зі зміною швидкості різання в межах 185–226 м/хв параметр шорсткості поступово зменшується: з $Ra \approx 1,58$ мкм до $Ra \approx 2,2$ мкм. Це пояснюється тим, що при швидкостях різання понад 80 м/хв наріст відсутній, і параметр шорсткості наближається до розрахункового значення. У той же час, експериментальні дані показують, що зі збільшенням подачі з 0,131 до 0,161 мм/об показник шорсткості суттєво зростає — від $Ra \approx 1,6$ мкм до $Ra \approx 2,2$ мкм. Найбільший вплив на якість обробленої поверхні в заданому діапазоні подач (0,36–0,44 мм/об) здійснює саме величина подачі, яка значною мірою визначає мікрогеометрію поверхні.

Зі збільшенням подачі якість обробки помітно погіршується, що проявляється у зростанні нерівностей. Однак при чорновому точінні цей фактор має другорядне значення. За результатами аналізу графіків залежності температури різання від швидкості різання в діапазоні 185–226 м/хв при чорновому точінні встановлено, що зі збільшенням швидкості різання температура різання зростає несуттєво — від 816 до 923 °С.

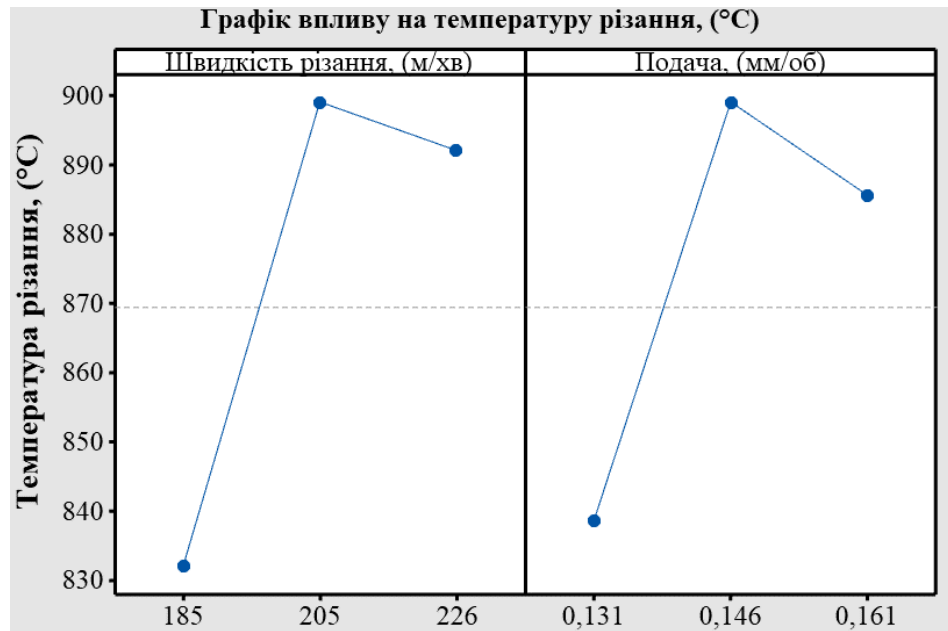
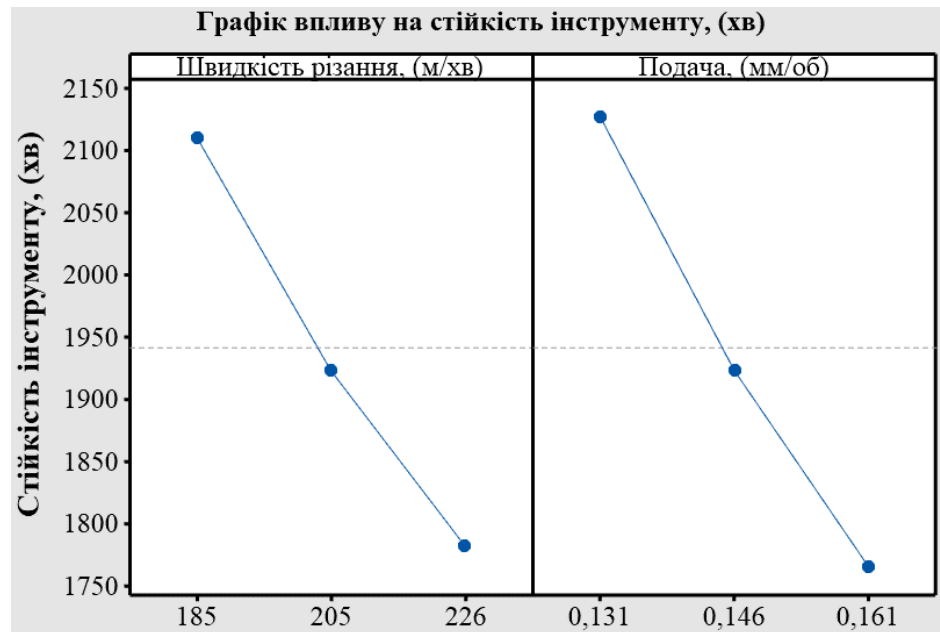


Рисунок 6.4 – Вплив режимів різання на температуру різання

Основним джерелом тепла під час різання виступає тертя стружки об передню поверхню інструмента та теплота, що виникає внаслідок її деформації. При підвищенні швидкості різання зростає робота тертя, а відповідно і кількість генерованої теплоти, що призводить до помірного підвищення температури на передній поверхні інструмента. Крім того, зі збільшенням подачі в межах 0,131–0,161 мм/об тепловий потік у тіло різця також зростає, що суттєво впливає на температуру різання, яка в цьому діапазоні досягає значень від 816 до 923 °C. Це може негативно позначитися на стійкості пластини.

Підвищення температури різання обумовлюється збільшенням глибини зрізаного шару металу, посиленням тиску стружки на передню поверхню інструмента, наростанням роботи пластичної деформації та іншими чинниками. Таким чином, із зростанням як швидкості різання, так і швидкості подачі температура різання підвищується пропорційно.

На основі аналізу графіка залежності стійкості інструмента від швидкості різання при чорновому точінні видно, що при зміні швидкості різання в межах 272–332 м/хв. стійкість різця скорочується від ≈ 311 хвилин до ≈ 254 хвилин



.Рисунок 6.5 – Вплив режимів обробки на стійкість інструменту

Збільшення швидкості різання суттєво впливає на стійкість інструменту, спричиняючи її зниження. Це обумовлено збільшенням шляху, який проходить різець по поверхні за одиницю часу, посиленням тиску на передню поверхню через зростаючу швидкість сходження стружки, а також підвищенням температури під час процесу різання. Розуміння взаємозв'язку між швидкістю різання та стійкістю інструменту дає змогу оптимально обирати режими обробки для досягнення максимальної продуктивності при мінімальних витратах. Збільшення подачі в межах 0,36–0,44 мм/об призводить до зниження стійкості приблизно з 309 хвилин до 256 хвилин. Це пояснюється зростанням сил і роботи різання через підвищену товщину стружки, що у свою чергу викликає підвищене теплове виділення і пришвидшує зношування різця. Вплив подачі на швидкість зносу є значним, тому слід спочатку визначити максимально допустиму глибину різання, виходячи з припуску на обробку, а вже потім підбирати оптимальну подачу, враховуючи стійкість пластини, для забезпечення найвищої продуктивності та мінімальної собівартості. Аналізуючи результати вимірювань шорсткості та стійкості інструменту під час чорнового точіння, можна одночасно підвищити швидкість різання на 10% і подачу на 10% порівняно з режимами, розрахованими у програмі Sandvik

ToolGuide™. Це дозволить скоротити час обробки поверхні приблизно на 21%, хоча стійкість пластини зменшиться на близько 16,8% (з 277,9 хвилин у базовому режимі до 231,3 хвилини у запропонованому варіанті). Утім, для реалізації цього підходу потрібен верстат із максимальною частотою обертання шпинделя не нижче 6600 хв^{-1} .

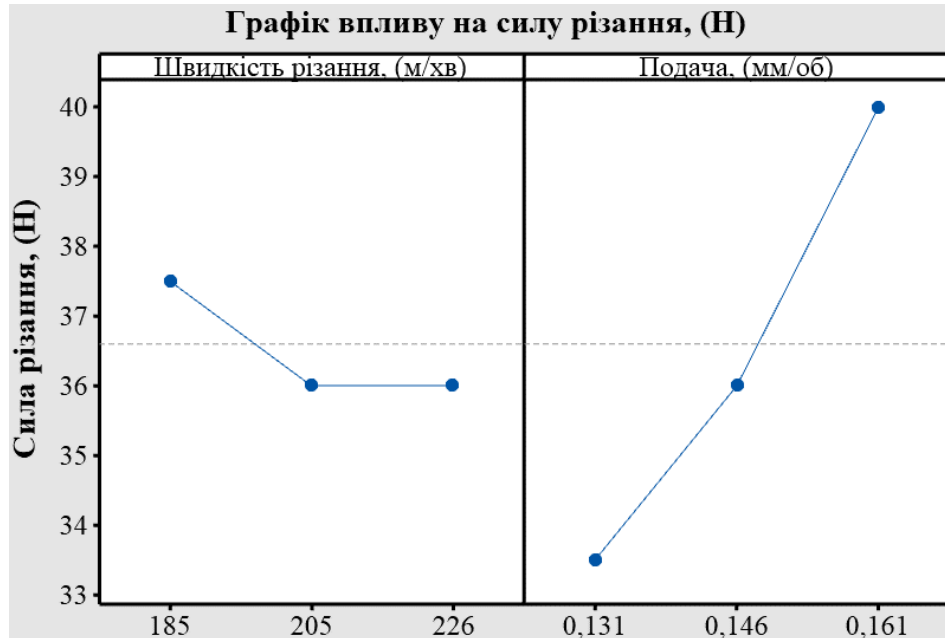


Рисунок 6.6 – Вплив режимів обробки на тангенціальну складову сили різання

Аналізуючи графік залежності режимів обробки від часу обробки, можна дійти висновку, що підвищення інтенсивності режимів обробки сприяє скороченню тривалості процесу.

Швидкість різання майже не впливає на величину зусилля різання, тоді як подача має суттєвий вплив. При збільшенні подачі сила різання істотно зростає

7. РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ «ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ФІЛЬТРА ГЕНЕРАТОРА МОДЕЛІ ГП21» ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНОГО ОБРОБНОГО ЦЕНТРУ»» ДЛЯ ФАХІВЦЯ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

7.1. Постановка цілей факультативного заняття з теми «Підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталі типу «Корпус фільтра генератора моделі ГП21» за рахунок застосування токарно-фрезерного обробного центру»»

В таблиці 7.1 наведено оперативні цілі з теми.

Таблиця 7.1 - Постановка цілей факультативного заняття

№	Цілі факультативного заняття	Цілі формування різних рівнів засвоєння навчального матеріалу	Умови досягнення цілей	Результат у вигляді дій здобувачів освіти
1	2	3	4	5
1	Сформувати розуміння конструктивних особливостей корпусу фільтра генератора ГП21	Знання: відтворення основних елементів конструкції; Розуміння: пояснення функцій корпусних поверхонь; Застосування: аналіз конструкції з позиції технологічності	Демонстрація 3D-моделі, пояснення викладача, робота з технічною документацією	Студенти описують конструкцію деталі, виділяють базові поверхні, встановлюють їх роль у технологічному процесі
2	Навчити визначати оптимальні технологічні бази для обробки корпусної деталі	Знання: класифікація типів базування; Розуміння: пояснення критеріїв вибору баз; Застосування: вибір конкретних баз для операцій на токарно-фрезерному центрі	Робота в CAD-середовищі, аналіз різних варіантів базування, групові дискусії	Студенти обґрунтовують вибір технологічних баз і демонструють їх прив'язку на моделі
3	Опанувати принципи побудови технологічного маршруту	Знання: етапи формування технологічного процесу; Розуміння: логіка комбінування токарних і фрезерних	Аналіз прикладів маршрутів, виконання практичного завдання, робота в САМ-середовищі	Студенти створюють маршрут обробки з урахуванням конструктивних особливостей

	обробки корпусу ГП21	операцій; Застосування: складання маршруту обробки		деталі та можливостей верстата
4	Поглибити вміння працювати з САМ-системою для генерування траєкторій обробки	Знання: основи програмування ЧПК; Розуміння: структура керуючих програм; Застосування: створення та симуляція інструментальних траєкторій	Використання навчальних ліцензій САМ-системи, індивідуальні вправи, спостереження викладача	Студенти створюють інструментальні траєкторії, аналізують можливі зіткнення, оптимізують параметри
5	Навчити оптимізувати режими різання під час комбінованої обробки корпусних деталей	Знання: класифікація режимів різання; Розуміння: вплив параметрів на якість і час обробки; Застосування: розрахунок оптимальних режимів	Розв'язування типових задач, використання довідників, консультації викладача	Студенти виконують розрахунки режимів різання та пояснюють вибір параметрів
6	Сформувати навички використання симуляційних технологій для аналізу процесу обробки	Знання: принципи роботи симулятора; Розуміння: інтерпретація графічного і числового аналізу; Застосування: ідентифікація помилок програми та зіткнень	Робота в симуляторі, аналіз помилок, виконання тренувальних сценаріїв	Студенти запускають симуляцію, визначають проблемні зони та вносять коригування
7	Розвинути здатність оцінювати ефективність технологічної підготовки виробництва корпусу ГП21	Знання: показники ефективності; Розуміння: зв'язок між технологічними рішеннями та продуктивністю; Застосування: порівняння альтернативних варіантів	Проведення міні-дослідження, робота в малих групах, порівняльний аналіз	Студенти обґрунтовують вибір найефективнішого маршруту обробки з позиції продуктивності та якості
8	Забезпечити розвиток аналітичного мислення при роботі з реальною виробничою документацією	Знання: типи технічної документації; Розуміння: читання креслень і специфікацій; Застосування: підготовка технологічної карти	Робота з кресленнями корпусу ГП21, аналіз документації, практичні вправи	Студенти читають технічну документацію, визначають вимоги до точності та шорсткості, складають технологічну карту

9	Сформувати професійну готовність до роботи з токарно-фрезерним обробним центром у реальних умовах виробництва	Знання: принципи роботи обладнання; Розуміння: можливості та обмеження обробного центру; Застосування: налаштування параметрів для конкретної деталі	Ознайомлення з реальним обладнанням або його віртуальним аналогом, практичні демонстрації	Студенти описують алгоритм налаштування, визначають необхідну оснастку, оцінюють готовність траєкторій програми
---	---	--	---	---

7.2. Перелік літературних джерел з теми

1. Гафійчук В. В., Миськів Г. В. Технологія машинобудування: підручник. – Львів: Новий Світ-2000, 2020. – 456 с.
2. Баран П. М., Швець М. М. Верстати з числовим програмним керуванням та основи програмування: навчальний посібник. – Київ: Ліра-К, 2019. – 312 с.
3. Скляр В. С. Технологічні процеси механічної обробки: сучасні методи проектування. — Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2021. – 284 с.
4. Мельничук С. М., Кулик Я. І. Підготовка інженерних кадрів для високотехнологічного машинобудування: компетентнісний підхід. – Тернопіль: ТНТУ, 2022. – 198 с.

7.3. Конструювання дидактичних матеріалів з теми «Підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталі типу «Корпус фільтра генератора моделі ГП21» за рахунок застосування токарно-фрезерного обробного центру»»

Конструювання дидактичних матеріалів для професійної підготовки майбутніх фахівців машинобудівної галузі є складним і багатокомпонентним процесом, який потребує глибокого аналізу специфіки виробничого завдання, технічних можливостей обладнання та методичних принципів сучасної освіти. Вивчення теми, що стосується підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва корпусу фільтра генератора моделі ГП21, вимагає

створення навчальних матеріалів, які забезпечують системність, інтегрованість і практикоорієнтованість змісту.

Оскільки обробка корпусних деталей із поєднанням токарних та фрезерних переходів є однією з найбільш складних задач у сучасному машинобудуванні, дидактичні матеріали мають не лише відображати теоретичні основи, а і допомагати здобувачам освіти формувати алгоритмічне мислення, здатність до візуалізації процесу та вміння приймати технологічно обґрунтовані рішення. Це потребує поєднання різних форм подання знань: текстових, графічних, симуляційних та інструкційних.

Побудова дидактичних матеріалів базується на таких принципах:

1. Доступність і наукова обґрунтованість – матеріали повинні містити точні технічні дані, водночас бути зрозумілими здобувачам, які лише формують професійний досвід.

2. Відповідність виробничим вимогам – зміст навчальних матеріалів має відображати реальну технологію обробки корпусу фільтра ГП21 на сучасному токарно-фрезерному обробному центрі.

3. Компетентнісна спрямованість – кожен навчальний елемент має сприяти формуванню конкретних компетентностей: технічних, цифрових, проєктних, операційних.

4. Практикоорієнтованість і модульність – зміст розподіляється на блоки, які дозволяють набувати навички поетапно: від аналізу деталі – до оптимізації програм ЧПК.

5. Використання цифрових технологій – включення CAD/CAM-моделювання, симуляційних вправ, цифрових карт маршрутів.

Навчальні матеріали доцільно формувати у вигляді багаторівневої системи.

Теоретико-інформаційний модуль. У цьому блокові подаються:

- конструктивні та функціональні особливості корпусу фільтра генератора ГП21;
- властивості матеріалів, що застосовуються у виготовленні деталі;

- принципи організації технологічної підготовки виробництва корпусних деталей;
- особливості роботи токарно-фрезерних обробних центрів, їх функціональні вузли та режими.

Теоретичний модуль доповнюється опорними конспектами, ілюстрованими схемами, 3D-моделями складальної одиниці та пояснювальними таблицями.

Аналітичний модуль. Цей модуль включає матеріали, спрямовані на розвиток умінь аналізувати технологічні процеси:

- аналіз технологічності конструкції корпусу ГП21;
- вибір технологічних баз;
- визначення оптимальних технологічних маршрутів;
- критичний аналіз можливих помилок у програмуванні ЧПК;
- засоби мінімізації похибок при установці деталі.

Аналітичний модуль може містити цифрові інтерактивні завдання — наприклад, симуляції в CAD/CAM середовищі, тестові ситуації, роботу з цифровими картами технологічного процесу.

Практичний модуль. Основою практичного блоку є:

- зразки технологічних карт;
- покрокові інструкції з написання програм ЧПК;
- набори практичних завдань для побудови маршруту комбінованої механічної обробки;
- вправи з вибору інструменту, державок, оснащення;
- задачі на розрахунок режимів різання при токарних і фрезерних операціях;
- віртуальні тренажери для запуску та перевірки програми на симуляторі верстата.

Цей модуль забезпечує формування практичних умінь, необхідних для роботи з токарно-фрезерним центром, а також дозволяє виконувати навчальні проєкти.

Контрольно-оцінювальний модуль. До нього входять:

- тестові завдання різних рівнів складності;
- ситуаційні завдання;
- практичні контрольні роботи з програмування ЧПК;
- критерії оцінювання якості технологічного процесу;
- рубрики для самооцінювання здобувачів освіти.

Такий модуль дозволяє здійснити об'єктивний контроль знань та вмінь.

Цифрові інструменти у конструюванні дидактичних матеріалів. Сучасні дидактичні матеріали повинні активно інтегрувати цифрові технології, такі як:

- CAD-системи (SolidWorks, Fusion 360, КОМПАС-3D) — для створення електронної моделі корпусу ГП21;
- САМ-системи (PowerMill, Mastercam, NX CAM) — для формування траєкторій обробки;
- Симуляційні верстати — для перевірки програм ЧПК без ризику пошкодження реального обладнання;
- Інтерактивні 3D-посібники — візуалізація операцій і траєкторій інструмента;
- Мультимедійні інструкції — відеофрагменти реальних виробничих процесів.

Це розширює дидактичний потенціал навчання, дозволяє здобувачам освіти бачити наслідки власних рішень і формує стійкі виробничі компетентності.

Значення конструювання дидактичних матеріалів для підготовки фахівців.

Створення якісних навчальних ресурсів забезпечує:

- системність засвоєння технологічних основ обробки корпусних деталей;
- формування інженерного мислення та здатності до оптимізації технологічних процесів;
- розвиток навичок роботи з високотехнологічним обладнанням;

– упевнене застосування засобів цифрового проектування та моделювання;

– адаптацію майбутніх фахівців до роботи з конкретними виробничими об'єктами, зокрема корпусом фільтра генератора моделі ГП21.

Таким чином, конструювання дидактичних матеріалів стає ключовою умовою успішної модернізації професійної освіти, оскільки дозволяє поєднати інноваційні виробничі технології з навчальним процесом і забезпечує формування компетентностей, затребуваних сучасною промисловістю.

7.4 Аналіз базових умов навчання з теми «Підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталі типу «Корпус фільтра генератора моделі ГП21» за рахунок застосування токарно-фрезерного обробного центру»

В таблиці 7.2 приведено вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань.

Таблиця 7.2 - Вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дії
1	2	3
1. Огляд деталі «Корпус фільтра генератора ГП21»	<p>Метод – усне опитування. Форма – фронтальна. Засіб – контрольні питання, тестові завдання. Контрольні питання: 1. Які основні функції виконує корпус фільтра генератора ГП21? 2. Які конструктивні особливості корпусу впливають на вибір технології обробки? 3. Чому матеріал корпусу впливає на вибір режимів різання? Тестові завдання: • Вкажіть матеріал корпусу фільтра ГП21: а) Алюміній б) Сталь в) Чавун г) Пластик</p>	<p>Виконання вправ, розв'язання задач, участь у проектах або моделювання ситуацій дозволяє перевести теоретичні уявлення в реальні навички.</p>

Перелік базових понять, законів, способів дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3
	<ul style="list-style-type: none"> • Який фактор найсуттєвіше впливає на складність обробки деталі? a) Колір металу b) Геометрія та розміри c) Вага упаковки d) Термін експлуатації 	
<p>2. Аналіз технологічних процесів обробки корпусних деталей</p>	<p>Контрольні питання: Які недоліки мають традиційні методи обробки корпусних деталей? Як оцінити ефективність існуючого технологічного процесу? Які фактори впливають на точність та якість обробки корпусу? Тестові завдання: Основна причина низької точності обробки: a) Висока швидкість верстата b) Некоректний вибір інструменту та режимів c) Якість охолоджуючої рідини d) Колір деталі Який показник визначає ефективність технологічного процесу? a) Кількість деталей на складі b) Час обробки однієї деталі c) Колір верстата d) Розмір упаковки</p>	<p>Дискусії в групі, пояснення матеріалу іншим або обмін думками допомагають краще усвідомити навчальний зміст.</p>
<p>3. Застосування токарно-фрезерного обробного центру</p>	<p>Контрольні питання: Які переваги CNC-технології перед класичними верстатами? Які операції токарно-фрезерного центру найбільш критичні для корпусу? Як токарно-фрезерний центр впливає на повторюваність обробки? Тестові завдання: Головна перевага обробки на CNC: a) Висока повторюваність і точність b) Можливість ручної корекції c) Менша вага верстата d) Зниження вартості матеріалу Токарно-фрезерний центр дозволяє: a) Виконувати лише токарні операції b) Виконувати токарні та фрезерні операції на одній установці c) Виключно шліфувати деталі</p>	

Продовження табл. 7.2

1	2	3
7. Розробка технологічної карти обробки корпусу фільтра	<p>d) Зварювати деталі</p> <p>Контрольні питання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Які етапи створення технологічної карти? 2. Як визначається послідовність операцій для корпусної деталі? 3. Які параметри інструменту та режимів різання найбільш важливі? <p>Тестові завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Технологічна карта включає: <ol style="list-style-type: none"> a) Операції, інструменти, режими різання b) Тільки креслення деталі c) Лише план закупівель матеріалу d) Вартість обробки • Послідовність операцій обирається з урахуванням: <ol style="list-style-type: none"> a) Матеріалу та геометрії деталі b) Колірного коду верстата c) Складності пакування d) Часу доставки 	
5. Оптимізація процесу з використанням CNC-технологій	<p>Контрольні питання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Які можливості САМ-систем допомагають зменшити час обробки? 2. Як можна мінімізувати переналагодження верстата при серійному виробництві? 3. Яким чином симуляція CNC сприяє зменшенню браку? <p>Тестові завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Основна мета САМ-моделювання: <ol style="list-style-type: none"> a) Візуалізація виробничого процесу і оптимізація маршрутів обробки b) Підбір кольору верстата c) Планування логістики на складі d) Облік зарплат операторів • Симуляція обробки дозволяє: <ol style="list-style-type: none"> a) Збільшити кількість браку b) Передбачити проблеми та оптимізувати процес c) Виключно зменшити вартість матеріалу d) Підвищити температуру верстата 	

7.5 Проектування мотиваційних технологій навчання з теми «Підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталі типу «Корпус фільтра генератора моделі ГП21» за рахунок застосування токарно-фрезерного обробного центру»»

На рис. 7.3 представимо характеристику мотиваційних технологій навчання.

Таблиця 7.3 - Визначення способів реалізації мотивації

Способи реалізації мотивації	Внутрішня мотивація
1	2
Вступна мотивація	<p>Доброго дня, шановні здобувачі освіти! Сучасне машинобудівне виробництво постійно стикається з викликами щодо підвищення продуктивності та якості виготовлення деталей при одночасному зменшенні витрат. Особливо актуальним є вдосконалення технологічної підготовки виробництва корпусних деталей, які мають складну геометрію і високі вимоги до точності, таких як корпус фільтра генератора моделі ГП21.</p> <p>Вибір теми дослідження обумовлений необхідністю пошуку оптимальних рішень, які дозволяють скоротити час обробки, підвищити точність і повторюваність деталей, а також знизити трудомісткість і матеріальні витрати. Застосування токарно-фрезерних обробних центрів (CNC) відкриває широкі можливості для автоматизації та оптимізації виробничого процесу, що є важливим фактором підвищення конкурентоспроможності підприємства. Вивчення даної теми дозволяє не лише поглибити знання у сфері технології машинобудування та обробки матеріалів різанням, а і розвинути практичні навички проектування технологічних процесів з використанням сучасного обладнання. Ця робота має реальну прикладну цінність, оскільки результати дослідження можуть бути безпосередньо впроваджені на виробництві, сприяючи підвищенню ефективності і якості виготовлення корпусів фільтрів генераторів</p> <p>Таким чином, тема є актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору, і її дослідження спрямоване на розвиток інженерних компетенцій у сфері автоматизованого виробництва та технологічної оптимізації.</p>

7.6. Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті з теми «Підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталі типу «Корпус фільтра генератора моделі ГП21» за рахунок застосування токарно-фрезерного обробного центру»»

Вибір методів, форм та засобів формування ООД наведено в таблиці 7.7.

Таблиця 7.4 - Способи формування ООД на факультативному занятті

Рівень засвоєння (Блум)	Форми організації навчання	Методи навчання	Засоби навчання
Запам'ятовування / Знання	Лекція, самостійне опрацювання матеріалів	Пояснення, наочні приклади, робота з текстом	Підручники, лекційні матеріали, креслення деталі
Розуміння	Семинар, групове обговорення	Порівняння традиційних і CNC-технологій, обговорення схем обробки	Схеми технологічних процесів, відео демонстрації роботи верстатів
Застосування	Практичне заняття на лабораторному обладнанні	Моделювання обробки на CNC, складання технологічної карти	Токарно-фрезерний обробний центр (CNC), САМ-програми, інструменти
Аналіз	Групова робота, кейс-стаді	Аналіз помилок і браку при обробці, порівняння ефективності методів	Звітні дані обробки, діаграми часу та точності, відео процесу
Оцінювання	Самостійне оцінювання, контрольна робота	Розрахунок економічного ефекту, оцінка продуктивності, перевірка точності обробки	Розрахункові таблиці, калькулятор, програмне забезпечення для аналізу
Створення / Синтез	Проектна робота, лабораторний практикум	Розробка оптимальної технологічної карти для корпусу фільтра, пропозиції щодо підвищення ефективності	САМ-система, моделі деталі, технологічні карти, САД-програми

7.7 Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті з теми «Підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталі типу «Корпус фільтра генератора моделі ГП21» за рахунок застосування токарно-фрезерного обробного центру»»

Вибір методів, форм та засобів формування виконавчих дій наведено в таблиці 7.5.

Таблиця 7.5 - Способи формування виконавчих дій з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу	Форми, методи, засоби
1	2
I, II, III, IV	<p>1. Аналіз конструкції деталі Мета: Ознайомитися з геометрією корпусу фільтра ГП21 та визначити критичні елементи для обробки. Завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ознайомитися з технічним кресленням корпусу. • Визначити отвори, фаски та поверхні, що потребують високої точності. • Скласти список критичних ділянок, де можливе виникнення браку при традиційній обробці. • Очікуваний результат: Схема деталі з позначенням критичних зон.
	<p>2. Порівняння технологій обробки Мета: Визначити переваги токарно-фрезерного центру перед класичними верстатами. Завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Скласти таблицю порівняння традиційної обробки та CNC для корпусу фільтра: час обробки, точність, трудомісткість. • Проаналізувати, які операції можна автоматизувати на CNC. • Очікуваний результат: Таблиця з оцінкою ефективності та пропозиції щодо оптимізації.
	<p>3. Розробка технологічної карти обробки Мета: Навчитися планувати послідовність операцій на токарно-фрезерному центрі. Завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Визначити послідовність токарних та фрезерних операцій для корпусу. • Вибрати інструменти та режими різання для кожної операції. • Скласти технологічну карту обробки деталі. • Очікуваний результат: Готова технологічна карта з усіма операціями, інструментами та режимами.

Продовження табл. 7.5

1	2
	<p>7. Моделювання обробки на CNC Мета: Навчитися використовувати САМ-систему для оптимізації маршруту обробки. Завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Завантажити модель корпусу фільтра у САМ-програму. • Змоделювати обробку на токарно-фрезерному центрі, перевірити послідовність операцій. • Оптимізувати швидкість та подачу для скорочення часу обробки. <p>Очікуваний результат: Візуалізація обробки та розрахунок економії часу.</p> <hr/> <p>5. Контроль якості обробленої деталі Мета: Навчитися оцінювати точність та якість виготовленої деталі. Завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Виконати вимірювання ключових розмірів корпусу за допомогою штангенциркуля та мікрометра. • Порівняти результати з технічним кресленням. • Визначити можливі джерела похибок і запропонувати способи їх усунення. <p>Очікуваний результат: Звіт з результатами вимірювань та рекомендаціями щодо підвищення якості.</p>
	<p>6. Оцінка економічної ефективності Мета: Навчитися оцінювати переваги впровадження токарно-фрезерного обробного центру. Завдання:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Розрахувати трудомісткість та час обробки корпусу на традиційному верстаті та на CNC. • Визначити економію часу та матеріалів. • Скласти висновки щодо доцільності застосування автоматизованого обладнання. <p>Очікуваний результат: Таблиця з порівнянням показників і висновки про економічну ефективність.</p>

7.8 Проектування контрольних дій з теми «Підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталі типу «Корпус фільтра генератора моделі ГП21» за рахунок застосування токарно-фрезерного обробного центру»»

Вибір методів, форм та засобів формування контрольних дій наведено в таблиці 7.6.

Таблиця 7.6 - Засоби контролю з теми факультативного заняття

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми, методи, засоби
1	2
III рівень	<p>Контрольні питання.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Огляд та конструкція деталі 2. Яке функціональне призначення корпусу фільтра генератора ГП21 у складі генератора? 3. Які основні геометричні елементи корпусу впливають на вибір технології обробки? 4. Чому матеріал корпусу визначає вибір режимів різання та інструменту? 5. Які критичні ділянки деталі найбільш схильні до браку при традиційній обробці? 2. Технологічні процеси обробки <ol style="list-style-type: none"> 1. Які основні проблеми виникають при традиційній токарно-фрезерній обробці корпусних деталей? 2. Які фактори впливають на точність та повторюваність обробки корпусу? 3. Як оцінюється ефективність технологічного процесу обробки? 4. У чому полягає різниця між одноопераційною та багатоступеневою обробкою корпусних деталей?
	<ol style="list-style-type: none"> 3. Застосування токарно-фрезерного обробного центру (CNC) <ol style="list-style-type: none"> 1. Які основні переваги використання токарно-фрезерного обробного центру порівняно з класичними верстатами? 2. Які операції на CNC-центрі найбільш критичні для обробки корпусу фільтра? 3. Як CNC-технологія впливає на підвищення точності і зниження браку? 4. Які фактори визначають вибір режимів різання на CNC для складних корпусних деталей? 4. Розробка технологічної карти обробки <ol style="list-style-type: none"> 1. Які основні етапи складання технологічної карти для корпусу фільтра? 2. Як визначити оптимальну послідовність операцій обробки? 3. Які параметри інструменту та режими різання мають найбільший вплив на ефективність виробництва? 4. Як технологічна карта допомагає підвищити продуктивність і знизити відходи? 5. Оптимізація процесу та САМ-моделювання <ol style="list-style-type: none"> 1. Яким чином САМ-програмування дозволяє оптимізувати процес обробки корпусу? 2. Як моделювання обробки на CNC допомагає зменшити брак та скоротити час виробництва? 3. Які можливості CNC-технологій сприяють автоматизації серійного виробництва? 4. Яким чином можна мінімізувати переналагодження верстата при виробництві великої партії корпусів? 6. Економічна ефективність та підвищення продуктивності <ol style="list-style-type: none"> 1. Як оцінюється економічний ефект від впровадження CNC-технологій у виробництво корпусу фільтра? 2. Які показники продуктивності можна підвищити за рахунок автоматизації обробки? 3. Які витрати знижуються при переході від традиційного верстата до токарно-фрезерного обробного центру?

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми, методи, засоби
1	2
	Як оцінити співвідношення інвестицій у CNC-обладнання та економію виробничих ресурсів?
	7. Контроль якості та стандартизація 1. Які методи контролю геометрії та точності корпусу фільтра є найбільш ефективними? 2. Як автоматизовані системи контролю підвищують якість серійного виробництва? 3. Які стандарти та нормативи слід враховувати при виготовленні корпусних деталей? 7. Яким чином стандартизація операцій сприяє підвищенню ефективності технологічної підготовки?

7.9 Розробка сценарію факультативного заняття з теми «Підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталі типу «Корпус фільтра генератора моделі ГП21» за рахунок застосування токарно-фрезерного обробного центру»»

Сценарій заняття, його структура і зміст структурних елементів представлені у вигляді табл. 7.7.

Таблиця 7.7 - Сценарій заняття, його структура і зміст структурних елементів

№ з/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	Організаційний момент	Привітання студентів, перевірка присутніх. Створення робочої атмосфери та налаштування на продуктивну діяльність. Нагадування правил безпеки та технологічної дисципліни при роботі на токарно-фрезерному обробному центрі (CNC).
2	Повідомлення теми і мети заняття	Тема: «Підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва корпусу фільтра генератора ГП21 за рахунок застосування токарно-фрезерного обробного центру». Мета: сформулювати у студентів знання та практичні навички планування обробки складних корпусних деталей, оптимізації технологічного процесу та використання цифрового моделювання для підвищення продуктивності та якості обробки.
3	Мотивація навчальної діяльності	Обговорення актуальності теми: потреба підвищення продуктивності, скорочення часу обробки та браку, впровадження сучасних CNC-технологій. Демонстрація прикладів застосування токарно-фрезерних центрів у виробництві корпусних деталей. Пояснення, як цифрове

№ з/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
		моделювання дозволяє прогнозувати ефективність і надійність обробки.
4	Актуалізація базових знань	Усне опитування студентів щодо: • Властивостей матеріалів корпусів фільтрів; • Принципів роботи токарно-фрезерного обробного центру; • Впливу режимів різання на точність і продуктивність; • Основ цифрового моделювання технологічних процесів. Методи: дискусія, усне опитування. Форма: фронтальна. Засоби: схеми верстата, креслення корпусу, контрольні питання.
5	Формування нового навчального досвіду (ООД)	Демонстрація процесу обробки корпусу на токарно-фрезерному центрі через CAD/CAM-моделювання. Студенти аналізують симуляцію обробки, визначають критичні точки та обговорюють методи підвищення точності та продуктивності. Методи: пояснення, демонстрація, дискусія, мозковий штурм.
6	Формування вмінь та дій (ВД)	Практичні вправи: 1. Аналіз цифрової моделі корпусу фільтра та визначення критичних зон обробки; 2. Розробка послідовності обробки та вибір режимів різання; 3. Імітаційне моделювання процесу в CAD/CAM-системі; 7. Оптимізація параметрів обробки для підвищення продуктивності та точності; 5. Підготовка рекомендацій щодо зменшення часу обробки та браку.
7	Формування компетентності (КД)	Обговорення результатів практичних робіт та контрольні питання: • Вплив режимів різання на точність та продуктивність; • Методи оптимізації обробки корпусних деталей; • Використання цифрового моделювання для планування технологічного процесу; • Оцінка результатів симуляцій та практичних розрахунків.
8	Підбиття підсумків, видача домашнього завдання	Підсумок заняття: важливість застосування токарно-фрезерних обробних центрів для підвищення ефективності та якості виробництва корпусних деталей, роль цифрового моделювання в оптимізації процесу. Домашнє завдання: підготувати звіт із моделювання обробки корпусу фільтра ГП21, визначити критичні зони, запропонувати рекомендації щодо оптимізації технологічного процесу.

7.10 Висновки

Розробка дидактичного проекту факультативного заняття на тему «Підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталі типу «Корпус фільтра генератора моделі ГП21» за рахунок застосування токарно-фрезерного обробного центру» дозволила комплексно поєднати теоретичні знання з практичними навичками, необхідними для сучасного машинобудівного виробництва.

Актуальність теми обумовлена потребою підвищення продуктивності та точності обробки корпусних деталей, зменшення часу обробки та відходів матеріалу, що досягається завдяки впровадженню токарно-фрезерних обробних центрів і цифрового моделювання технологічного процесу.

Методична структура заняття забезпечує послідовне формування знань, умінь і компетентностей студентів – від актуалізації базових знань і мотивації навчальної діяльності до виконання практичних вправ із моделювання обробки корпусу та оптимізації режимів різання.

Практична значущість проекту полягає у відпрацюванні навичок аналізу критичних зон деталі, планування послідовності операцій та вибору оптимальних режимів обробки, що є необхідними для ефективної роботи на сучасних машинобудівних підприємствах.

Крім того, заняття сприяє формуванню компетентностей майбутніх фахівців, інтегруючи знання про властивості матеріалів, принципи роботи CNC-верстатів, методи цифрового моделювання та оцінки економічної ефективності технологічних процесів.

Розроблений дидактичний проект дозволяє студентам самостійно планувати технологічні процеси та приймати обґрунтовані рішення щодо оптимізації виробництва корпусних деталей, підвищуючи тим самим їхню професійну підготовку.

Таким чином, реалізація даного факультативного заняття є доцільною для підготовки кваліфікованих спеціалістів машинобудівної галузі, здатних ефективно впроваджувати сучасні технології та підвищувати ефективність виробничих процесів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Проведені роботи з удосконалювання базового технологічного процесу виготовлення деталі «корпус фільтра», шляхом концентрації операцій за рахунок застосування сучасного встаткування, показали перспективність обраного підходу. Результатом роботи з'явилася розробка нового технологічного процесу виготовлення деталі «корпус фільтра» ГП 21.971.

2. Виконаний аналіз можливих технологій виробництва корпусу фільтра і сформульована стратегія вдосконалювання базового процесу виготовлення деталей.

3. Виконаний розрахунок технологічних режимів обробки і зроблений вибір устаткування, за рахунок якого ріст продуктивності праці склав 92,86%, собівартість знизилася на 60,04%.

4. Розроблений комплект конструкторсько-технічної документації для нового типового технологічного процесу виготовлення деталі «корпус фільтра».

5. Проведений економічний аналіз розробленого технологічного процесу виготовлення деталей. Це дозволило зробити вивід про те, що введення нового обладнання є дуже вигідним.

6. Виконано планування експерименту та реалізовано віртуальний експеримент за методикою повнофакторного експерименту 2^2 , що дозволило виконати п'ять дослідів.

У результаті виконання віртуального експерименту та обробки експериментальних даних за допомогою дисперсійного аналізу, було визначено, що для токарної обробки зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 25f7$ раціонально призначити швидкість різання 226 м/хв та подачу 0,131 мм/об при глибині різання 0,25 мм, що відрізняється від запропонованих програмою Tool Guide швидкості різання 205 м/хв та подачу 0,141 мм/об.

Визначені у ході віртуального експерименту режими різання дозволяють забезпечити шорсткість обробки $Ra 1,6$ мкм.

7. У ході виконання методичної частини випускної кваліфікаційної роботи було розроблено та теоретично обґрунтовано дидактичний проєкт професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі. У межах цього проєкту визначено ефективні методи та педагогічні умови опанування технологій оптимізації підготовки виробництва корпусних деталей із застосуванням сучасних токарно-фрезерних обробних центрів. Запропонований дидактичний підхід забезпечує підвищення точності, продуктивності та стабільності виготовлення корпусу фільтра генератора моделі ГП21, що підтверджує його практичну значущість і придатність до впровадження у систему професійної підготовки майбутніх машинобудівників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>
2. CERATIZIT Cutting Tools. (2024). e Catalogue 2024: Cutting tools and clamping technology (2516 pp.). pdf.directindustry.com+2pdf.directindustry.com+2
3. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>
4. Frezy CNC. Режими різання: теорія та параметри для ЧПУ. — Онлайн-ресурс. https://frezycnc.in.ua/tehnichni-dani/rezhymy-rizannya-2?utm_source=chatgpt.com
5. ISO 513:2012. Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges. — Geneva: ISO, 2012.
6. KYOCERA Precision Tools. (2025). Indexable Cutting Tool Catalog 2025-2026. KYOCERA Precision Tools+1
7. MAST Group. Каталог верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://mast-group.com.ua/ru/catalog/verstati_z_chpk
8. MAST PROM.UA. Верстати з ЧПК — асортимент, технічні характеристики, ціни [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://mast.prom.ua>
9. NTK Cutting Tools – General Catalog 2023-2024: Cutting Tools, та інші тематичні каталоги (Swiss-type, hardened material machining). NTK Cutting Tools
10. Sandvik Coromant. (2011). Cutting tools from Sandvik Coromant: Rotating tools – Turning tools [Catalog PDF]. Sandvik Coromant. https://dcngli4g50fhp.cloudfront.net/userfiles/ad/sandvik/documents/sandvik_5726966_catalog.pdf
11. SECO TOOLS – Наприклад: *Indexable Milling Catalog.pdf* (856 pp.) та інші глобальні каталоги. <pdf.aeroexpo.online+1>

12. Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>

13. Гевко Б. І., Пасічник В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. — Тернопіль: ТНТУ, 2012. — 310 с.

14. Головенкін В. П. Інженерна педагогіка [Електронний ресурс] : підруч. / В. П. Головенкін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Режим доступу: http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna_pedagogika.pdf

15. Горбатюк Є.О. Технологія машинобудування: Навчальний посібник / Є.О. Горбатюк, М.П. Мазур, А.С. Зенкін, В.Д. Каразей. – Львів : "Новий Світ-2000", 2012. – 358 с.

16. Гузій В. М. Різальний інструмент: навчальний посібник / В. М. Гузій. — Київ: Вища школа, 2010. — 280 с.

17. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафеев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.

18. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги.

19. Капустін В. В. Металорізальні інструменти: конструювання та розрахунок. — Дніпро: ДНУ, 2013. — 260 с.

20. Кирилович В. А., Мельничук П. П., Яновський В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ: навч. посіб. / Житомир: ЖІТІ, 2001. — 600 с. Режим доступу: https://koha.tntu.edu.ua/bib/104044?utm_source=chatgpt.com

21. Коваленко В. М. Технологія машинобудування : підручник / В. М. Коваленко, С. В. Якименко. — К. : Ліра-К, 2018. — 472 с.

22. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 204 с.

23. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 174 с.

24. Косаковський А. Л. Технологія машинобудування. Частина 1: Основи теорії різання. — Київ: НАУ, 2011. — 240 с.

25. Лебедик Л.В., Стрельников В.Ю., Стрельников М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельников, М. В. Стрельников. – Полтава : АСМІ, 2020. – 303 с.

26. Мазур М. П. Основи теорії різання матеріалів: підруч. для вищ. навч. закладів / М. П. Мазур (гол. ред.). — Львів : Новий Світ-2000, 2009. - 422 с.

Режим

доступу:

https://web.kpi.kharkov.ua/cutting/book4/?utm_source=chatgpt.com

27. Мельник А. П. Верстати з ЧПК: принципи, системи управління, обслуговування. — Харків: Техніка, 2021. — 312 с.

28. Методика професійної освіти : навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ : Компринт, 2027. – 224 с.

29. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УПА, 2027. – 82 с.

30. Обробні центри з ЧПК MAST / Офіційна сторінка компанії КМА-УА. — Режим доступу: <https://kma-ua.com.ua/obrobni-centri-z-chprk> — Назва з екрану.

31. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>
32. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» першого (бакалаврського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.
33. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» другого (магістерського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.
34. 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. – Львів: Новий Світ-2000, 2009. – 422 с.
35. Основи технічного нормування [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ftv.ptngu.com/index8.html>
36. 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.
37. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування: навчальний посібник / А.В. Гагалюк, Ю.Є. Паливода. – Тернопіль: Осадца Ю. В., 2025. – 308 с.
38. Рахуба В. М. Металорізальні інструменти: конструкція, розрахунок, виготовлення. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. — 325 с.
39. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>
40. Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт. : О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.
41. Сидоренко І. М. Інструментознавство: навчальний посібник. — Харків: НТУ "ХП", 2015. — 256 с.

42. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Дерібо О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В. — Вінниця : ВНТУ, 2023. — 116 с

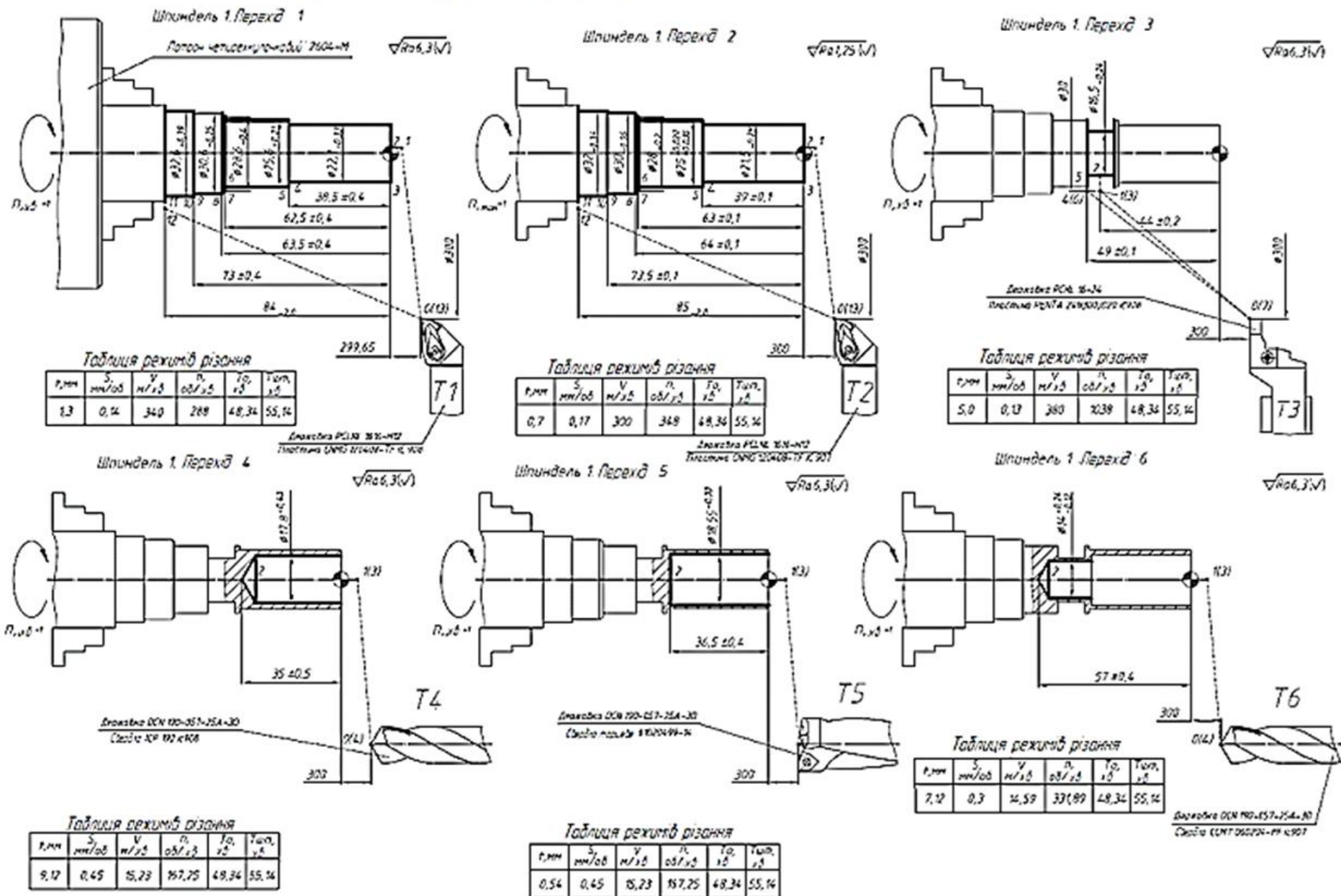
43. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>

44. Федосов С. Г. Числове програмне керування у верстатах. — К.: Либідь, 2019. — 264 с.

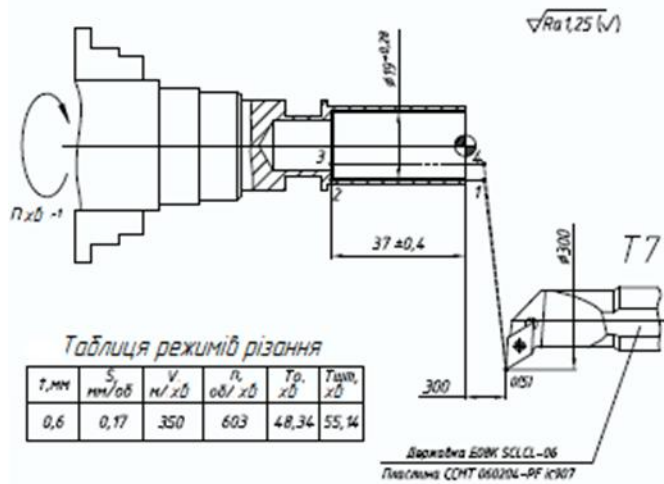
45. Яковенко І. Е., Пермяков О. А., Фесенко А. В. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 –Прикладна механіка, 133 –Галузеве машинобудування / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, А.В. Фесенко – Харків: НТУ «ХП», 2022. – 421с.

ДОДАТОК А

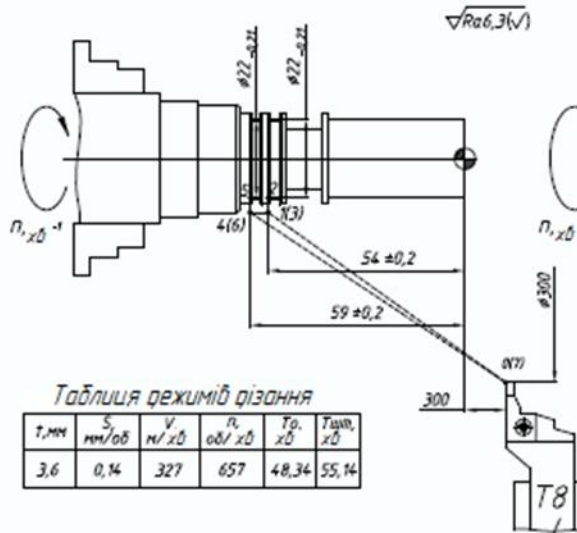
Операція 55 – Токарська з ЧПК; Верстат MAST MLS SX12



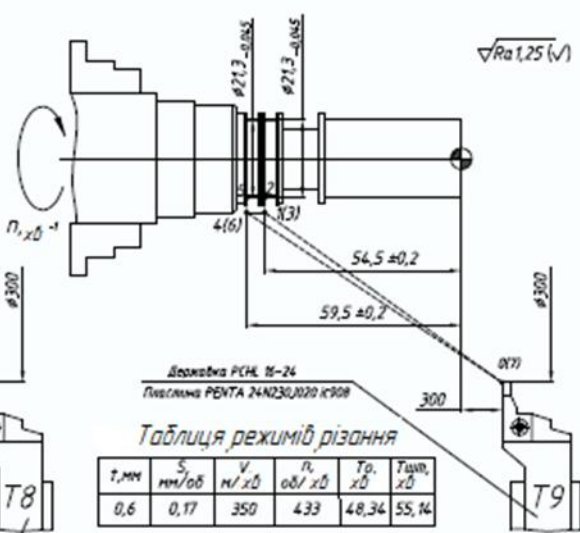
Шпиндель 1. Перехід 7



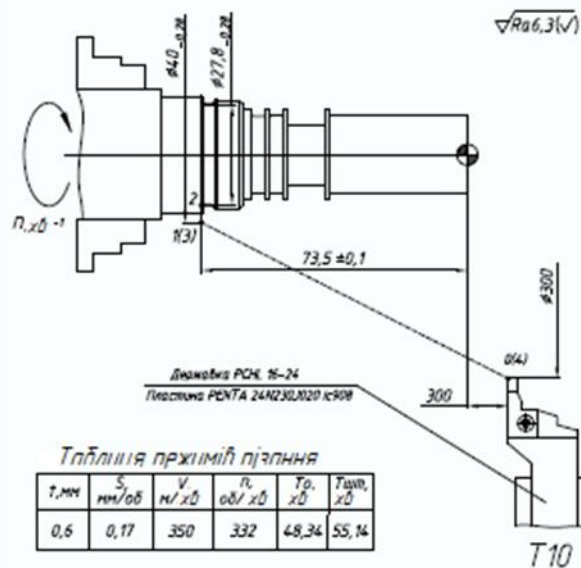
Шпиндель 1. Перехід 8



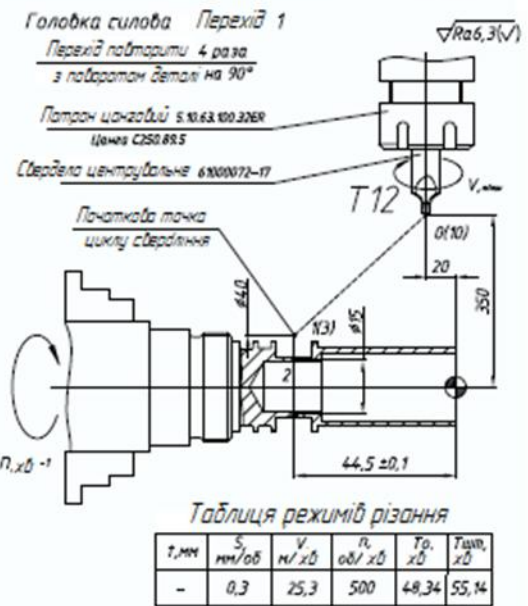
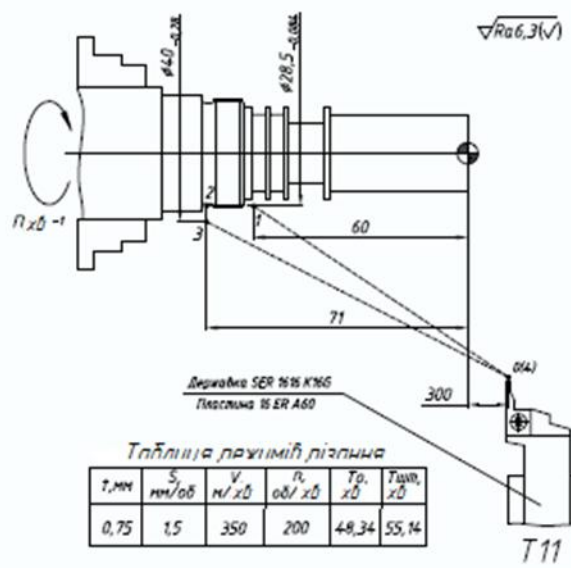
Шпиндель 1. Перехід 9

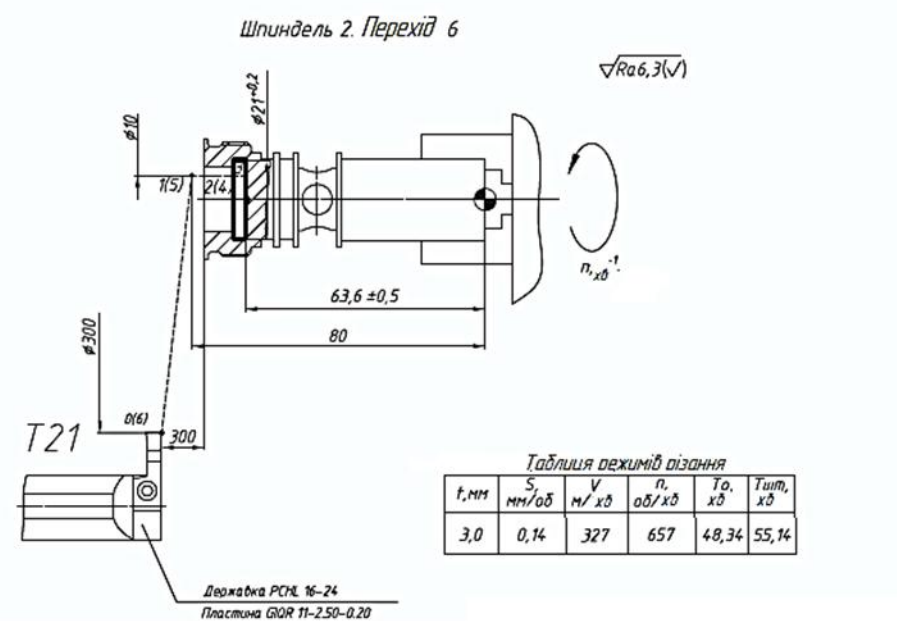
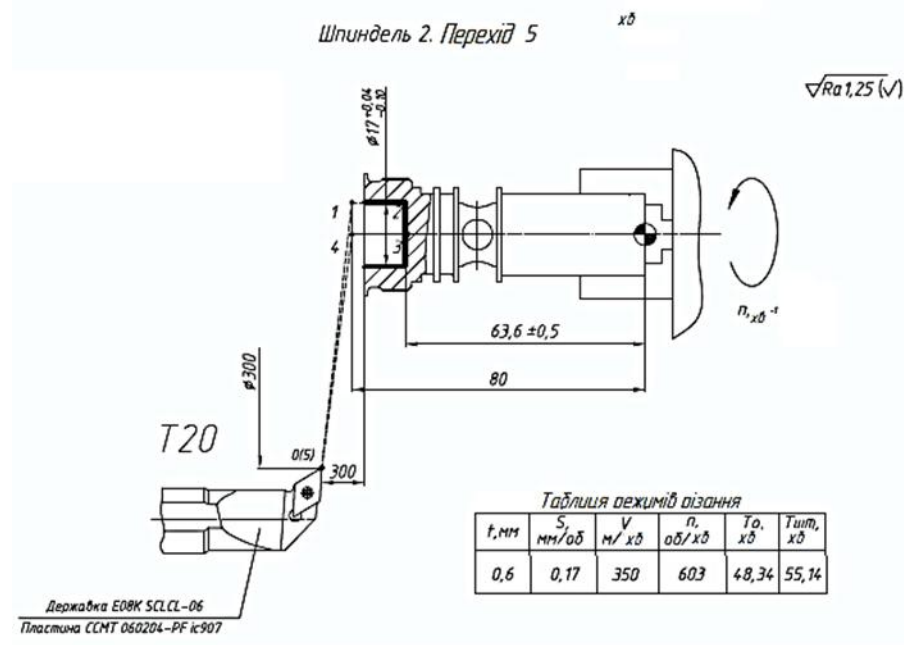
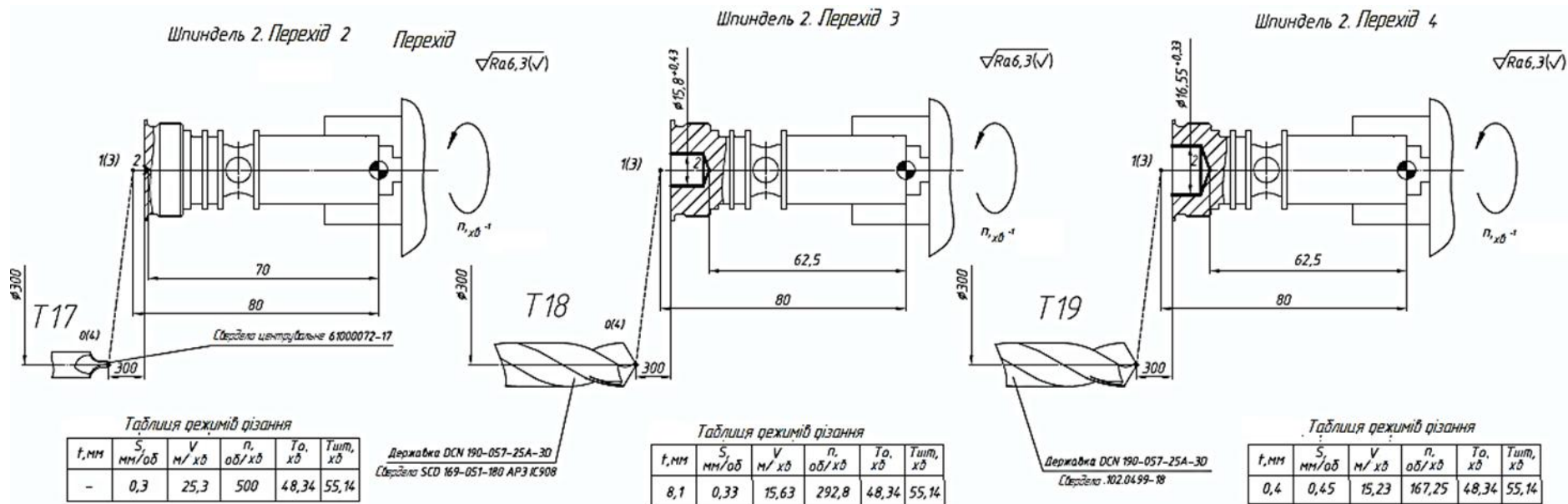


Шпиндель 1. Перехід 10



Шпиндель 1. Перехід 11





ДОДАТОК Б

Перв. промен

Спроб. №

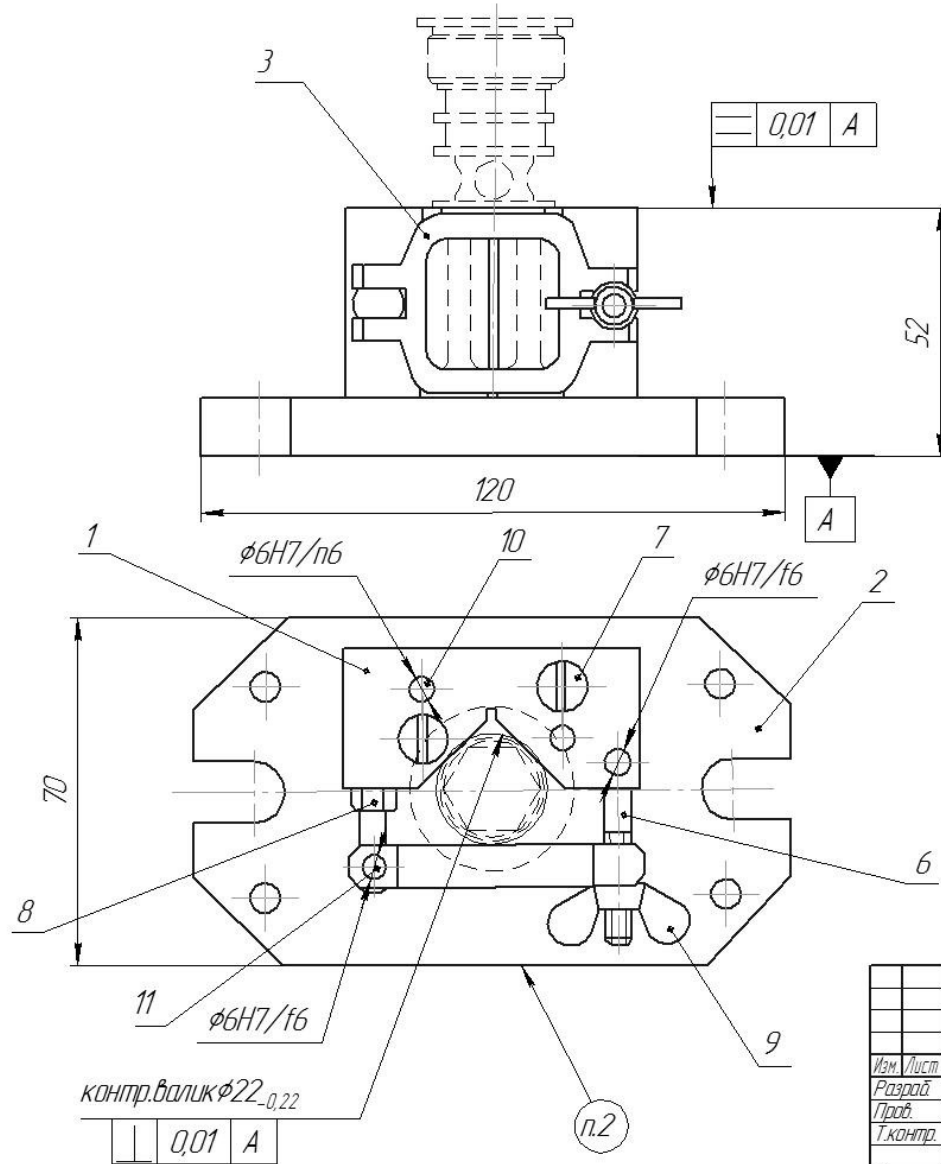
Падт. и дата

Маш. № дробл.

Взам. инв. №

Падт. и дата

Маш. № падт.



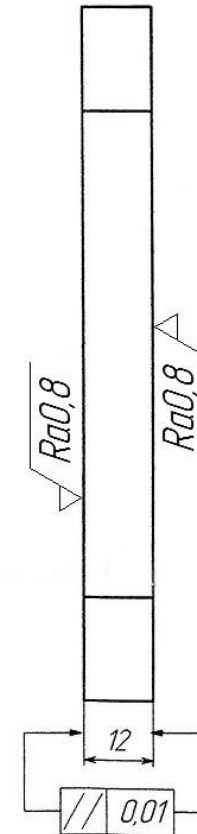
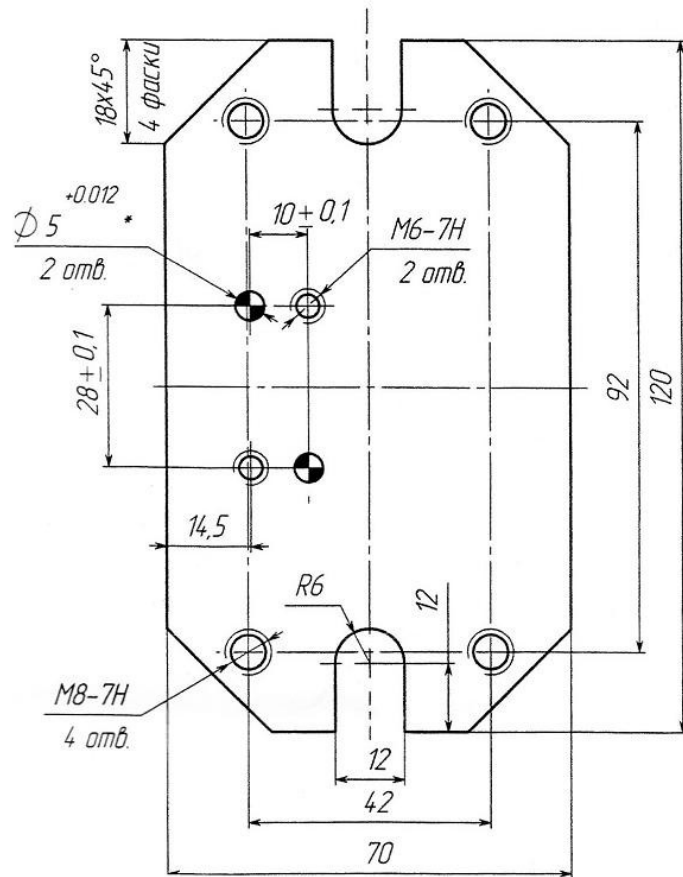
1. Допуски розташування площин періодично контролювати.
2. Маркувати позначення

Изм.	Лист	№ докум.	Падт.	Дата	Лит	Масса	Масштаб
							1:1
Пристосування для пропалювання шестигранника С = 17 на верстаті АQ35SL					Лист	Листов	1
Н.контр.	Скаржин А.О.						
Утв.	Кандрачек О.Л.						

Копирвал

Формат А3

√ Ra6,3



1. H14, h14, ±IT14/2.
2. Покрытие Хим. Окс, крім місць із частотою обробки 0,8

Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Плута	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.								1:1
Проб.	Кондратюк О.Л.					Лист	Листов	1
Т.контр.								
Исполн.	Скаржин А.О.				Сталь 20			
Утв.	Кондратюк О.Л.				ДСТУ 7809:2015.			

Копировал

Формат А3

ДОДАТОК В

ДОДАТОК В

Програма для «стійки» Sinumerik 820d верстата MAST MLS SX12 на обробку деталі «корпус фільтру насоса», включаючи пояснення. Програма написана мовою G-коду і включає загальні операції, такі як чернова і чистова обробка.

Код

(PROGRAM START)

(PART: PUMP HOUSING)

(MATERIAL: STEEL)

(TOOL: 16MM END MILL)

(SAFE Z: 50)

(DATUM: CENTER OF TOP FACE)

G90 G17 G40 G80 G94 G64 (ABSOLUTE, XY PLANE, CANCEL RADIAL COMPENSATION, CANCEL CYCLIC PROGRAM, FEED RATE IN MM/MIN, CONSTANT CUTTING SPEED)

G21 (UNITS IN MM)

G0 X0 Y0 Z100 (RAPID MOVE TO SAFE POSITION)

T1 M6 (TOOL CHANGE TO TOOL 1 - 16MM END MILL)

G0 G54 X-50 Y-50 Z50 (RAPID MOVE TO START POSITION IN SAFE ZONE)

S1500 M3 (SPINDLE START, 1500 RPM, CW)

G43 H1 Z50 (TOOL LENGTH COMPENSATION, Z AXIS)

(ROUGHING PASS)

G1 Z-10 F300 (FEED TO ROUGHING DEPTH)

G1 X50 (MOVE TO RIGHT EDGE)

G1 Y50 (MOVE TO TOP EDGE)

G1 X-50 (MOVE TO LEFT EDGE)

G1 Y-50 (MOVE TO BOTTOM EDGE)

G0 Z50 (RAPID MOVE TO SAFE Z)

G0 X0 Y0 (RAPID MOVE TO DATUM)

G1 Z-20 F300 (FEED TO ROUGHING DEPTH)

G1 X50

G1 Y50

G1 X-50

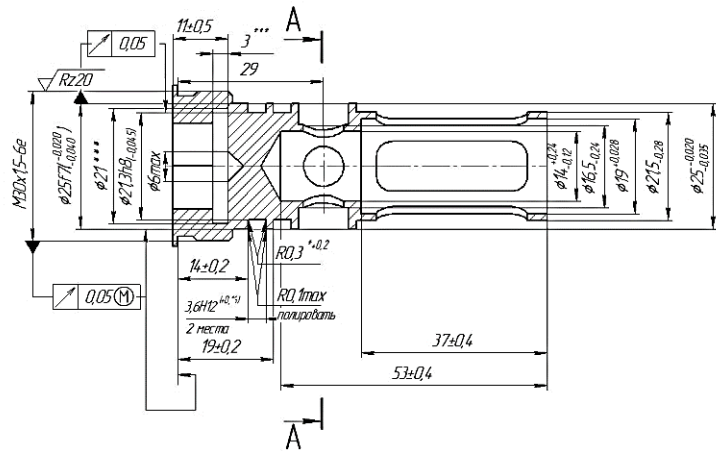
G1 Y-50
G0 Z50 (RAPID MOVE TO SAFE Z)
G0 X0 Y0 (RAPID MOVE TO DATUM)
G1 Z-30 F300 (FEED TO ROUGHING DEPTH)
G1 X50
G1 Y50
G1 X-50
G1 Y-50
G0 Z50 (RAPID MOVE TO SAFE Z)
G0 X0 Y0 (RAPID MOVE TO DATUM)
G1 Z-40 F300 (FEED TO ROUGHING DEPTH)
G1 X50
G1 Y50
G1 X-50
G1 Y-50
G0 Z50 (RAPID MOVE TO SAFE Z)
G0 X0 Y0 (RAPID MOVE TO DATUM)
(FINISHING PASS)
G1 Z-10 F150 (FEED TO FINISHING DEPTH)
G1 X50
G1 Y50
G1 X-50
G1 Y-50
G0 Z50 (RAPID MOVE TO SAFE Z)
G0 X0 Y0 (RAPID MOVE TO DATUM)
G1 Z-20 F150 (FEED TO FINISHING DEPTH)
G1 X50
G1 Y50
G1 X-50
G1 Y-50
G0 Z50 (RAPID MOVE TO SAFE Z)
G0 X0 Y0 (RAPID MOVE TO DATUM)

G1 Z-30 F150 (FEED TO FINISHING DEPTH)
G1 X50
G1 Y50
G1 X-50
G1 Y-50
G0 Z50 (RAPID MOVE TO SAFE Z)
G0 X0 Y0 (RAPID MOVE TO DATUM)
G1 Z-40 F150 (FEED TO FINISHING DEPTH)
G1 X50
G1 Y50
G1 X-50
G1 Y-50
G0 Z50 (RAPID MOVE TO SAFE Z)
G0 X0 Y0 (RAPID MOVE TO DATUM)
(END OF PROGRAM)
G0 G53 Z0 (RAPID MOVE TO MACHINE ZERO)
M5 (SPINDLE STOP)

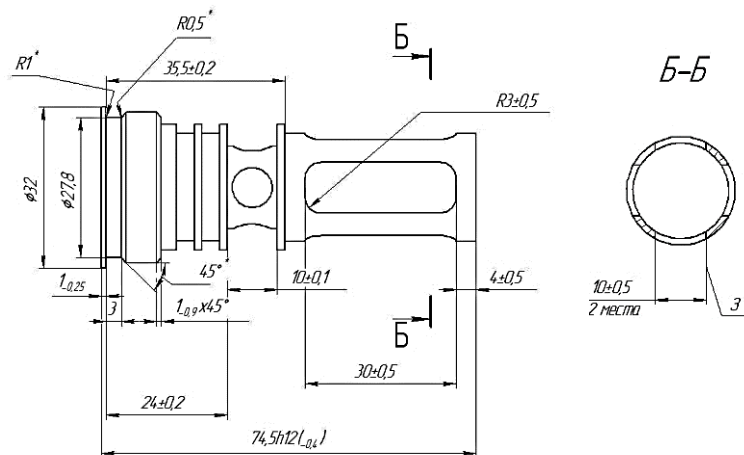
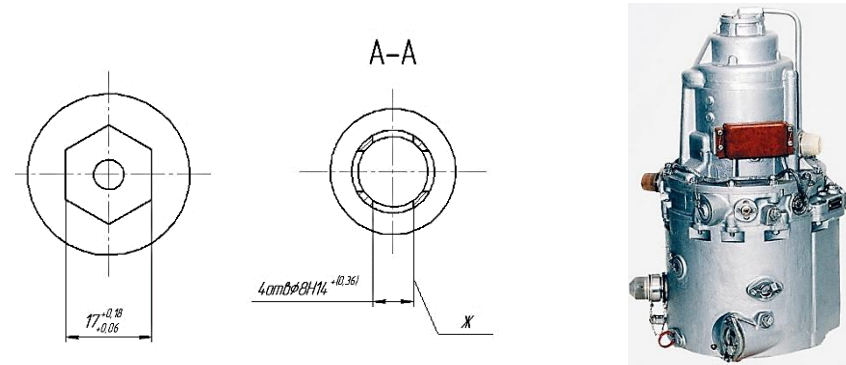
ДОДАТОК Д
(ПРЕЗЕНТАЦІЯ)

ПРОФЕСІЙНА ПІДГОТОВКА ФАХІВЦЯ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ ТИПУ «КОРПУС ФІЛЬТРА ГЕНЕРАТОРА МОДЕЛІ ГП21» ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНОГО ОБРОБНОГО ЦЕНТРУ

Корпус фільтра приводу-генератора ГП-21



Привод-генератор ГП-21

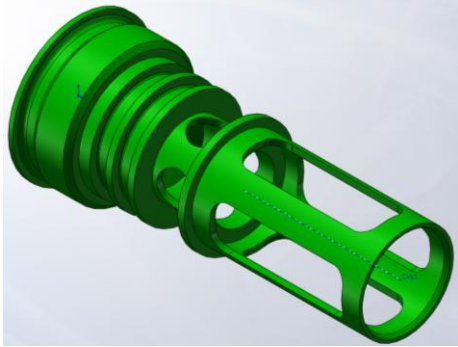


Мета дослідження - розробка нового технологічного процесу виготовлення деталі «корпус фільтра» ГП21.971 шляхом максимальної концентрації операцій за рахунок застосування сучасного встаткування.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз можливих технологій виробництва корпусу фільтра і сформулювати стратегію вдосконалювання базового процесу виготовлення деталей.
2. Виконати розрахунки технологічних режимів обробки, вибрати устаткування і спроектувати новий ріжучий інструмент.

3D модель деталі «Корпус фільтру»

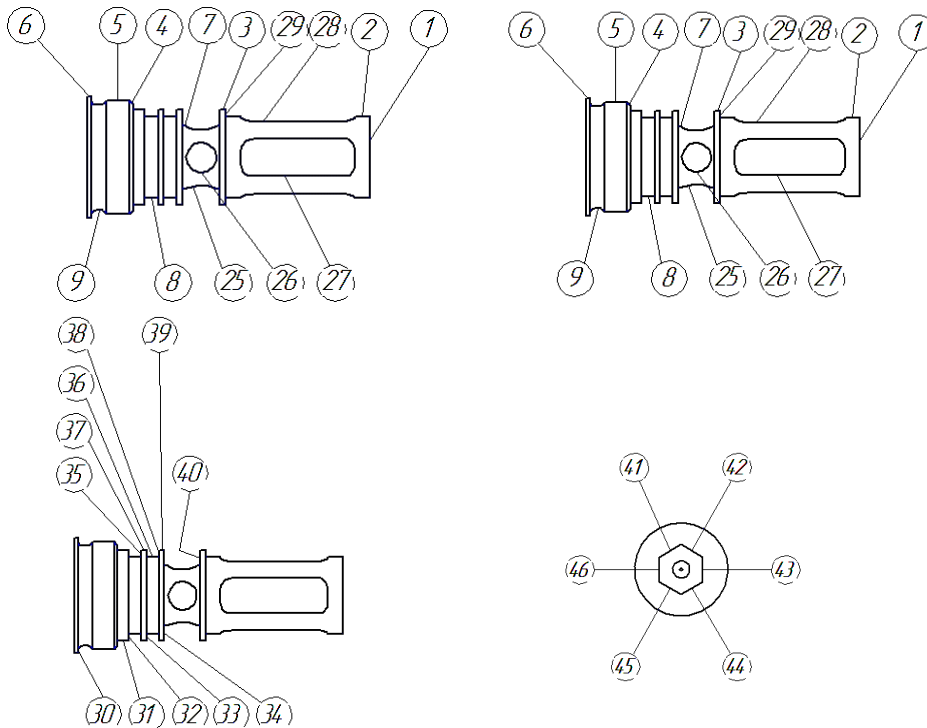


Загальна характеристика деталі

Корпус фільтра є корпусною деталлю циліндричної форми, що полягає з елементарних східчастих циліндричних поверхонь. Зовнішні діаметри перебувають у межах від 16,5 до 32 мм, внутрішні – від 14 до 21 мм. На чотирьох зовнішніх діаметрах виконані канавки, на найменшому зовнішньому діаметрі виконано чотири отвори, також на діаметрі 21,5 мм виконано чотири пази. На одному з торців виконаний шестигранний отвір, на іншому – циліндричне східчасте. Довжина деталі становить 74,5 мм.

Найбільш точними циліндричними поверхнями є зовнішні діаметри $\varnothing 25f7_{-0,02}^{-0,04}$ і $\varnothing 16h8_{-0,24}$ із шорсткостями поверхонь відповідно $Ra=1,25$ і $Ra=0,8$. Для обробки деталі потрібне спеціальне пристосування. Маса деталі 0,071 кг.

Нумерація поверхонь деталі «Корпус фільтру»



Характеристика оброблюваного матеріалу

Марка	Сталь 12Х18Н10Т
Замінник:	Сталь 08Х18Г8Н2Т, сталь 10Х14Г14Н4Т, сталь 12Х17Г9АН4, сталь 08Х22Н6Т, сталь 08Х17Т, сталь 15Х25Т, сталь 12Х18Н9Т
Класифікація	Сталь конструкційна криогенна / Сталь корозійностійка звичайна
Застосування	Деталі, що працюють при температурі до 600 °С. Зварені апарати й посудини, що працюють у розведених розчинах азотної, оцтової, фосфорної кислот, розчинах лузів і солей і інші деталі, що працюють під тиском при температурі від -196 до +600 °С, а при наявності агресивних середовищ до +350 °С; сталь аустенітного класу

Хімічний склад в % матеріалу 12Х18Н10Т

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Інше
до 0.12	до 0.8	до 2	9 - 11	до 0.02	до 0.035	17-19	до 0.3	(5 С - 0.8) Ti, решта Fe

Механічні властивості при T=20°С матеріалу 12Х18Н10Т

Сортамент	Розмір, мм	σ_s , Мпа	σ_t , Мпа	d_5 , %	ψ , %	KCU, кДж / м²	Термообробка
Кування	до 1000	510	196	35	40		Загартовування 1050 - 1100°С, вода
Аркуш тонкий		530	205	40			Загартовування 1050 - 1080°С, Охолодження вода,
Аркуш тонкий нагартований		880-1080	10				
Сортовий прокат	до 60	510	196	40	55		Загартовування 1020 - 1100°С, Охолодження повітря,
Аркуш товстий		530	235	38			Загартовування 1000 - 1080°С, Охолодження вода,
Труби холоднотформовані		549	35				
Труби гарячотформовані		529	40				
Твердість матеріалу 12Х18Н10Т, Кування						HV 10 ⁻¹ = 179 МПа	

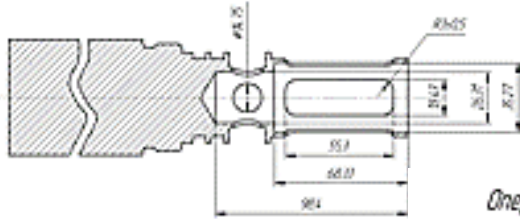
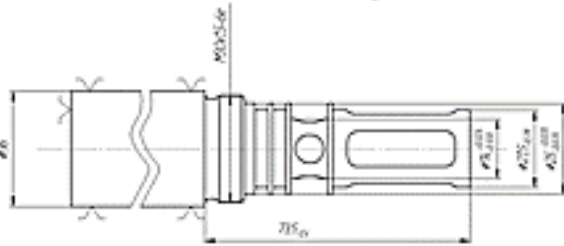
Фізичні властивості матеріалу 12Х18Н10Т

T, Гради	E 10 ⁵ МПа	α 10 ⁶ 1/Гради	l Вт/(м·град)	ρ , кг/м ³	C, Дж/(кг·гради)	R 10 ⁹ Ом·м
20	1.98		15	7920		725
100	1.94	16.6	16		462	792
200	1.89	17	18		496	861
300	1.81	17.2	19		517	920
400	1.74	17.5	21		538	976
500	1.66	17.9	23		550	1028
600	1.57	18.2	25		563	1075
700	1.47	18.6	27		575	1115
800		18.9	26		596	
900		19.3				

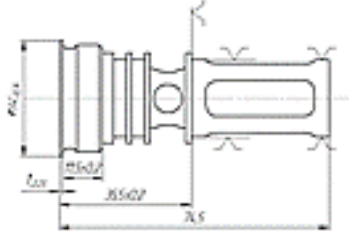
Технологічні властивості матеріалу 12Х18Н10Т.

Зварюваність:	без обмежень.
Флокеночутливість:	не чутлива.

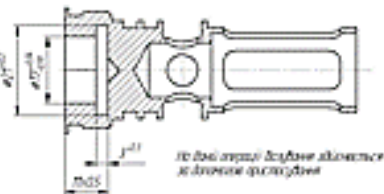
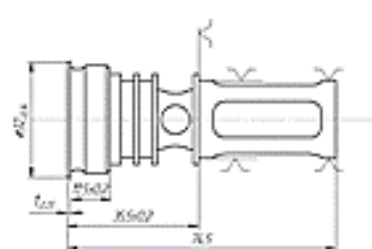
Операція 055 - 1й установ



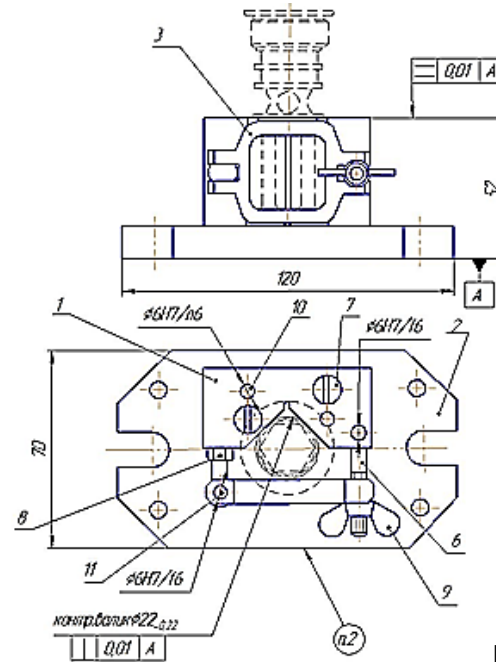
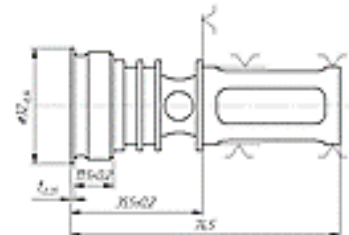
Операція 055 - 2й установ



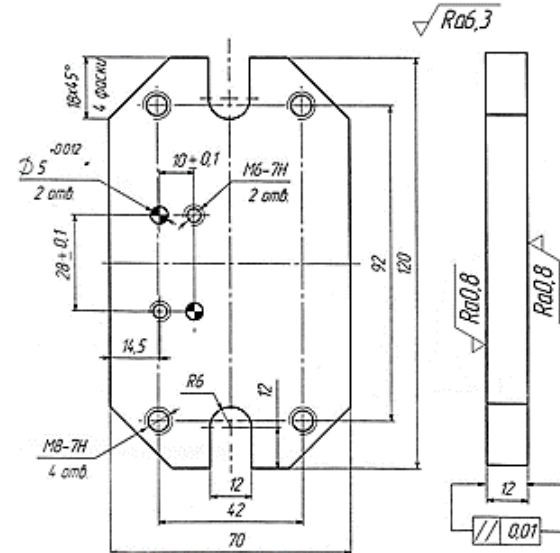
Операція 166



Операція 173

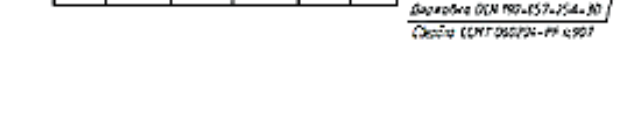
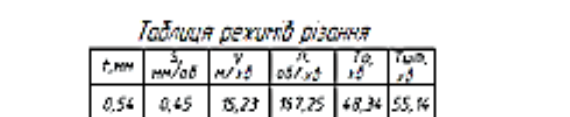
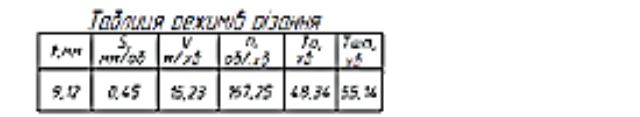
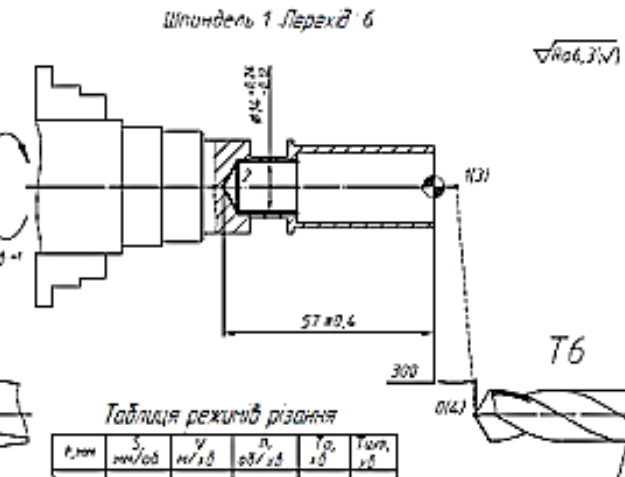
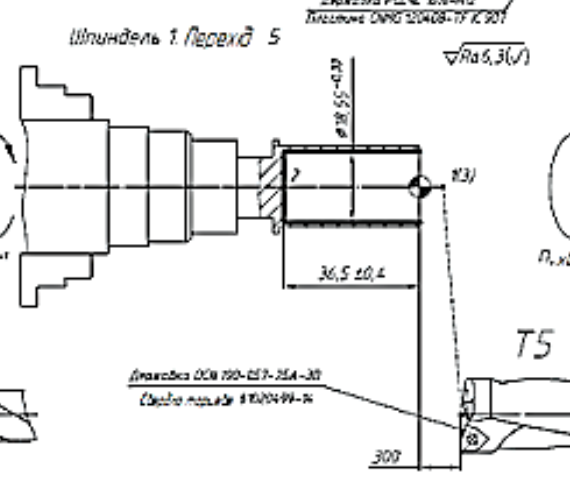
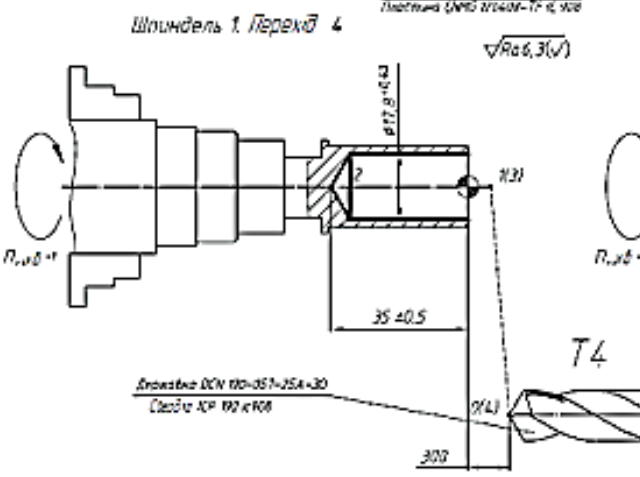
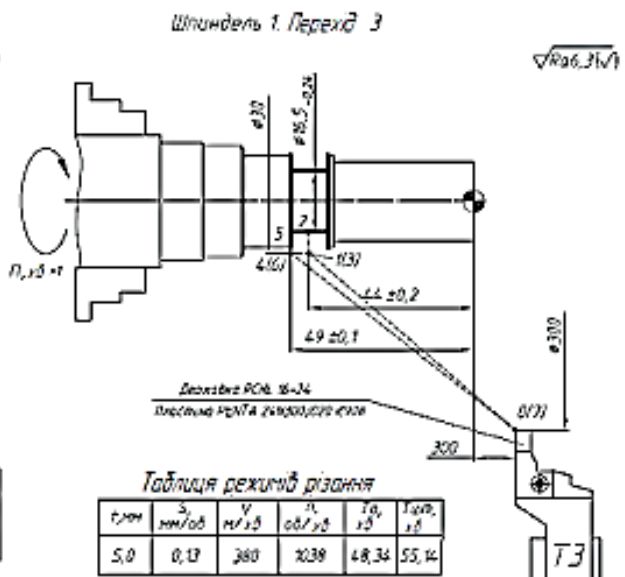
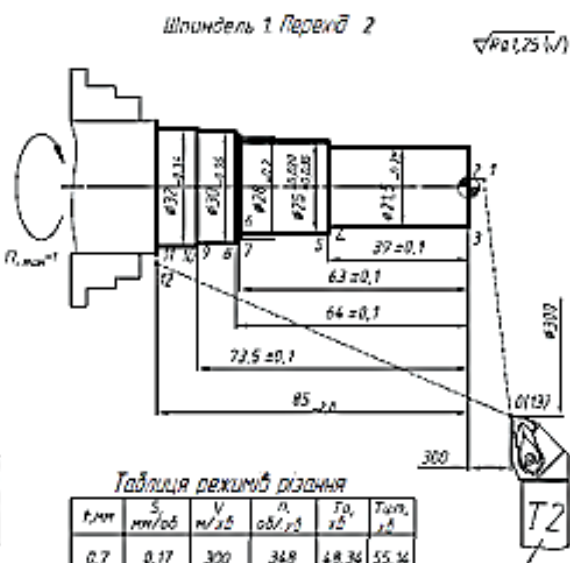
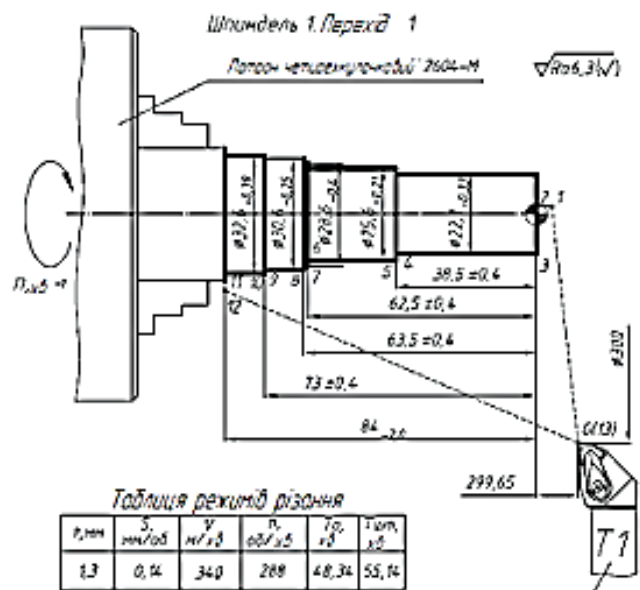


Плита

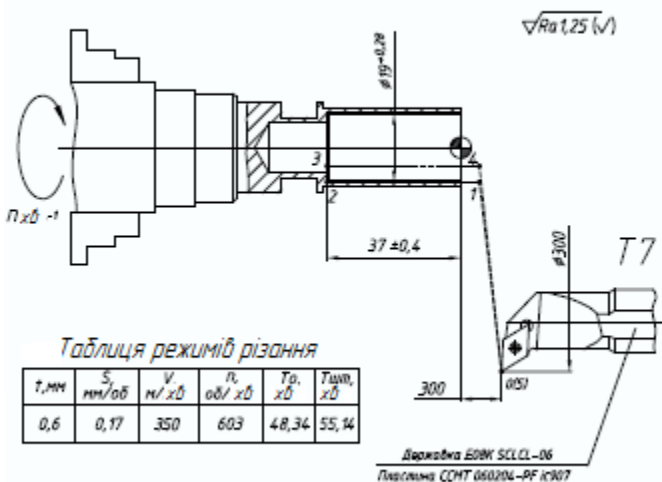


1. H14, h14, ±IT14/2
2. Покрытие Хит. Окс., кроме мест с чистой обработкой Q8

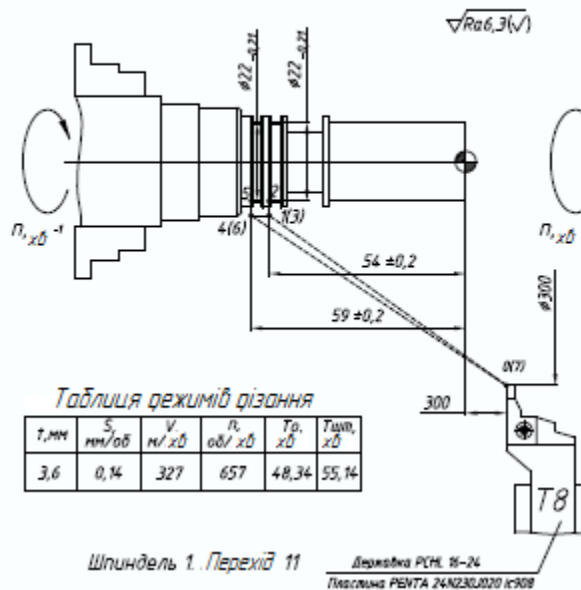
Операція 55 – Токарська з ЧПК; Верстат моделі Spinner TC-300-52 SMMCY



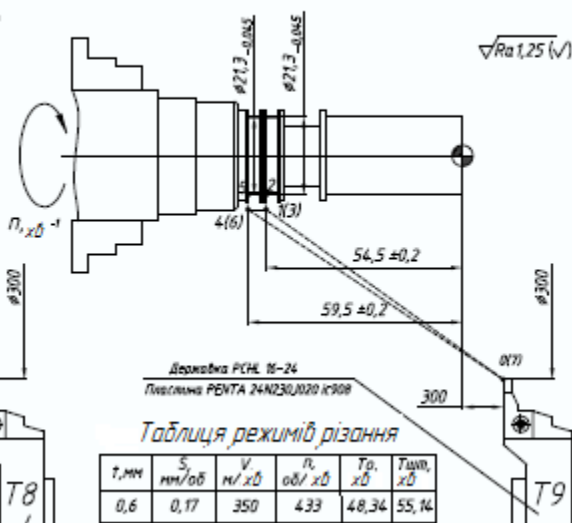
Шпиндель 1. Перехід 7



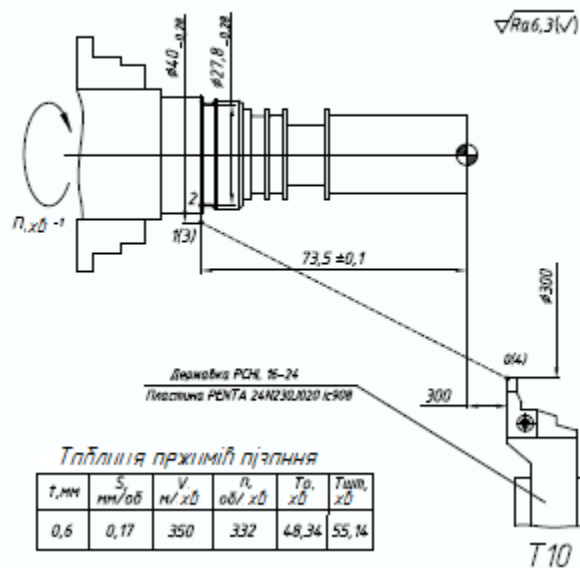
Шпиндель 1. Перехід 8



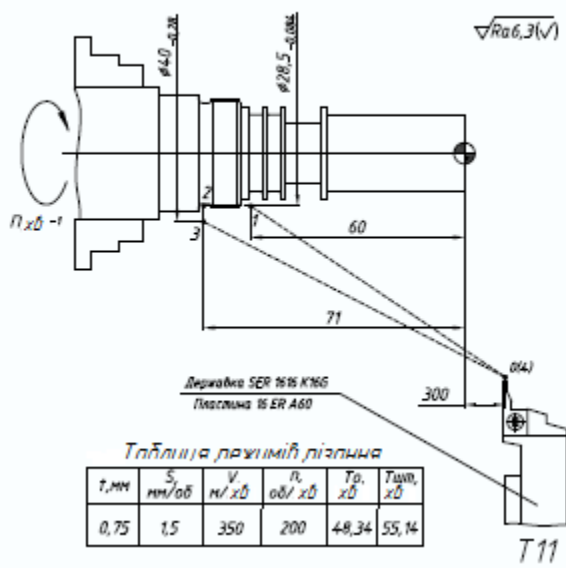
Шпиндель 1. Перехід 9



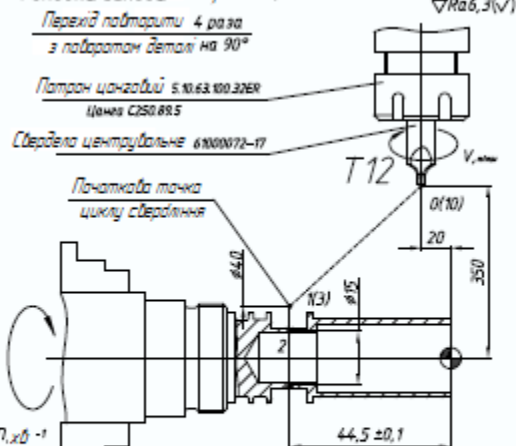
Шпиндель 1. Перехід 10



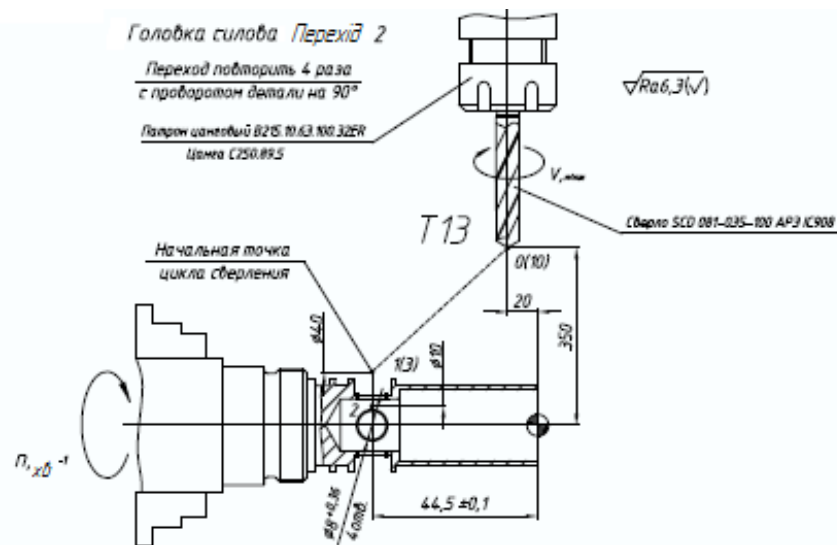
Шпиндель 1. Перехід 11



Головка силова Перехід 1



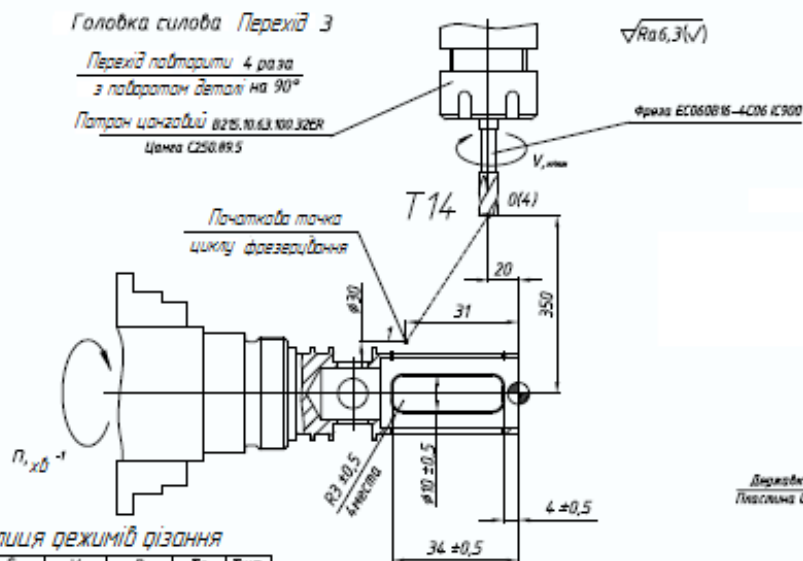
Головка силова Перехід 2

Перехід повторити 4 рази
з пробаротом деталі на 90°Патрон цанговий B215.10.63.100.32ER
Цанга C250.89.5

Таблиця режимів різання

t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	Tp, хв	Tшп, хв
4,0	0,2	14,46	575,6	48,34	55,14

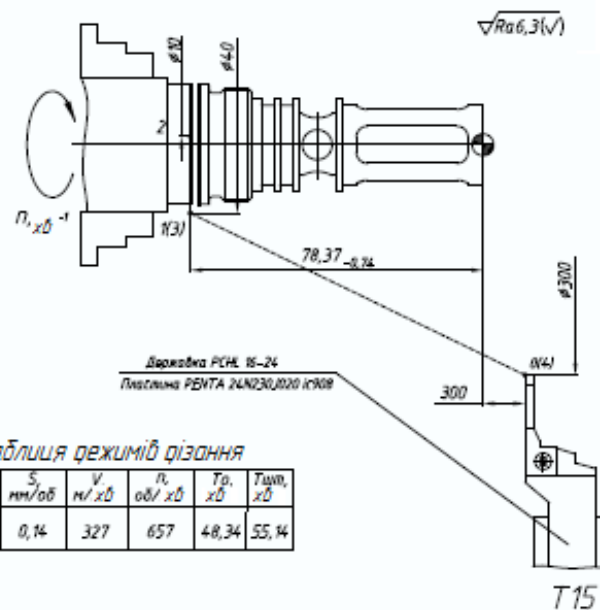
Головка силова Перехід 3

Перехід повторити 4 рази
з пробаротом деталі на 90°Патрон цанговий B215.10.63.100.32ER
Цанга C250.89.5

Таблиця режимів різання

t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	Tp, хв	Tшп, хв
6,0	0,05	116,6	6000	48,34	55,14

Шпиндель 1. Перехід 12

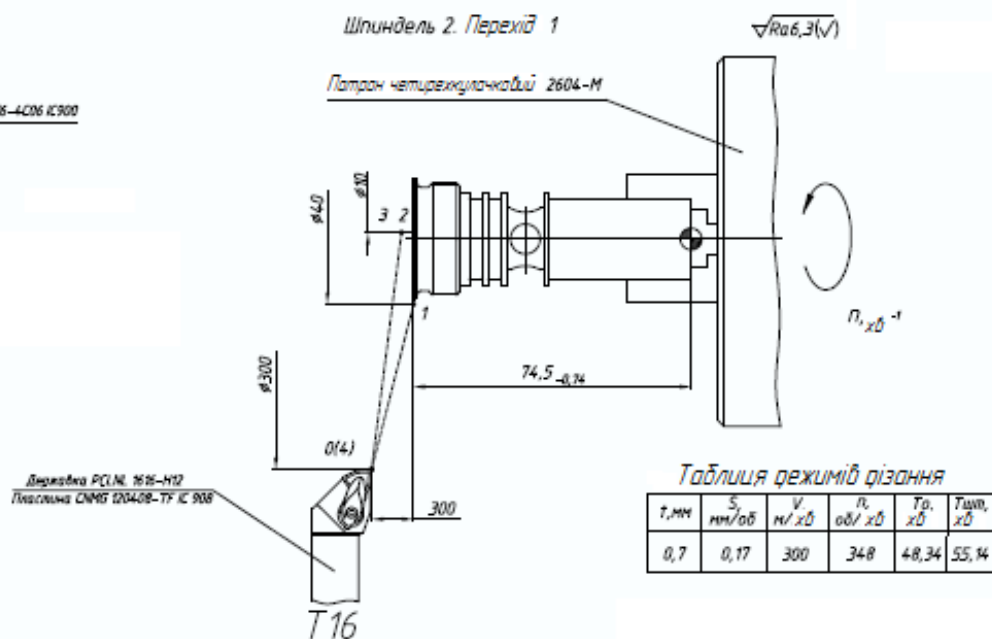


Таблиця режимів різання

t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	Tp, хв	Tшп, хв
3,0	0,14	327	657	48,34	55,14

Шпиндель 2. Перехід 1

Патрон чотирьохкутний 2604-M



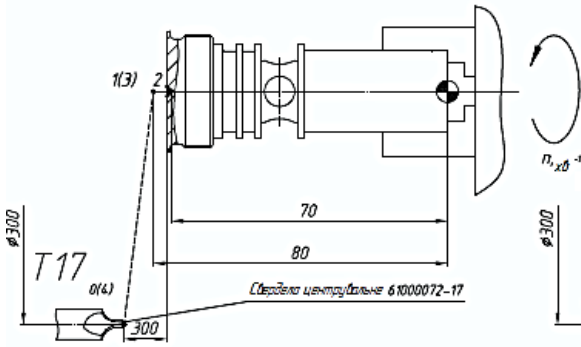
Таблиця режимів різання

t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	Tp, хв	Tшп, хв
0,7	0,17	300	348	48,34	55,14

Шпиндель 2. Перехід 2

Перехід

$\sqrt{Ra6,3(\sqrt)}$



$n, \text{хд}^{-1}$

$\phi 300$

0(4)

300

T18

300

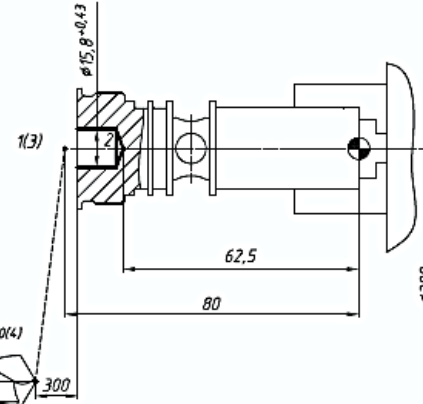
Державка DCN 190-057-25A-30
Свердло SCD 169-051-180 AP3 IC908

Таблиця режимів різання

f, мм	S, мм/об	V, м/хд	n, об/хд	To, хд	Tшт, хд
-	0,3	25,3	500	48,34	55,14

Шпиндель 2. Перехід 3

$\sqrt{Ra6,3(\sqrt)}$



$n, \text{хд}^{-1}$

$\phi 300$

0(4)

300

T19

300

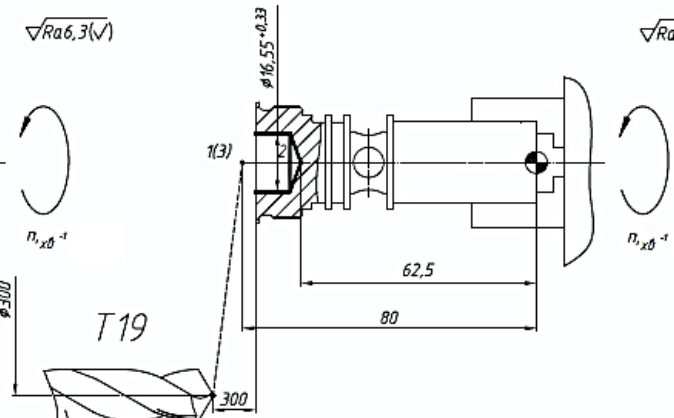
Державка DCN 190-057-25A-30
Свердло 102.0499-18

Таблиця режимів різання

f, мм	S, мм/об	V, м/хд	n, об/хд	To, хд	Tшт, хд
8,1	0,33	15,63	292,8	48,34	55,14

Шпиндель 2. Перехід 4

$\sqrt{Ra6,3(\sqrt)}$



$n, \text{хд}^{-1}$

$\phi 300$

0(4)

300

T19

300

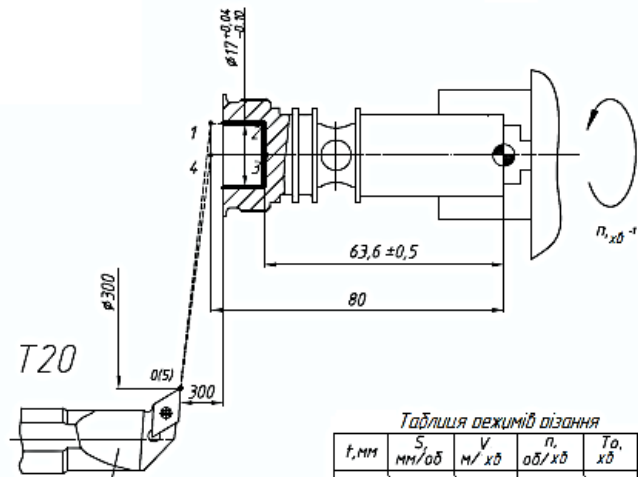
Таблиця режимів різання

f, мм	S, мм/об	V, м/хд	n, об/хд	To, хд	Tшт, хд
0,4	0,45	15,23	167,25	48,34	55,14

Шпиндель 2. Перехід 5

хд

$\sqrt{Ra1,25(\sqrt)}$



$n, \text{хд}^{-1}$

$\phi 300$

0(5)

300

T20

300

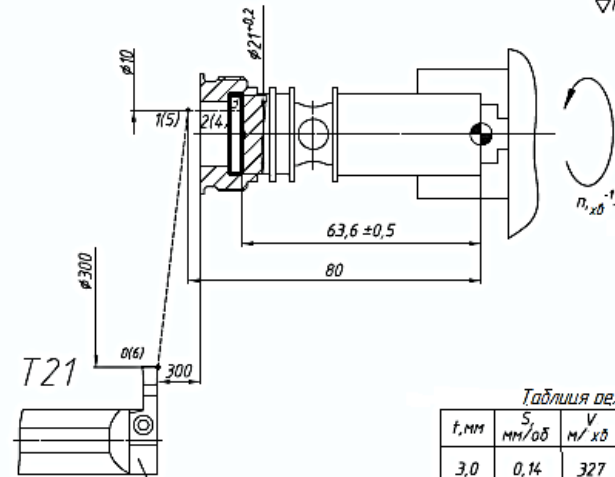
Таблиця режимів різання

f, мм	S, мм/об	V, м/хд	n, об/хд	To, хд	Tшт, хд
0,6	0,17	350	603	48,34	55,14

Державка E08K SCLCL-06
Пластина CCMT 060204-PF IC907

Шпиндель 2. Перехід 6

$\sqrt{Ra6,3(\sqrt)}$



$n, \text{хд}^{-1}$

$\phi 300$

0(6)

300

T21

300

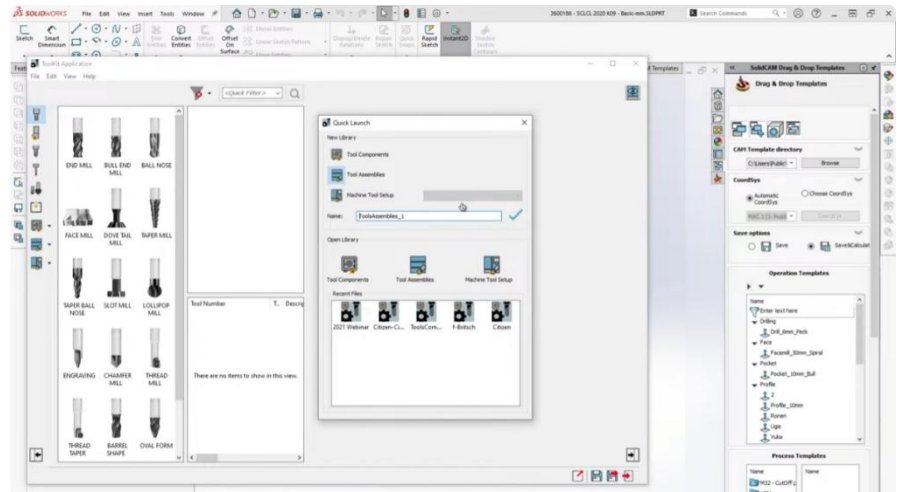
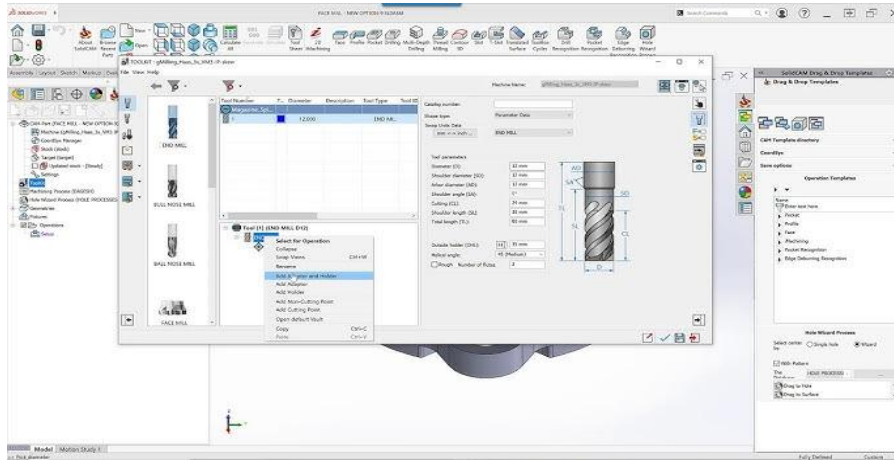
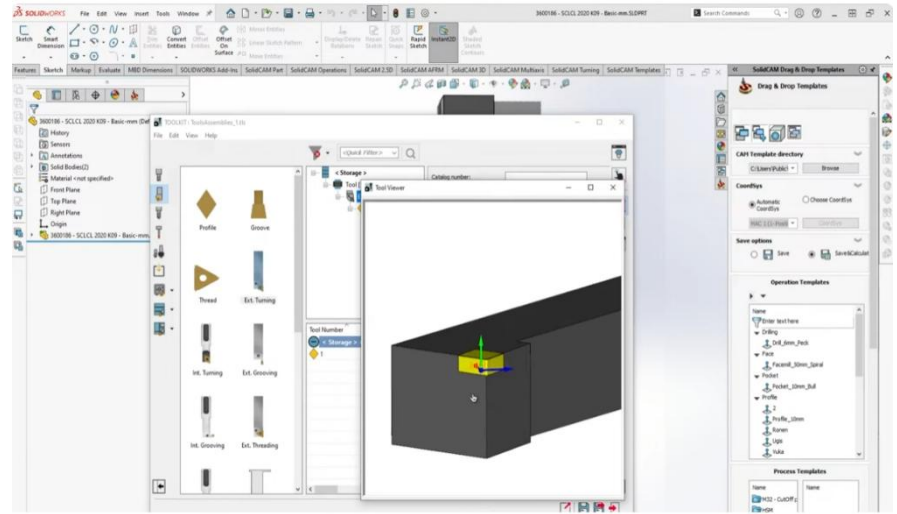
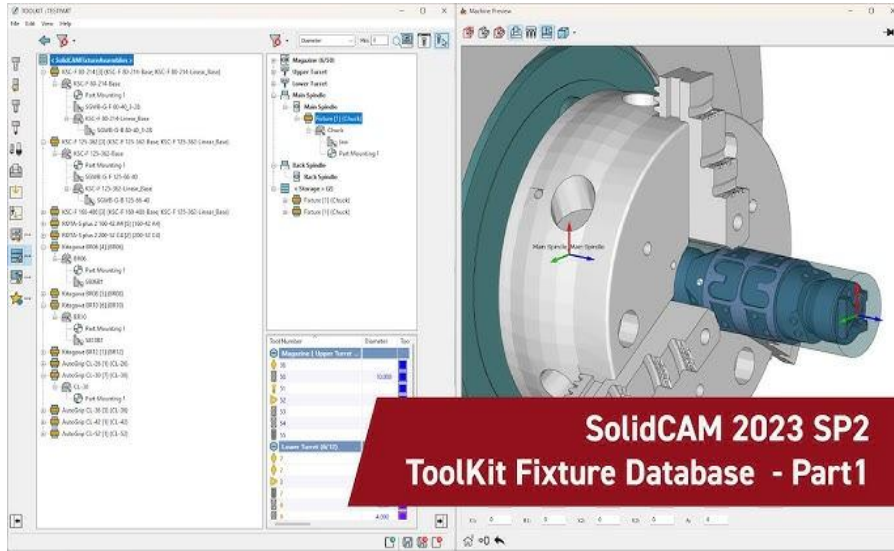
Таблиця режимів різання

f, мм	S, мм/об	V, м/хд	n, об/хд	To, хд	Tшт, хд
3,0	0,14	327	657	48,34	55,14

Державка PCHL 16-24
Пластина GOR 11-250-0.20

Вікно SolidCAM автоматизованого вибору інструменту з банку даних (ToolKit / TechDB)

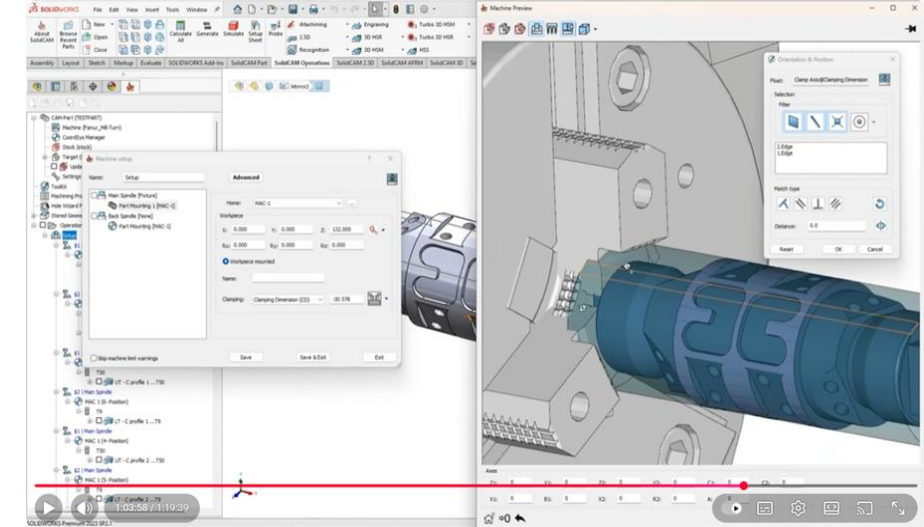
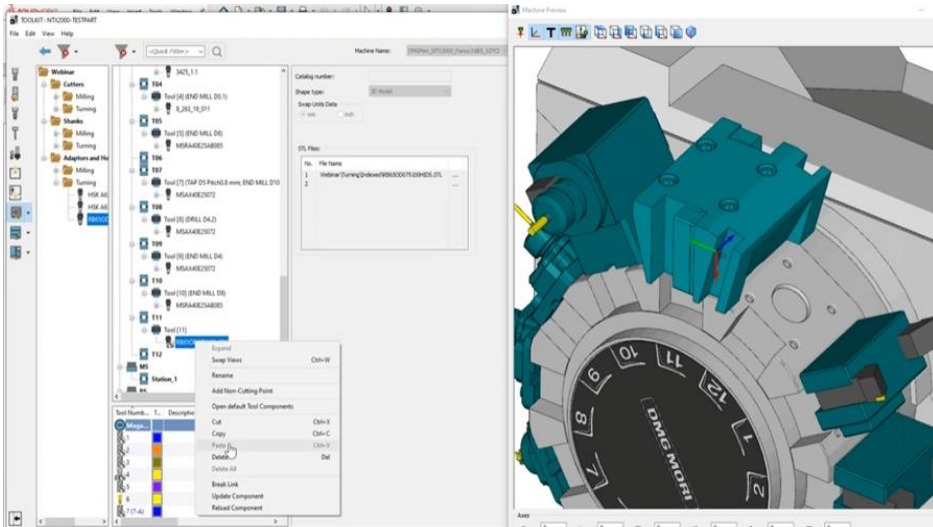
Банк інструментів



Симуляція обробки корпусу фільтра в SolidCAM

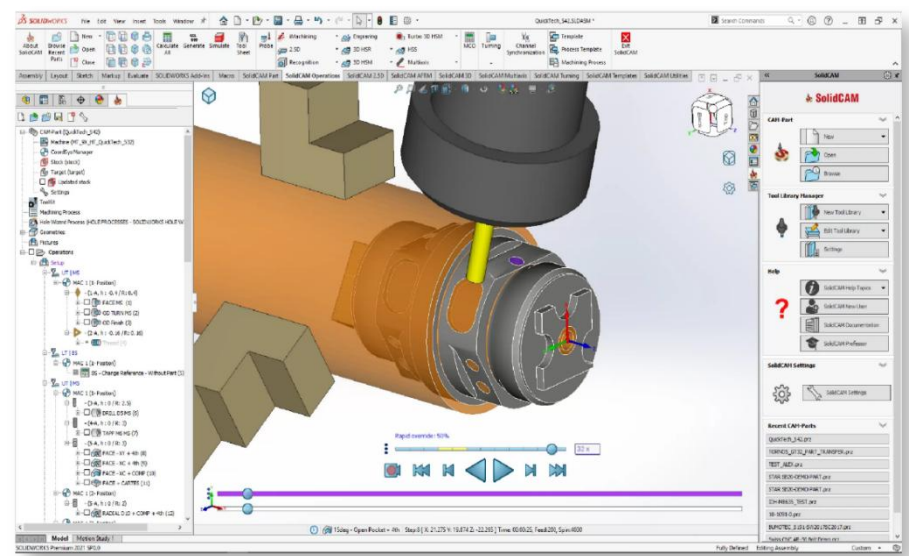
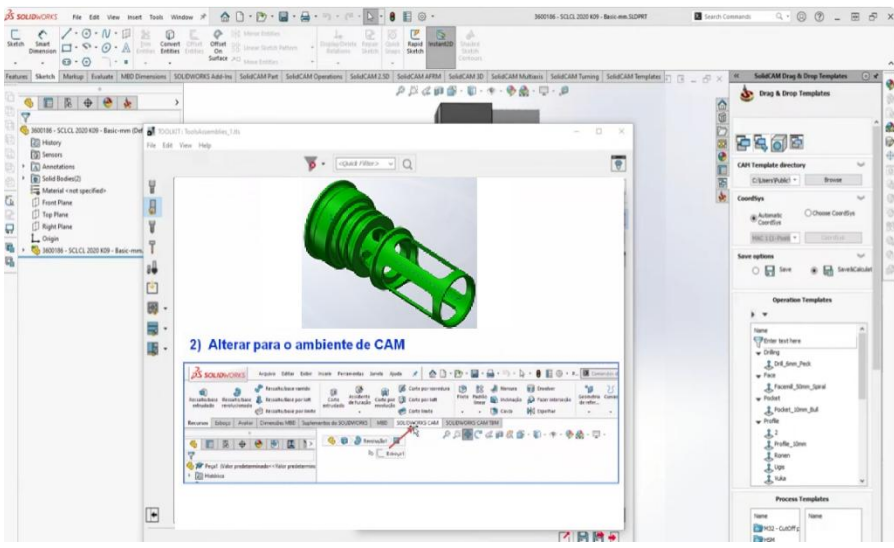
Револьверна головка на 8 інструментів

Установ 1 — токарна та свердлильна обробка

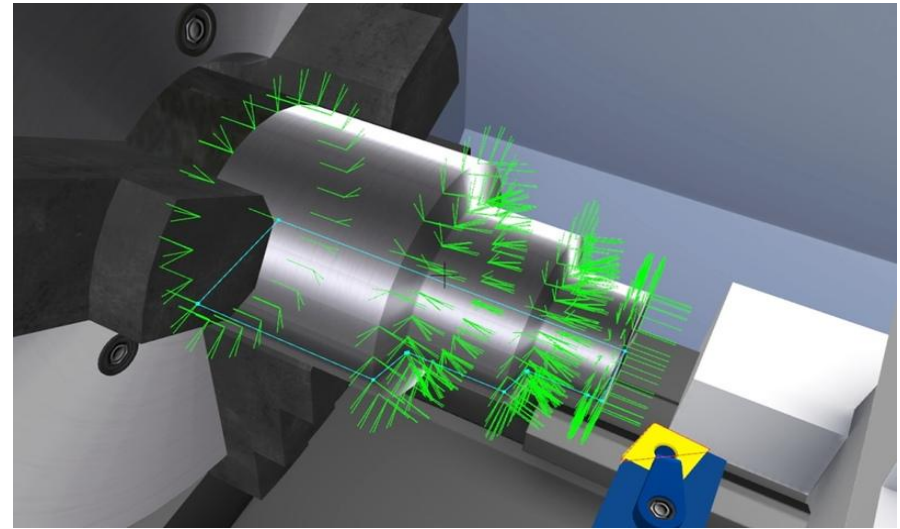
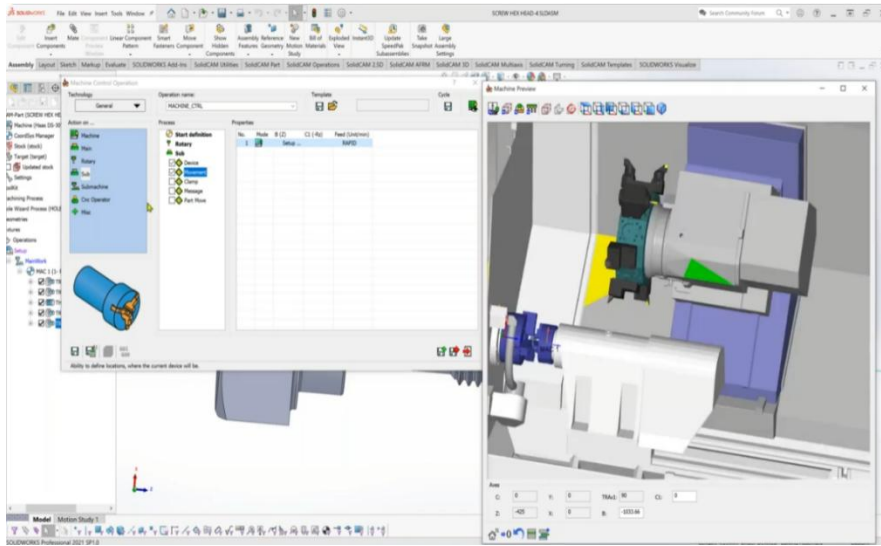


Імпорт 3D-моделі корпусу фільтра у SolidWorks

Установ 2 — токарна, фрезерна та свердлильна обробка

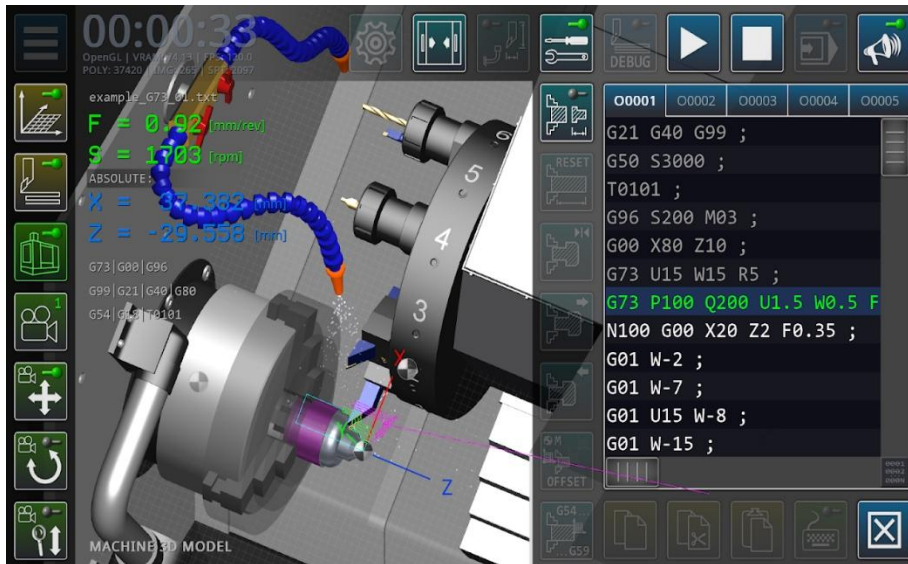


Запуск перевірки траєкторій у SolidVerify



Таблиці режимів різання

Перевірка програми у вікні G-code Editor.



Установ 1

№	Операція	Інструмент	Vc (м/хв)	f (мм/об)	ap (мм)	n (об/хв)	Примітка
1	Підрізання торця	CNMG120404	160	0,25	1,5	1200	Чорнова
2	Чорнове точіння Ø65→Ø50	CNMG120408	170	0,3	2,5	1250	Відбір припуску
3	Свердління Ø12	HSS-Co Ø12	80	0,12	—	2100	Попереднє
4	Розточування Ø25	CCMT060204	130	0,15	1,0	1850	Чистова
5	Зенкування фаски	Ø25×90°	60	0,08	—	1200	Зняття фаски

Установ 2

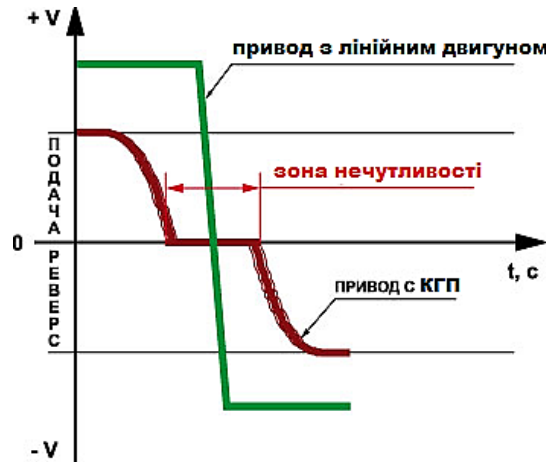
№	Операція	Інструмент	Vc (м/хв)	f (мм/об)	ap (мм)	ae (мм)	n (об/хв)	Примітка
1	Розточування Ø40	CCMT09T304	120	0,12	1,5	—	1900	IT8
2	Фрезерування площини	Торцева Ø25	140	0,08	1,0	4,0	2800	Приводний інструмент
3	Фрезерування отворів Ø8	Свердло-фреза Ø8	110	0,06	0,8	2,0	3400	Позиційне
4	Нарізання різьби M24×1,5	16ER1,5ISO	60	—	—	—	800	Зворотне обертання
5	Фрезерування паза Ø10	Кінцева фреза Ø10	130	0,05	0,5	2,0	3100	Шпонковий паз
6	Чистове точіння Ø48	DCMT070204	150	0,15	0,5	—	1350	Ra 1,6

Загальний вигляд електроерозійного Верстата Sodick AQ35L

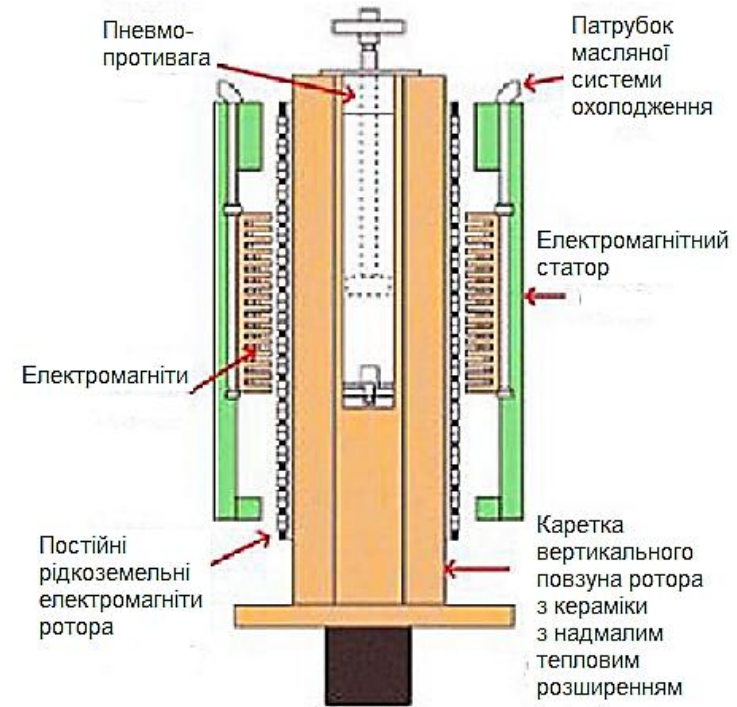


Верстат Sodick AQ35L є сучасним компактним малощумним високопродуктивним механізмом. Числове програмне керування у поєднанні з сучасною механічною частиною дає нанометричну точність і високу продуктивність при високій якості обробленої поверхні і простоті обслуговування. Важливою особливістю даного верстата є застосовані в ньому технічні нововведення, такі як керамічна робоча зона і лінійний сервопривід.

Динамічна характеристика лінійного приводу і приводу з КГП



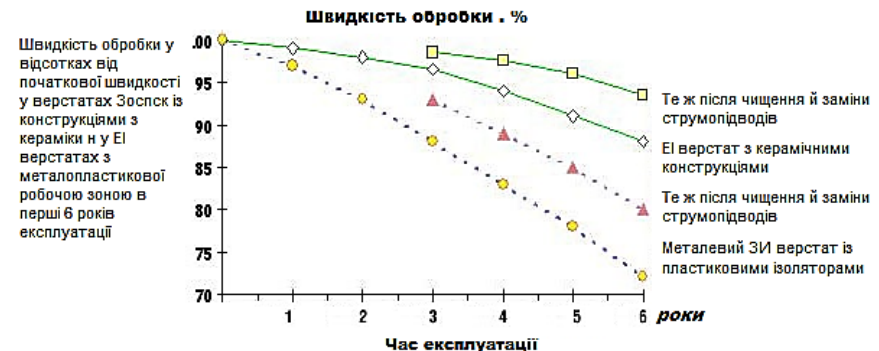
Особливості конструкції лінійного приводу



Технічні характеристики верстата Sodick AQ35L

Показник	Значення
Привод	Лінійні сервоприводи
Ходи по X/Y/Z, мм	350/250/250/
Розміри стола, мм	600×400
Рівень діелектрика в робочій ванні, мм	100-300
Внутрішні розміри ванни, мм	790×550×320
Максимальна вага деталі, кг	550
Максимальна вага електрода, кг	50
Дискретність кута	2 варіанта: 0,001 (3,6") або 0,0005 (1,8")
Шпindelь обертання, про/хв	2 варіанта: 0÷30 або 0÷2000
Точність позиціонування, мкм	2
Точність обробки, мкм	±2,5
Одночасне керування	4 або 8 осей
Фактична дискретність приводів	Осі X,Y,Z = 0,1мм (фізичний крок подачі) Осі C, A, W = 0,001 (3,6")
Оптичні лінійки	Оптичні лінійки Heidenhein з дозволом 10 нм = 0,01мкм
Комп'ютерний ЧПК-Генератор	LN2, LP2 або LP20
Максимальний середній струм генератора, А	40
Обсяг бака діелектрика, л	285
Тиск стисненого повітря, МПа	0,65

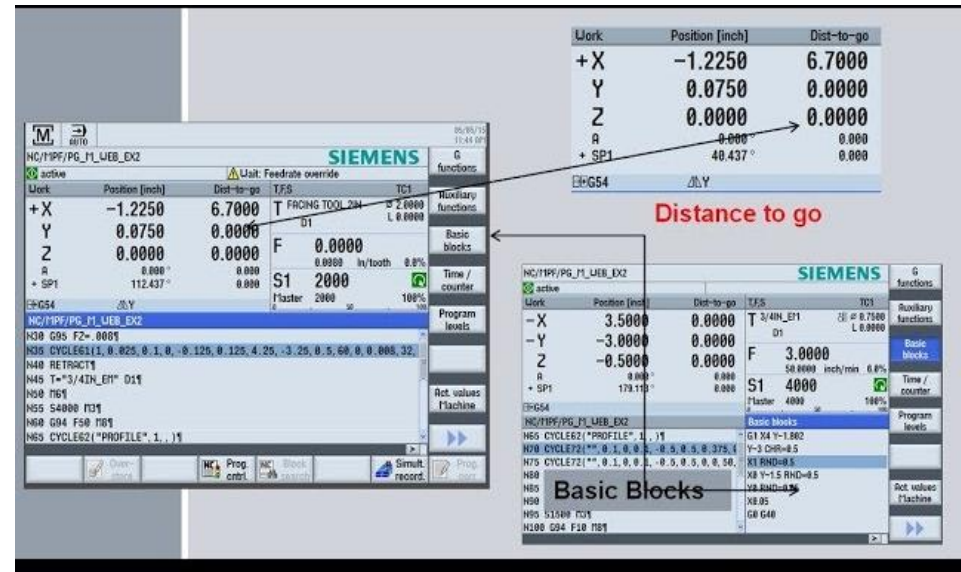
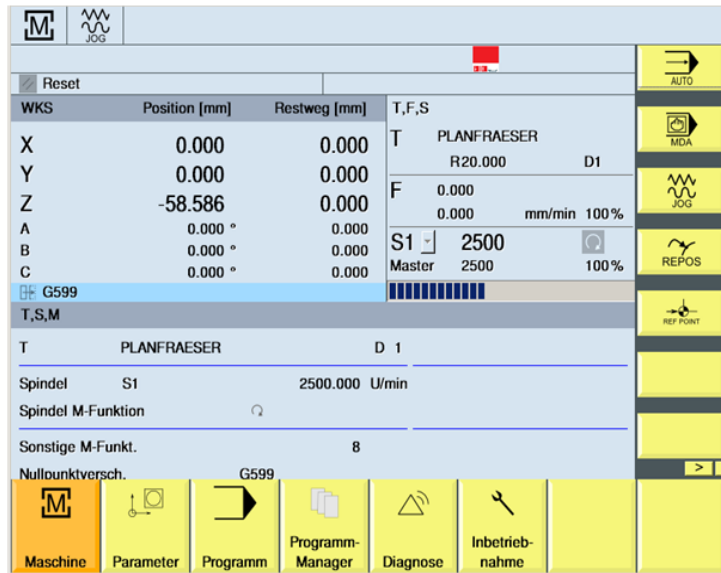
Падіння швидкості обробки з плином часу залежно від матеріалу робочої зони



ДОСЛІДЖЕННЯ СПРЯМОВАНЕ НА УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ 12

Аналіз отриманих результатів показує, що для подальших наукових досліджень доцільно звернути увагу на вплив швидкості різання та подачі при механічній обробці $\varnothing 25f7$, яка є найбільш точною для зазначеної операції. Основною метою віртуального експерименту стане встановлення залежностей між режимами різання, рекомендованими програмою Sandvik Tool Guide, та такими параметрами, як шорсткість обробленої поверхні, стійкість різального інструменту, температура різання і тангенціальна складова сили різання.

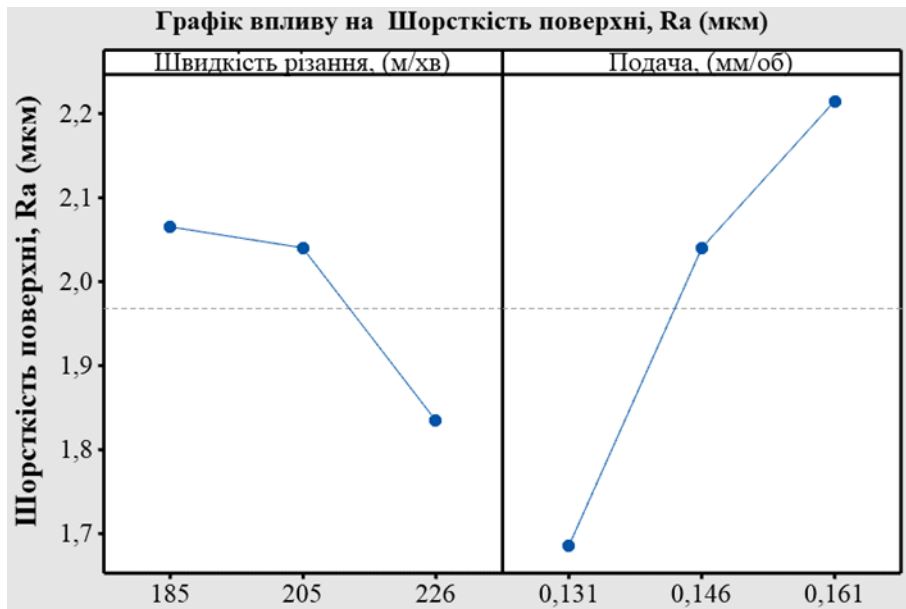
Стартове вікно програми "SINUMERIK"



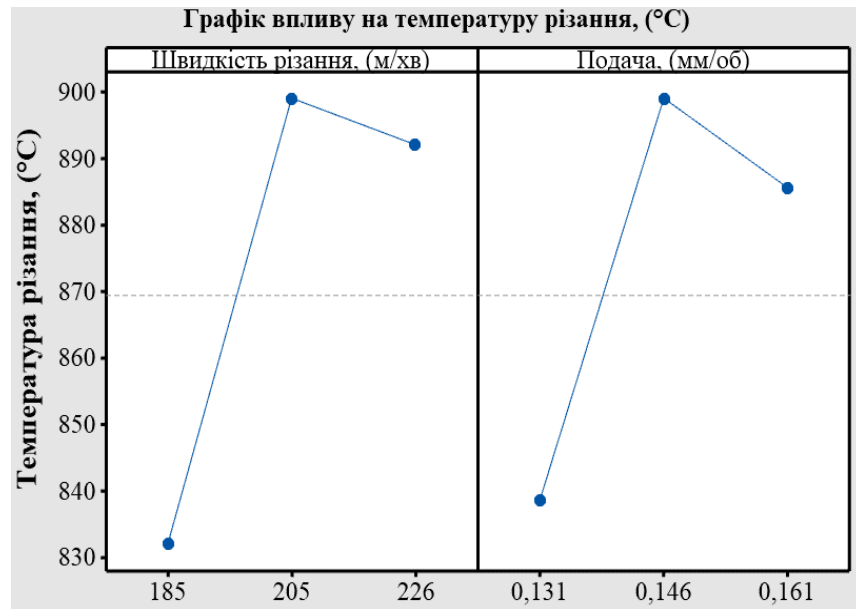
Результати експерименту

№ досліду	Швидкість різання, (м/хв)	Подача, (мм/об)	Температура різання, (°C)	Шорсткість поверхні, Ra (мкм)	Стойкість інструменту, (хв)	Тангенціальна складова сили різання, (Н)
1	226	0,161	923	2,08	1609	39
2	226	0,131	861	1,59	1955	33
3	185	0,161	848	2,35	1921	41
4	185	0,131	816	1,78	2300	34
5	205	0,146	899	2,04	1923	36

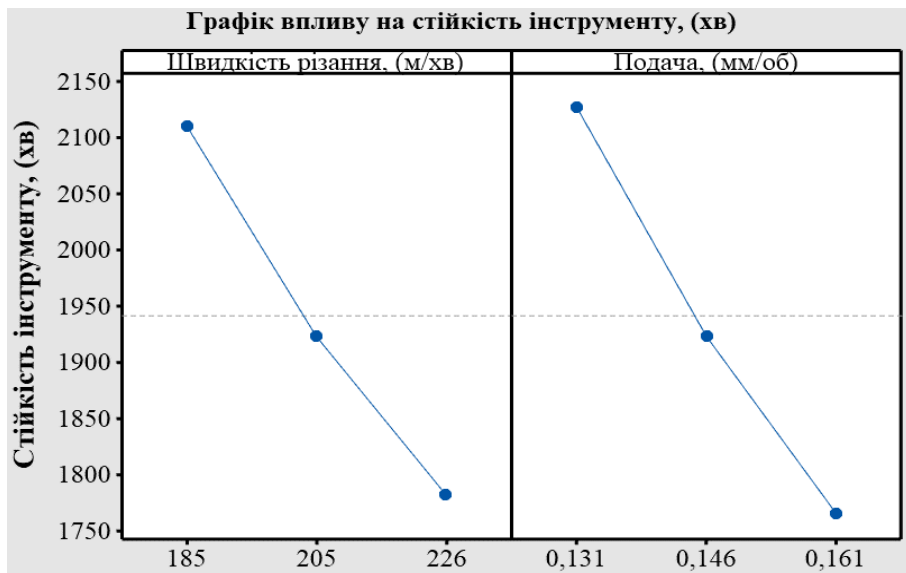
Вплив режимів різання на шорсткість поверхні



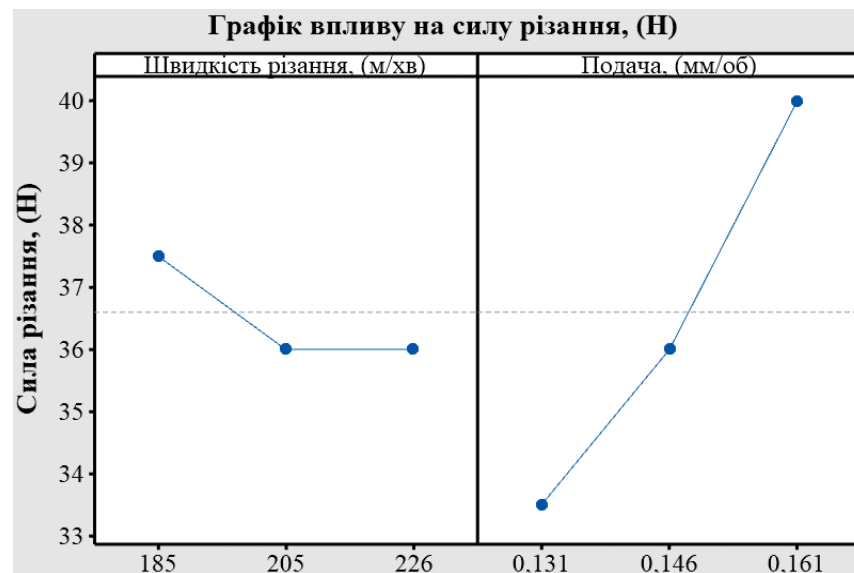
Вплив режимів різання на температуру різання



Вплив режимів обробки на стійкість інструменту



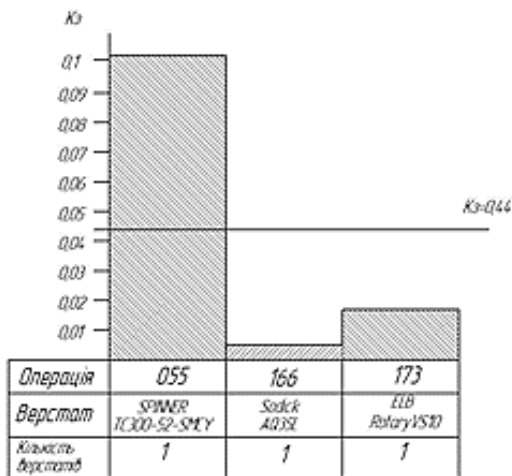
Вплив режимів обробки на тангенціальну складову сили різання



Розрахунок кількості обладнання і коефіцієнт завантаження обладнання

№ операції	Найменування операції	$t_{опт}, хв$	$n_p, шт$	$n_{гр}, шт$	η
055	Комплексна	55,14	0,11	1	0,11
166	Електровразійна	2,36	0,005	1	0,005
173	Полірувальна	8,2	0,017	1	0,017

Діаграма завантаження обладнання



Калькуляція на деталь "корпус фільтра"

Найменування статей	Сума, грн	Розрахунки
1	2	3
1) Витрати на матеріали	218,3	$3m=Mm \cdot Цм \cdot Мо \cdot Цо$
2) Витрати на транспортування	4,36	2% від п.1
3) Основна ЗП виробничих робітників	4,6	$3пл.р=C_{3p} \cdot K_{тп} \cdot (t_{опт} / 60)$
4) Додаткова ЗП	0,55	12% від п.3
5) Відрахування на соціальне страхування	3,24	37% від (п.3+п.4)
6) Відрахування до фонду соціального захисту	0,1	2% від (п.3+п.4)
7) Видатки на утримання встаткування	4,6	100% від п.3
8) Цехові витрати	3,22	70% від п.3
9) Повна цехова собівартість	238,97	$п.1+n.2.п.3+n.4+n.5+n.6+n.7+n.8$
10) Загальнозаводські видатки	1,84	60% від п.3
11) Разом виробничі собівартість	240,81	$п.9+n.10$
12) Невиробничі видатки	4,81	2% від п.11
13) Разом повна собівартість	245,62	$п.11+n.12$
14) Прибуток	49,12	20% від п.13
15) Разом оптова ціна	294,74	$п.13+n.14$
16) Податок на додаткову вартість	58,94	20% від п.15
17) Відпускна ціна	353,68	$п.15+n.16$

Ефективність впровадження сучасного обладнання

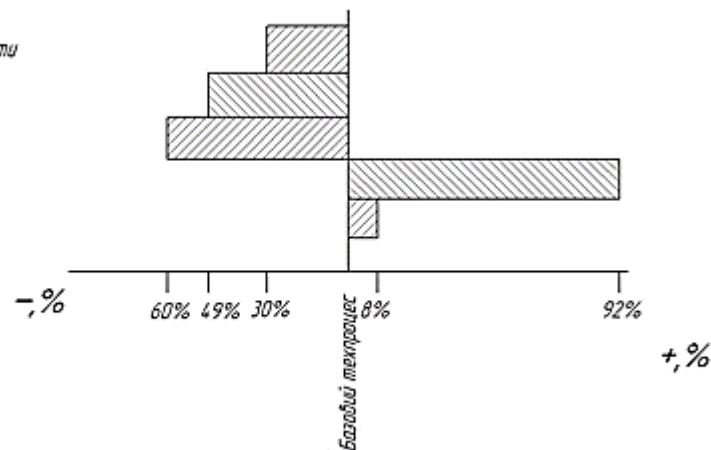
Капітальні витрати

Штучний час

Собівартість

Продуктивність

Рентабельність



Річний економічний ефект, отриманий від зниження собівартості деталі "корпус фільтра" складає 160857,49 грн

Розрахунок капітальних витрат на виготовлення деталі "корпус фільтра"

Найменування	Варіант	
	Базовий	$K_{пл} = \frac{Ц_{опт}}{Ц_{баз}} \cdot S_{займ}$
Капітальні вкладення в устаткування	$K_{об} = Ц_{об} \cdot K_m \cdot n_o$ Де K_m —коефіцієнт, що враховує видатки на транспортування й монтаж устаткування, рівний 1,1; n_o —кількість верстатів для викон. даної операції; $Ц_{об}$ —Оптова ціна верстата.	
	$K_{об} = 205000 \cdot 1,1 \cdot 8 = 1804000$	$K_{об} = 420000 \cdot 1,1 \cdot 3 = 1386000$
Капітальні вкладення у виробничу площу	$Ц_{пл}$ —ціна 1 м ² виробничої площі; S —площа, займана обладнанням, м ² ; γ —коефіцієнт, що враховує додаткову площу, $\gamma=4,5-5$	
	$K_{пл} = 1230 \cdot 88 \cdot 4,5 = 487080$	$K_{пл} = 1230 \cdot 32,81 \cdot 4,5 = 181603,35$
Витрати на оснащення	10 % від вартості встаткування	
	$З_{осн} = 20500$	$З_{осн} = 42000$
Капітальні витрати	$K_1 = 2311580$	$K_2 = 1608603,35$

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Проведені роботи з удосконалювання базового технологічного процесу виготовлення деталі «корпус фільтра», шляхом концентрації операцій за рахунок застосування сучасного встаткування, показали перспективність обраного підходу. Результатом роботи з'явилася розробка нового технологічного процесу виготовлення деталі «корпус фільтра» ГП 21.971.

2. Виконаний аналіз можливих технологій виробництва корпусу фільтра і сформульована стратегія вдосконалювання базового процесу виготовлення деталей.

3. Виконаний розрахунок технологічних режимів обробки і зроблений вибір устаткування, за рахунок якого ріст продуктивності праці склав 92,86%, собівартість знизилася на 60,04%.

4. Розроблений комплект конструкторсько-технічної документації для нового типового технологічного процесу виготовлення деталі «корпус фільтра».

5. Проведений економічний аналіз розробленого технологічного процесу виготовлення деталей. Це дозволило зробити вивід про те, що введення нового обладнання є дуже вигідним.

6. Виконано планування експерименту та реалізовано віртуальний експеримент за методикою повнофакторного експерименту 2^2 , що дозволило виконати п'ять дослідів.

У результаті виконання віртуального експерименту та обробки експериментальних даних за допомогою дисперсійного аналізу, було визначено, що для токарної обробки зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 25f7$ раціонально призначити швидкість різання 226 м/хв та подачу 0,131 мм/об при глибині різання 0,25 мм, що відрізняється від запропонованих програмою Tool Guide швидкості різання 205 м/хв та подачу 0,141 мм/об.

Визначені у ході віртуального експерименту режими різання дозволяють забезпечити шорсткість обробки Ra 1,6 мкм.

7. У ході виконання методичної частини випускної кваліфікаційної роботи було розроблено та теоретично обґрунтовано дидактичний проект професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі. У межах цього проекту визначено ефективні методи та педагогічні умови опанування технологій оптимізації підготовки виробництва корпусних деталей із застосуванням сучасних токарно-фрезерних обробних центрів. Запропонований дидактичний підхід забезпечує підвищення точності, продуктивності та стабільності виготовлення корпусу фільтра генератора моделі ГП21, що підтверджує його практичну значущість і придатність до впровадження у систему професійної підготовки майбутніх машинобудівників.