

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 дослідження
продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180

ПМФ4

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДІТ-ПОМ24мг
спеціальності: A5.34 Професійна освіта
(Машинобудування)

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

_____ / Микола СОСНОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

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

Рецензент _____ / Наталія АНТОНЕНКО
(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)

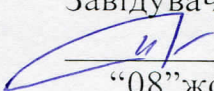
Секретар ЕК _____ / Валентина СКОРКІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

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 A5.34 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) Миколі СОСНОВСЬКОМУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ ІРТ180.

затверджена наказом затверджена наказом 4801-5/3664 від 06.10.2025 р.

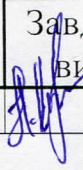
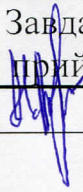
2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи “ 9 ” грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Креслення деталі, 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): Конструкторсько-технологічний аналіз системи виготовлення деталі «вал» на оброблювальних центрах в умовах дрібносерійного виробництва. Розробка групового технологічного процесу одержання деталі «вал». Розробка керуючої програми виготовлення деталі «вал» на оброблювальному центрі ІРТ180ПМФ4. Розробка технологічного оснащення процесу виготовлення деталі «вал». Функціональне моделювання системи виготовлення деталі «вал». Розробка імітаційної моделі ГВМ ІРТ180ПМФ4. Дослідження функціональних характеристик ГВМ ІРТ180ПМФ4 при обробці деталі «вал». Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки

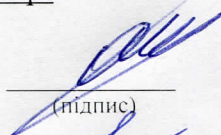
5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів: 1. Аналіз проблем. 2. Постановка задач дослідження. 3. Загальний вигляд спеціального токарно-багатоцільового патронного напівавтомата ІРТ180ПМФ4 4. Розробка технологічного процесу. 5. Вибір різального інструменту та визначення режимів різання. 6. Автоматизована розробка керуючої програми оброблювальним центром ІРТ180ПМФ4. 7. Організаційно-технічне компонування ГВМ на базі верстата ІРТ180ПМФ4. 8. Розробка організаційно-технологічної структури системи виготовлення деталі «Вал» на ГВМ ІРТ180ПМФ4. 9. Аналіз точності і податливості основних вузлів верстата. 10. Загальні висновки.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Корольова Н.В.			

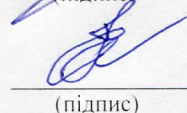
7. Дата видачі завдання «09» жовтня 2025 р.

Керівник


 (підпис)

Олег КОНДРАТЮК
 (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

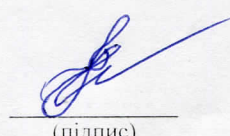

 (підпис)

Микола СОСНОВСЬКИЙ
 (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи

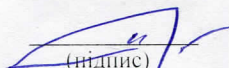
№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.		
2.	Складання плану роботи. Підбор літератури й інших джерел		
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)

Микола СОСНОВСЬКИЙ
 (ім'я, прізвище)

Нормоконтроль


 (підпис)

Олег ПОДОЛЯК
 (ім'я, прізвище)

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ВПД – верстат-пристосування-інструмент-деталь.

ГВМ – гнучкий виробничий модуль;

ГПМ – гнучкий виробничий модуль/потік;

ГВС – гнучка виробнича система;

год. – години;

ГТП – груповий технологічний процес;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ЗОР – змащуючи-охолоджувальна рідина;

ЗОТЗ – змащувально-охолоджуючі технологічні засоби;

ЗОТС – змащувально-охолоджуюча технологічна среда;

ЗП – захватний пристрій;

М – маніпулятор;

мм – міліметр;

об – оберти;

од. – одиниці;

п/п – по порядку;

ПР – промисловий робот;

рис. – рисунок;

табл. – таблиця;

ТП – технологічний процес;

ТПВ – технологічна підготовка виробництва;

хв. – хвилина;

ЧПК – числове програмне керування;

РЕФЕРАТ

Дана робота розглядає питання, які пов'язані з проектуванням імітаційної моделі обробки деталі типу «Вал» на ГВМ IPT180ПМФ4 в умовах дрібносерійного виробництва.

Проведений конструкторсько-технологічний аналіз системи виготовлення деталі «Вал» на оброблювальних центрах в умовах дрібносерійного виробництва. Розроблений груповий технологічний процес одержання деталі «Вал». Розроблена керуюча програма виготовлення деталі «Вал».

Виконаний аналіз технологічного оснащення процесу виготовлення деталі «Вал» та розраховані режими різання у програмному пакеті CoroGuide 2007.1. Також розроблена функціональна модель ГВМ IPT180ПМФ4 у програмному пакеті Solid Works та створена імітаційна модель обробки деталі «Вал» на ГВМ IPT180ПМФ4 за допомогою програми 3D GPM.

Виконаний аналіз технологічних характеристик ГВМ IPT180ПМФ4 у системі COSMOS Works.

Розроблено дидактичний проєкт факультативного заняття на тему «Дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180 ПМФ4», що дозволяє комплексно поєднати теоретичні знання та практичні навички студентів, спрямовані на підвищення професійної компетентності в умовах сучасного машинобудівного виробництва. Такий підхід забезпечує ефективне засвоєння навчального матеріалу, формує вміння аналізувати технологічні процеси, оцінювати продуктивність та надійність обробки валів, а також застосовувати цифрові технології для оптимізації режимів різання.

Ключові слова: ВИРОБНИЦТВО, ЖОРСТКІСТЬ, МОДЕЛЮВАННЯ, СПЕЦІАЛЬНИЙ ТОКАРНО-БАГАТОЦІЛЬОВИЙ ПАТРОННИЙ НАПІВАВТОМАТ, ПРОМИСЛОВИЙ РОБОТ, ТАКТОВИЙ СТІЛ-НАКОПИЧУВАЧ, ІМІТАЦІЯ, ПРОГРАМУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ.

ABSTRACT

The given diploma project examines questions which are related to planning of simulation model of treatment of detail of type «Val» on GPM IRT180PMF4 in the conditions of finely serial production.

The designer-technological analysis of the system of making of the detail «Bilow» on processing centers in the conditions of finely serial production is conducted. The group technological process of making of the detail «Bilow» is developed. The control program of making of the detail «Bilow» is developed.

The analysis of the technological rigging of process of making of the detail «Bilow» is executed and the modes of cutting in the program package COROGUIDE 2007.1 are expected. The functional model GPM IRT180PMF4 is also developed in the program package Solid Works and the simulation model of treatment of the detail «Bilow» is created on GPM IRT180PMF4 by the program 3D GPM.

The analysis of the technological descriptions GPM IRT180PMF4 in the COSMOS Works system is also executed.

A didactic project for an optional lesson on the topic "Research on the productivity and reliability of machining of "Shaft" type parts on the IRT180 PMF4 GPM" has been developed, which allows for a comprehensive combination of theoretical knowledge and practical skills of students aimed at improving professional competence in the conditions of modern machine-building production. This approach ensures effective mastery of educational material, forms the ability to analyze technological processes, assess the productivity and reliability of shaft machining, and apply digital technologies to optimize cutting modes.

Keywords: PRODUCTION, INFLEXIBILITY, DESIGN, LATHE A LOT OF HAVING A SPECIAL PURPOSE CARTRIDGE SEMI-AUTOMATIC DEVICE, INDUSTRIAL ROBOT, TIME TABLE-STORE, IMITATION, PROGRAMING, PLANNING.

ЗМІСТ

Перелік позначень і скорочень	4
ВСТУП.....	11
1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦЯ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ З ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ВАЛ» НА ГПМ IPT180 ПМФ4	15
1.1 Потреба у висококваліфікованих фахівцях для роботи з ГВМ IPT180 ПМФ4	18
1.2 Значення дослідження продуктивності та надійності обробки валів на сучасних виробничих комплексах	22
1.3 Вимоги до професійної підготовки фахівців у контексті сучасних технологій обробки	25
1.4 Проблеми та суперечності сучасної системи професійної підготовки	28
1.5 Практична значущість оновлення професійної підготовки фахівців	31
1.6 Висновки	34
2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ» НА ОБРОБЛЮВАЛЬНИХ ЦЕНТРАХ В УМОВАХ ДРІБНОСЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ..	36
2.1 Аналіз ефективності обробки деталі типу «Вал» на оброблювальних центрах в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва	36
2.2 Аналіз технологічності виготовлення деталі «Вал» на оброблювальних центрах	41
2.3 Мета і задачі технологічної частини випускної роботи	49
3. РОЗРОБКА ГРУПОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ»	51
3.1 Аналіз видів технологічної підготовки виробництва при обробці виробу на оброблювальних центрах в умовах дрібносерійного	

виробництва	51
3.2 Розробка групового маршруту виготовлення деталі «Вал» у системі SolidCAM	54
3.3 Розробка групових технологічних операцій отримання деталі «Вал» у системі SolidCAM	58
3.4 Розрахунок технологічних розмірних ланцюгів тримання деталі «Вал»	63
3.5 Визначення припусків на операціях виготовлення деталі «Вал» на оброблювальному центрі IPT180ПМФ4	66
3.6 Вибір різального інструменту та визначення режимів різання в програмі CoroGuide при виготовленні деталі «Вал» на оброблювальному центрі IPT180ПМФ4	69
3.7 Висновки	85
4. РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ» НА ОБРОБЛЮВАЛЬНОМУ ЦЕНРТІ IPT180ПМФ4	86
4.1 Розробка циклограми виготовлення деталі «Вал» на оброблювальному центрі IPT180ПМФ4	86
4.2 Автоматизована розробка керуючої програми оброблювальним центром IPT180ПМФ4 у системі SolidCAM для виготовлення деталі «Вал»	88
4.3 Висновки	90
5. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ»	91
5.1 Конструкторсько-технологічний аналіз оснащення, яке використовується при обробці на верстатах із ЧПК	91
5.2 Розробка конструкції загарбного пристрою маніпулятора для переміщення виробу «Вал» у робочій зоні оброблювального центра IPT180ПМФ4	94
5.3 Вибір допоміжного інструмента для виготовлення деталі «Вал» на оброблювальному центрі IPT180ПМФ4	96
5.4 Висновки	102

6.	ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ»	103
6.1	Розробка організаційно-технологічної структури системи виготовлення деталі «Вал» на ГВМ IPT180ПМФ4	103
6.2	Розробка функціональної моделі спеціального токарно-багатоцільового патронного напівавтомату IPT180ПМФ4	107
6.3	Розробка функціональної моделі накопичувача для деталей типу «Вал»	114
6.4	Розробка функціональної моделі маніпулятора для транспортування виробу «Вал» у зоні обробки й складування оброблювального центра IPT180ПМФ4	115
6.5	Розробка функціональної моделі ГВМ IPT180ПМФ4	120
6.6	Висновки	135
7.	РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ГВМ IPT180ПМФ4	136
7.1	Розробка імітаційної моделі обробки деталі типу «Вал» на ГВМ IPT180ПМФ4	136
7.2	Нормування процесу обробки виробу «Вал» на оброблювальному центрі IPT180ПМФ4	138
7.3	Висновки	140
8.	ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГВМ IPT180ПМФ4 ПРИ ОБРОБЦІ ДЕТАЛІ «ВАЛ»	141
8.1	Аналіз технологічних характеристик ГВМ IPT180ПМФ4	141
8.2	Аналіз точності і податливості основних вузлів верстата	144
8.3	Висновки	149
9.	РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ «ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ І ПРОДУКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ВАЛ» НА ГВМ IPT180 ПМФ4»	150
9.1	Постановка цілей факультативного заняття з теми	150
9.2	Перелік літературних джерел з теми	151
9.3	Конструювання дидактичних матеріалів	151

9.4	Аналіз базових умов навчання з теми	153
9.5	Проектування мотиваційних технологій навчання	155
9.6	Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті	156
9.7	Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті	157
9.8	Проектування контрольних дій	159
9.9	Розробка сценарію факультативного заняття з теми	159
9.10	Висновки до методичного розділу роботи	161
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	163
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	166
	ДОДАТКИ	171
А	Додаток А (Документація - Технологічний процес обробки деталі «Вал»)	172
Б	Додаток Б (Звіт розрахунку технологічного процесу у програмі SolidCAM)	181
В	Додаток В (Результати розрахунків режимів різання у програмному забезпеченні CoroGuide)	186
Д	Додаток Д (Управляюча програма обробки деталі у програмному забезпеченні SolidCAM)	187
Е	Додаток Е (Аналіз напружень шпиндельного вузла у програмі COSMOS)	192
Е1	Додаток Е1 (Аналіз напружень деталі «Вал» у програмі COSMOS)	196
Ж	Додаток Ж (Презентація)	200

ВСТУП

Особливістю сучасного ринку є те, що товар може бути конкурентноздатним протягом 2-3 років. Високий рівень конкуренції змушує виробника створювати виробництва здатні поставляти на ринок продукцію високої якості й у необхідній кількості. При цьому повинні строго дотримуватися строки поставок продукції споживачеві. Причому ці поставки повинні бути зроблені до того моменту, поки ринкові ніші не зайняли інші виробники.

Якість продукції й своєчасність поставки споживачеві визначається в першу чергу високим рівнем технології виробництва й устаткування. Таким вимогам задовольняють гнучкі виробничі системи. Основу ГВС становить гнучкий виробничий модуль. Сучасний ГВМ може обробляти до 100 різних типів деталей, причому час його переналагодження на випуск нових деталей становить порядку 30 хв.. У той час як переналагоджувані автоматичні лінії із твердими зв'язками дозволяють обробляти до 10 виробів. Причому тривалість їхнього переналагодження на випуск нових виробів становить 2-3 зміни. Особливістю ГВМ є можливість його роботи в автономному режимі цілу зміну. Це забезпечується за рахунок, повної автоматизації робочих рухів, завантаження й розвантаження заготовок, зміни й закріплення інструмента, автоматичного контролю ходу технологічного процесу. При цьому він може легко вбудовуватися в автоматичну лінію, утворюючи при цьому ГВС. Характерно, що зі збільшенням рівня автоматизації собівартість продукції зменшується [34].

Для успішної роботи ГВС необхідно, насамперед, гарне кадрове забезпечення. Наприклад, Японія випускає фахівців з електроніки в 4 рази більше ніж Великобританія, що є не маловажливим фактором у кадровому забезпеченні.

З початку вісімдесятих років ми почали готувати фахівців з технології роботизованого виробництва, а до кінця вісімдесятих років згорнули цей напрямок. Причиною цьому послужили помилки в самій технічній політиці, які полягали в автоматизації серійного виробництва за рахунок універсальних верстатів зі ЧПК й не адаптованих до них роботів.

Тому для здійснення технічної революції треба.

1. Почати підготовку фахівців із гнучкого автоматизованого виробництва.
2. Поглибити наукові дослідження з технології автоматизованого виробництва й гнучких виробничих ліній.
3. Забезпечити державне фінансування пошукових досліджень по ГВС.
4. Створити асоціацію верстатобудівних й інструментальних заводів України по виробництву ГВМ.

Об'єктом технології машинобудування є технологічний процес, а предметом – встановлення й дослідження зовнішніх і внутрішніх зв'язків, закономірностей технологічного процесу. Тільки на основі їхнього глибокого вивчення можлива побудова професійних технологічних процесів, що забезпечують виготовлення виробів високої якості з мінімальними витратами.

У даній випускній роботі на підставі ескізу типової деталі «Вал» було проведено:

- конструкторсько-технологічний аналіз системи виготовлення деталі «Вал» на оброблювальному центрі в умовах дрібносерійного виробництва;
- розробка групового технологічного процесу отримання деталі «Вал»;
- розробка керуючої програми обробки деталі «Вал» на вертикальному оброблювальному центрі IPT 180ПМФ4;
- розробка технологічного оснащення процесу виготовлення деталі «Вал»;
- імітаційне моделювання системи виготовлення деталі «Вал»;

У результаті, було проведено дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГВМ IPT180ПМФ4.

Ціль дослідження

Підвищення ефективності виготовлення деталей типу «Вал» у дрібносерійному виробництві шляхом розроблення та дослідження імітаційної моделі обробки на гнучкому виробничому модулі IPT180ПМФ4.

Завдання дослідження

1. Провести конструкторсько-технологічний аналіз системи виготовлення деталі «Вал» у умовах дрібносерійного виробництва.
2. Розробити груповий технологічний процес одержання деталі «Вал».
3. Створити керуючу програму для обробки деталі «Вал» на вертикальному оброблювальному центрі IPT180ПМФ4.
4. Розробити необхідне технологічне оснащення.
5. Виконати розрахунок режимів різання з використанням програмного пакета CoroGuide.
6. Побудувати функціональну 3D-модель ГВМ IPT180ПМФ4 у SolidWorks та створити імітаційну модель обробки у 3D GPM.
7. Провести дослідження продуктивності та надійності роботи ГВМ IPT180ПМФ4, а також аналіз технологічних характеристик у системі COSMOS Works.

Об'єкт дослідження

Процес виготовлення деталей типу «Вал» у гнучкому виробничому модулі IPT180ПМФ4.

Предмет дослідження

Технологічні закономірності, параметри, моделі та фактори, що визначають продуктивність, надійність і якість обробки деталей типу «Вал» у гнучкій автоматизованій системі.

Наукова новизна

- Удосконалено підхід до проектування технологічних процесів виготовлення деталей типу «Вал» для умов дрібносерійного виробництва шляхом інтеграції 3D-моделювання, імітаційного моделювання та автоматизованої розробки режимів різання.
- Отримано імітаційну модель роботи ГВМ IPT180ПМФ4, що дозволяє оцінювати продуктивність, виявляти «вузькі місця» та оптимізувати навантаження обладнання.

- Показано можливість підвищення ефективності виготовлення деталей шляхом застосування гнучкого виробничого модуля з мінімізацією переналагоджувань та автоматизацією допоміжних операцій.

Методи дослідження

- Конструкторсько-технологічний аналіз виробничих систем.
- Методи групової технології для розробки технологічного процесу.
- CAD-моделювання (SolidCAM) для створення 3D-моделі ГВМ IPT180ПМФ4.
- Імітаційне моделювання процесів обробки (3D GPM).
- САЕ-аналіз технологічних характеристик і жорсткості системи (COSMOS Works).
- Розрахунок режимів різання за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (CoroGuide).
- Методи системного аналізу для оцінки продуктивності та надійності ГВМ.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦЯ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ З ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ВАЛ» НА ГПМ IPT180 ПМФ4

Сучасний розвиток машинобудування визначається інтенсивним упровадженням високотехнологічного устаткування, автоматизованих комплексів та цифрових систем керування, які істотно змінюють вимоги до професійної компетентності фахівців виробничої сфери. Умови жорсткої конкуренції та потреба у виготовленні продукції високої точності й надійності вимагають від операторів, інженерів-технологів та наладчиків не лише ґрунтовних теоретичних знань, але й здатності ефективно працювати з сучасними гнучкими виробничими модулями (ГПМ). Серед таких комплексів особливе місце займає ГПМ IPT180 ПМФ4, призначений для високопродуктивної та стабільної обробки деталей типу «Вал». Володіння методиками оптимізації режимів обробки, аналізу технологічних факторів, дослідження продуктивності та надійності процесів на таких комплексах є критично важливими для забезпечення конкурентоздатності машинобудівних підприємств.

Актуальність дослідження у методичній частині випускної роботи зумовлена необхідністю оновлення змісту професійної підготовки фахівців у відповідь на стрімкий розвиток виробничих технологій. Традиційні підходи до навчання, орієнтовані переважно на відтворення існуючих технологічних схем, більше не забезпечують достатнього рівня готовності фахівця працювати у цифровому виробничому середовищі, де велике значення мають навички аналізу даних, застосування комп'ютерного моделювання, оцінювання надійності та прогнозування технічних параметрів процесу. Особливо це актуально для обробки відповідальних деталей типу «Вал», де навіть незначні відхилення у жорсткості технологічної системи, теплових процесах або режимах різання можуть призводити до зниження точності та надійності виробів.

У цьому контексті зростає потреба у фахівцях, які володіють компетенціями роботи з автоматизованими виробничими модулями, здатні не лише виконувати технологічні операції, але й аналізувати їх ефективність, виявляти чинники впливу на продуктивність, оптимізувати режими обробки, використовуючи сучасні цифрові інструменти. Системи імітаційного моделювання, комп'ютерного аналізу технологічних процесів, інструменти діагностики та прогнозування стану обладнання стають невід'ємною складовою діяльності інженера. Однак у багатьох навчальних програмах вони або представлені фрагментарно, або зовсім відсутні, що знижує здатність випускників швидко адаптуватися до сучасних виробничих умов [46].

Гнучкий виробничий модуль IPT180 ПМФ4 є технічно складною системою, яка поєднує високоточний верстатний комплекс, автоматизовані системи управління та інтелектуальні засоби контролю. Ефективна робота на такому обладнанні потребує глибокого розуміння закономірностей формоутворення під час точіння валів, впливу режимів різання на знос інструменту, вібраційні процеси, теплові деформації, а також умінь аналізувати та узагальнювати отримані дані. Тому удосконалення системи професійної підготовки спеціалістів, орієнтованої на обробку деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180 ПМФ4, стає стратегічним завданням для освітніх та виробничих установ.

Актуальність теми також визначається загальною тенденцією цифровізації промисловості, коли виробничі рішення приймаються на основі аналітичної інформації, отриманої з технологічних процесів. Уміння працювати з такими даними, будувати моделі продуктивності та надійності технологічних операцій, оптимізувати параметри обробки та здійснювати контроль якості є важливими складовими професійної діяльності сучасного фахівця. Враховуючи, що підприємства машинобудівної галузі дедалі більше інтегрують інтелектуальні системи керування, сенсорні технології та автоматизовані діагностичні засоби, вимоги до підготовки персоналу значно зростають [51].

Таким чином, потреба у науково обґрунтованій, адаптивній та практикоорієнтованій системі підготовки фахівців, які здатні досліджувати й удосконалювати продуктивність та надійність обробки деталей типу «Вал» на

ГПМ IPT180 ПМФ4, є надзвичайно актуальною. Розробка такої системи сприятиме формуванню компетентних спеціалістів, здатних забезпечувати високу якість продукції, стабільність технологічних процесів і ефективність виробництва в умовах сучасної цифрової економіки.

Мета дослідження методичної частини випускної роботи – обґрунтувати та розробити дидактичну модель професійної підготовки фахівців, що забезпечує ефективне засвоєння принципів дослідження продуктивності й надійності процесів обробки деталей типу «Вал» за допомогою функціональних можливостей гнучкого виробничого модуля IPT180 ПМФ4.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасні підходи до професійної підготовки спеціалістів машинобудівної галузі, пов'язані з інтеграцією цифрових інструментів у процеси вивчення та оптимізації механічної обробки.

2. Розробити дидактичний проєкт підготовки фахівців з дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180 ПМФ4»

Об'єкт дослідження у методичній частині випускної роботи – процес професійної підготовки фахівців машинобудівних підприємств у контексті використання сучасних технологічних підходів для забезпечення стабільної продуктивності та високої надійності обробки деталей типу «Вал» на гнучкому виробничому модулі IPT180 ПМФ4.

Предмет дослідження у методичній частині випускної роботи – професійна підготовка фахівців, спрямована на формування компетентностей щодо аналізу, оптимізації та контролю параметрів механічної обробки деталей класу «Вал» із застосуванням цифрових засобів та інструментів моделювання роботи ГПМ IPT180 ПМФ4.

Методи дослідження: системний аналіз науково-технічних джерел щодо організації підготовки фахівців та технологій механічної обробки; розроблення та апробація навчально-методичних матеріалів.

Наукова новизна дослідження. Розроблено дидактичну систему професійної підготовки, що інтегрує дослідження технологічних режимів

обробки деталей типу «Вал» із використанням можливостей гнучкого виробничого модуля IPT180 ПМФ4.

Практичне значення дослідження. Отримані результати можуть бути використані в освітніх і виробничих центрах для підготовки операторів, техніків та інженерів, які працюють із сучасними виробничими модулями та роботизованими системами. Розроблені методичні матеріали сприяють підвищенню якості навчання щодо оптимізації режимів обробки та забезпечення надійності процесів виготовлення валів на ГПМ IPT180 ПМФ4.

1.1 Потреба у висококваліфікованих фахівцях для роботи з ГПМ IPT180 ПМФ4

Сучасні машинобудівні підприємства функціонують у умовах постійного ускладнення конструкцій виробів, підвищення вимог до точності, стабільності параметрів обробки та оптимізації виробничих процесів. Усе це зумовлює потребу у фахівцях, здатних ефективно використовувати гнучкі виробничі модулі (ГПМ), які поєднують переваги високоточної механічної обробки та автоматизованого керування. Одним із таких комплексів є ГПМ IPT180 ПМФ4, призначений для високопродуктивної обробки деталей типу «Вал» у різних режимах [21].

Упровадження такого обладнання є стратегічно важливим для підприємств, що прагнуть підвищити свою конкурентоспроможність, скоротити цикли виробництва та забезпечити стабільну якість продукції. Однак ефективне використання модулів цього класу потребує високої професійної підготовки персоналу, оскільки структура та функціональні можливості ГПМ IPT180 ПМФ4 вимагають комплексних технічних знань і здатності до аналітичної діяльності.

Професійна підготовка працівників повинна враховувати як особливості технологічної конфігурації модуля, так і взаємозв'язок між технологічними режимами, програмним керуванням та параметрами надійності. Сучасний технічний персонал має не лише виконувати обслуговування й налаштування устаткування, а й здійснювати дослідження впливу технологічних умов на продуктивність та довговічність обробки, аналізувати можливі ризики та пропонувати шляхи їх усунення. Таким чином, ринок праці потребує спеціалістів

із широким спектром компетентностей — від розуміння механіки різання до володіння цифровими інструментами діагностики й оптимізації.

Одним із ключових чинників актуальності підготовки таких фахівців є збільшення частки автоматизованих виробничих систем, що потребують принципово нового підходу до навчання. Традиційні програми, орієнтовані лише на експлуатацію верстатів із ЧПК, вже не забезпечують необхідного рівня кваліфікації. Сучасне виробництво вимагає здатності інженера або оператора працювати з комплексними системами, які включають роботизовані маніпулятори, автоматизовані системи подачі, інтелектуальні системи контролю, а також модулі моделювання технологічних режимів. Саме тому розроблення сучасних підходів до професійної підготовки є необхідною умовою ефективної діяльності підприємств машинобудівної галузі [38].

ГПМ IPT180 ПМФ4 належить до високотехнологічних виробничих комплексів, які забезпечують багатофункціональну та високоточну обробку деталей типу «Вал». Конструктивна схема модуля передбачає поєднання декількох технологічних операцій – токарної, фрезерної, свердлильної, шліфувальної – у межах одного обладнання. Це дозволяє суттєво скоротити час переміщення заготовок між робочими позиціями та мінімізувати помилки, пов'язані з операційними переходами [44].

Технологічна конфігурація модуля включає систему числового програмного керування, комплекси датчиків, системи автоматичної діагностики, а також модуль контролю й подачі інструменту. Така структура забезпечує:

- адаптивне регулювання режимів різання залежно від властивостей матеріалу;
- можливість зворотного зв'язку між системою керування та інструментом;
- стабілізацію траєкторії руху та параметрів різання;
- високу повторюваність технологічних операцій;
- здатність до оперативного переналаштування на різні типорозміри валів.

Функціональні можливості ГПМ істотно розширюються завдяки інтеграції цифрової системи контролю, яка дозволяє відстежувати відхилення технологічних параметрів у реальному часі та автоматично коригувати режими

роботи. Крім того, використання сучасних систем інструментального моніторингу дає змогу проводити аналітику зношування інструменту та прогнозування його ресурсу.

Однак складність технологічної конфігурації вимагає високої кваліфікації персоналу. Щоб оператор або інженер міг повноцінно працювати з модулем, він повинен глибоко розуміти структурні особливості ГПМ, принципи функціонування систем керування, алгоритми оптимізації режимів обробки та методи контролю точності. Додатково спеціаліст має вміти аналізувати причини колювання технологічних параметрів, визначати чинники ризику, а також розробляти рекомендації з підвищення надійності виробничого циклу [49].

Оскільки ГПМ IPT180 ПМФ4 є технологічно складною системою, управління нею вимагає не лише базового розуміння механічної обробки, а й упевненого володіння сучасними цифровими й аналітичними інструментами. Система керування модулем дозволяє оператору змінювати режими різання відповідно до вимог конкретної деталі, проте ці зміни мають ґрунтуватися на точних інженерних розрахунках та аналізі властивостей матеріалу.

Знання з автоматизованого налаштування режимів різання передбачають:

- вибір оптимальних швидкостей, подач і глибин різання;
- врахування теплових впливів та вібраційних коливань;
- оцінку стійкості інструменту;
- аналіз сили різання та її впливу на точність обробки;
- використання моделей прогнозування продуктивності.

Сучасний спеціаліст повинен володіти навичками роботи з програмним забезпеченням, що дозволяє формувати й коригувати технологічні програми, проводити моделювання траєкторій обробки, аналізувати навантаження та деталізовано керувати кожним етапом виробничого процесу.

Крім того, важливою складовою професійної підготовки є освоєння методів контролю технологічних параметрів. Це охоплює використання:

- систем безконтактної діагностики;
- вимірювальних засобів високої точності;
- інтелектуальних алгоритмів для аналізу стабільності та відхилень;

– засобів для моніторингу температурних режимів і зношування різального інструменту.

Володіння такими інструментами дозволяє фахівцю своєчасно виявляти потенційні дефекти, оптимізувати роботу обладнання та забезпечувати стабільність параметрів обробки. Без глибоких знань у цій сфері неможливо досягти високої продуктивності та надійності процесів обробки деталей типу «Вал».

Окремим фактором актуальності є дефіцит фахівців, здатних не лише керувати роботою ГПМ, а й проводити дослідження технологічних процесів з метою оптимізації продуктивності та підвищення надійності. Дослідження в сфері обробки деталей типу «Вал» потребують ґрунтовної підготовки в галузі механіки різання, матеріалознавства, метрології, обчислювальних методів та цифрового моделювання [29,38].

На більшості машинобудівних підприємств існує обмежена кількість інженерів, які володіють навичками аналізу технологічних режимів на рівні, достатньому для науково обґрунтованого удосконалення процесів. Більшість фахівців орієнтовані на експлуатацію обладнання, але не на дослідницьку роботу, що стосується оцінки довговічності, динамічної стабільності та економічних параметрів виробництва.

До основних причин дефіциту таких спеціалістів належать:

- недостатня увага у навчальних програмах до експериментальних методів дослідження процесів обробки;
- обмежений доступ студентів і молодих інженерів до сучасного виробничого обладнання;
- низький рівень інтеграції цифрових технологій моделювання у традиційні освітні курси;
- відсутність практичного досвіду роботи з високоточними системами контролю;
- недостатня кількість спеціалізованих курсів, що поєднують механіко-технологічні та цифрові компетентності.

Наслідком цього є неможливість у повному обсязі реалізувати потенціал сучасного обладнання, зокрема ГПМ IPT180 ПМФ4. Підприємства стикаються з труднощами у впровадженні нових технологічних режимів, оптимізації продуктивності та забезпеченні довготривалої стабільності процесів.

Тому формування кадрів, здатних проводити дослідження продуктивності та надійності, є стратегічним завданням, вирішення якого дозволить підвищити ефективність виробництва, зменшити витрати на інструмент та енергоресурси, а також гарантувати конкурентоспроможність машинобудівних підприємств на глобальному ринку.

1.2 Значення дослідження продуктивності та надійності обробки валів на сучасних виробничих комплексах

Сучасне машинобудування перебуває на етапі динамічної трансформації, що характеризується переходом до цифровізованих та високотехнологічних форм організації виробництва. У цих умовах підвищення продуктивності, точності й стабільності технологічних процесів стає ключовим фактором конкурентоспроможності промислових підприємств. Особливо це стосується операцій механічної обробки деталей типу «Вал», які є базовими елементами більшості машин та механізмів. Вали складають значну частку номенклатури деталей машинобудівної галузі, а їх якість визначає не лише ефективність роботи окремих вузлів, але й загальний ресурс та безпечність експлуатації технічних систем. У зв'язку з цим дослідження продуктивності та надійності процесів їх обробки на виробничих комплексах типу ГПМ IPT180 ПМФ4 набуває стратегічного значення.

Вали є невід'ємними конструктивними компонентами у машинобудуванні, транспортному секторі, авіаційній та оборонній промисловості, гірничих машинах, металургійному устаткуванні й енергетичних установках. Вони виконують функції передачі обертового моменту, забезпечення узгодженого руху механізмів та підтримки навантажених вузлів. Якість їх поверхні, геометрична точність та параметри твердості визначають здатність працювати у

складних умовах – при високих швидкостях обертання, значних ударних і змінних навантаженнях, інтенсивному терті [40].

Недостатня точність діаметра, конусність, овальність або відхилення шорсткості поверхні можуть призводити до порушення співвісності, зниження ККД вузлів, підвищених вібрацій та шумів. У випадку критичних агрегатів (турбіни, компресори, електродвигуни, насоси) неякісна обробка валів здатна спричинити аварійні ситуації, сприяти прискореному зносу підшипників, муфт і інших сполучених деталей. Таким чином, якість обробки валів безпосередньо впливає не лише на довговічність окремої деталі, але й на економічні показники усього виробничого комплексу.

Особливо жорсткі вимоги висуваються до валів, що використовуються в авіакосмічній техніці та високоточних верстатах. Тут будь-яке мікровідхилення у геометрії може впливати на розподіл навантаження, викликати нестабільність роботи вузла або сприяти виникненню мікротріщин. Це зумовлює потребу у ретельному контролі всіх параметрів обробки та належному рівні кваліфікації фахівців, які виконують технологічні операції.

Надійність технологічного процесу є інтегральним показником, що визначає здатність виробничої системи виконувати операції стабільно, без відхилень від встановлених параметрів і з гарантованою якістю готових деталей. Для обробки валів на комплексах типу ГПМ IPT180 ПМФ4 це особливо актуально, оскільки такі комплекси працюють у режимах автоматичного або гнучкого переналаштування з мінімальним втручанням оператора.

У машинобудуванні довговічність виробів значною мірою залежить від стабільності та повторюваності технологічних режимів під час обробки. Якщо процес нестабільний, це призводить до накопичення похибок, коливань сил різання та нерівномірного зносу інструменту. Наслідком може бути прихована дефектність деталей, що проявиться лише під час експлуатації.

Тому дослідження надійності технологічних процесів включає:

- аналіз стійкості інструменту при різних режимах різання;
- виявлення факторів, що спричиняють нестабільність розмірів та шорсткості;

- оцінювання динаміки тепловиділення й компенсації теплових деформацій;
- вивчення роботи систем автоматизованого контролю;
- створення моделей ризиків технологічних відмов.

Системний підхід до таких досліджень дозволяє оптимізувати режими обробки, підвищити ресурс інструменту, попередити появу дефектів та забезпечити високу повторюваність результатів навіть при багатозмінному виробництві.

Окрім того, стабільність технологічних процесів прямо впливає на планування виробництва, скорочення простоїв, раціональне використання матеріалів і рівень витрат на технічне обслуговування. Чим надійніший процес, тим нижчий рівень ризиків невчасної доставки продукції, браку та ремонтів устаткування.

Оптимізація процесів обробки валів на ГПМ IPT180 ПМФ4 полягає у виборі раціональних параметрів різання, подач, швидкості, глибини обробки, інструментального забезпечення та стратегій траєкторії руху інструмента. Сучасні тенденції у виробництві передбачають використання методів математичного моделювання, комп'ютерної симуляції та аналітичних інструментів для прогнозування результатів ще до фактичного запуску процесу на верстаті [38].

Завдяки оптимізації:

1. Знижується рівень браку. Уникнення надмірних навантажень на інструмент і заготовку, дотримання температурних режимів та раціональне використання ЗОТС забезпечують стабільну шорсткість і точність.
2. Скорочуються простої обладнання. Підвищення стійкості інструменту та зменшення аварійних відмов сприяють неперервності виробничих циклів.
3. Зменшуються енергозатрати. Вибір оптимальних швидкостей і подач дозволяє працювати в режимах, які мінімізують втрати енергії, теплові навантаження та не спричиняють надмірних вібрацій.

4. Підвищується продуктивність. За допомогою раціонального планування маршруту обробки, скорочення холостих ходів і корекції траєкторій можливо підвищити випуск продукції без суттєвих капітальних інвестицій.

5. Покращується точність розмірів та геометрична стабільність.. Це забезпечується завдяки використанню систем комп'ютерного контролю, адаптивного регулювання та компенсації похибок у реальному часі.

Таким чином, оптимізація є не просто інженерним завданням, а комплексним процесом, що поєднує знання з механіки різання, автоматизованого виробництва, програмування, метрології та організації виробничих систем. Фахівці, здатні проводити такі дослідження, мають стратегічне значення для підприємств, адже вони забезпечують зниження виробничих витрат і підвищення якості продукції.

1.3 Вимоги до професійної підготовки фахівців у контексті сучасних технологій обробки

Сучасні машинобудівні підприємства переживають динамічні трансформації, зумовлені активним поширенням автоматизованих виробничих комплексів, впровадженням систем цифрового керування та переходом до інтелектуального моніторингу технологічних процесів. У таких умовах традиційні підходи до професійної підготовки фахівців виявляються недостатніми: вони не повною мірою враховують нові вимоги щодо роботи з гнучкими виробничими модулями (ГПМ), зокрема з комплексами типу IPT180 ПМФ4, що призначені для високопродуктивної та високоточної обробки деталей класу «Вал». Глибокі зміни у виробничих підходах висувають перед майбутніми операторами, інженерами-технологами та наладчиками нові компетентнісні вимоги, серед яких ключового значення набувають цифрова, аналітична та системно-технологічна компетентності.

Одним із важливих напрямів модернізації підготовки є інтеграція цифрових технологій та імітаційного моделювання у навчальний процес. Традиційна практична підготовка, що ґрунтується переважно на роботі безпосередньо на устаткуванні, сьогодні доповнюється імітаційними моделями,

цифровими двійниками технологічних процесів, програмами для віртуального налаштування режимів обробки та програмного керування. Такі інструменти дозволяють майбутнім фахівцям без ризику пошкодження обладнання дослідити вплив зміни режимів різання на продуктивність, якість і надійність обробки валів, відпрацьовувати алгоритми дій у складних виробничих ситуаціях, аналізувати помилки та прогнозувати можливі наслідки некоректного технологічного вибору.

Цифровізація машинобудівних процесів вимагає від фахівців здатності аналізувати технологічні дані, інтерпретувати їх у контексті роботи ГПМ, розпізнавати відхилення та причини зниження продуктивності чи точності обробки. У сучасних виробництвах наявні системи, які постійно генерують великі масиви інформації: від даних сенсорів про навантаження на інструмент до параметрів стабільності роботи шпинделя або ефективності мастильно-охолоджувальної рідини. Тому фахівець має бути здатним проводити попередній технічний аналіз, працювати з інформаційними панелями, використовувати статистичні інструменти для визначення кореляцій між режимами різання та якістю обробки.

Особливе значення має розвиток умінь прогнозувати результати обробки. У роботі з деталями типу «Вал» критично важливо заздалегідь визначити можливі деформації, відхилення за геометричними розмірами, зміни шорсткості поверхні, ризики виникнення вібрацій або термічних дефектів. Прогнозування результатів ґрунтується на поєднанні знань із матеріалознавства, кінематики верстатних систем, теорії різання та цифрових методів аналізу — саме такі знання необхідно інтегрувати у зміст професійної підготовки.

Ще одним ключовим блоком компетентностей, які мають бути сформовані у спеціаліста, є уміння оцінювати надійність технологічних процесів. Надійність обробки на ГПМ IPT180 ПМФ4 визначається не лише стабільністю обладнання, а й правильністю вибору інструмента, оптимальністю траєкторій, відповідністю режимів різання технологічним вимогам та прогнозованим навантаженням. Майбутні фахівці мають навчитися встановлювати причинно-наслідкові зв'язки між параметрами роботи устаткування та ризиками виникнення позаштатних

ситуацій: наприклад, вібраційного резонансу, перегріву інструмента, зносу різальної пластини чи втрати точності позиціонування. Це потребує системного підходу в навчанні: від розуміння конструктивних особливостей ГПМ — до вміння здійснювати технічний аудит процесу.

Не менш важливим аспектом є опанування методів оптимізації технологічних режимів, що передбачає здатність працювати з математичними моделями процесів обробки, програмним забезпеченням для симуляції та оцінювання різних варіантів технологічних рішень. У цьому контексті підготовка має включати формування навичок побудови оптимізаційних моделей, застосування алгоритмів експериментального планування, а також освоєння методів багатокритеріального вибору, у яких одночасно враховуються продуктивність, точність, енергоефективність і стабільність обробки.

З огляду на те, що ГПМ функціонують як елементи комплексно автоматизованих виробничих систем, важливим стає оволодіння методами системного контролю параметрів обробки, включно з моніторингом у режимі реального часу, аналізом індикаторів технічного стану, налаштуванням систем адаптивного керування. Фахівець повинен розуміти принципи роботи сенсорних систем, способи обробки сигналів та методи оперативної корекції параметрів процесу відповідно до фактичного технічного стану інструмента або деталі.

Окрему увагу сучасна професійна підготовка приділяє розвитку комплексної професійної культури роботи з ГПМ, яка охоплює дотримання норм технічної безпеки, розуміння особливостей технічного обслуговування високоточних агрегатів, уміння працювати у цифровому середовищі, здатність вести технічну документацію у відповідності до міжнародних стандартів. Підготовка фахівця має враховувати не лише технічний, а й організаційний аспект роботи: уміння взаємодіяти з автоматизованими системами обліку, оцінювати ефективність виробничих рішень у масштабі підприємства, прогнозувати вплив змін технологічних режимів на загальну продуктивність.

Таким чином, сучасні вимоги до професійної підготовки спеціалістів для роботи на ГПМ IPT180 ПМФ4 формують модель фахівця нового типу: технічно компетентного, цифрово грамотного, здатного не лише виконувати технологічні

операції, а й аналізувати їх ефективність, прогнозувати наслідки технологічних рішень та приймати обґрунтовані управлінські рішення. Така підготовка стає ключовою умовою успішної модернізації машинобудівних підприємств у контексті четвертої промислової революції.

1.4 Проблеми та суперечності сучасної системи професійної підготовки

Сучасний етап розвитку машинобудівної галузі характеризується стрімким ускладненням технологічних процесів, інтенсивною автоматизацією виробництва та інтеграцією цифрових інструментів у всі рівні технічної діяльності. Водночас система професійної підготовки фахівців, які мають працювати з високотехнологічними автоматизованими комплексами, такими як ГПМ IPT180 ПМФ4, демонструє низку суперечностей, що суттєво знижують рівень кадрової готовності підприємств до впровадження сучасних технологічних рішень. Ці суперечності виникають як у змістовій частині освітніх програм, так і в організаційних, методичних та матеріально-технічних аспектах професійної підготовки.

Однією з ключових проблем сучасної системи професійної підготовки є застарілість змісту навчальних програм, які часто ґрунтуються на принципах традиційного механоскладального виробництва та не враховують особливостей роботи з роботизованими й автоматизованими комплексами нового покоління. Більшість програм орієнтовані на вивчення класичних принципів організації технологічних процесів, тоді як сучасне машинобудування дедалі активніше переходить до інтелектуальних систем керування виробничими операціями, широкого застосування імітаційного моделювання, цифрових двійників виробів та обладнання.

Це призводить до того, що випускники технічних спеціальностей володіють загальними теоретичними знаннями, але не мають достатнього розуміння структури сучасних ГПМ, їх алгоритмів роботи, можливостей автоматичного контролю технологічних режимів і систем попереджувальної діагностики. Зокрема, для роботи з ГПМ IPT180 ПМФ4 необхідно мати комплексні знання зі сфер програмування, налаштування та калібрування

алгоритмів різання, аналізу ефективності роботи інструменту, оперативного коригування параметрів обробки валів відповідно до змінних виробничих умов. У більшості освітніх програм підготовки операторів і наладчиків такі дисципліни представлені лише фрагментарно, що створює суттєвий дисбаланс між потребами виробництва та можливостями освітньої системи.

Ще однією проблемою є недостатня увага до формування навичок роботи з великими обсягами технологічних даних. Сучасні ГПМ формують значний масив інформації про режими обробки, технічний стан обладнання, параметри стабільності процесів. Уміння працювати з цими даними, здійснювати їх аналіз і прогнозувати результати технологічних операцій є важливою компетентністю висококваліфікованого фахівця, але в навчальних програмах відсутні інструменти для її цілеспрямованого формування.

Однією з найбільш гострих проблем є нестача матеріально-технічної бази для практичного навчання студентів і слухачів курсів підвищення кваліфікації. Більшість навчальних закладів не мають у своєму розпорядженні сучасних ГПМ, які використовуються на виробництві, зокрема таких, як IPT180 ПМФ4. Брак обладнання, технічних засобів вимірювання, інструменту та сучасних систем керування не дозволяє забезпечити практичну складову підготовки на належному рівні.

У результаті студенти набувають переважно теоретичних знань і лише поверхово ознайомлюються зі структурою й принципами роботи сучасних систем автоматизації. Навіть у разі наявності лабораторного обладнання воно часто морально застаріле й не відповідає тим технологічним викликам, із якими стикається машинобудівне підприємство під час обробки деталей типу «Вал» у реальних виробничих умовах.

Такий дисбаланс призводить до ситуації, коли молодий фахівець потребує тривалої адаптації на робочому місці, що негативно впливає на продуктивність підприємства та збільшує витрати на внутрішнє навчання. Крім того, відсутність практичних навичок роботи з ГПМ унеможливорює ефективне проведення досліджень продуктивності та надійності обробки, оскільки ці компетентності формуються лише під час реальної взаємодії з обладнанням.

Сучасні умови розвитку машинобудування вимагають переосмислення методичних підходів до організації процесу професійної підготовки. Попит на фахівців, які здатні ефективно працювати в умовах цифрового виробництва, підвищує значущість таких дидактичних принципів, як інтегративність, міждисциплінарність, проблемно-орієнтоване навчання та моделювання виробничих ситуацій.

Традиційна лекційно-практична схема вже не може забезпечити формування компетентностей, необхідних для роботи з сучасними ГПМ. Навчання повинно включати:

- використання цифрових тренажерів та систем віртуальної реальності для відтворення умов роботи на ГПМ IPT180 ПМФ4;
- побудову цифрових моделей технологічних процесів обробки валів із подальшим аналізом результатів;
- опрацювання реальних виробничих кейсів та типових аварійних ситуацій;
- формування вміння оперативно змінювати стратегії обробки для забезпечення стабільності та надійності процесу.

Водночас модернізація дидактичних підходів можлива лише за умови оновлення технічної бази освітніх закладів. Брак сучасного обладнання, відсутність ліцензійного програмного забезпечення для моделювання та аналізу технологічних процесів, обмежена кількість датчиків контролю та систем збору даних створюють значні бар'єри для реалізації якісного навчального процесу.

Крім методичних і технічних проблем, система підготовки кадрів стикається з низкою організаційних обмежень. Основними з них є:

1. Недостатня співпраця між навчальними закладами та підприємствами. У багатьох випадках освітні установи не мають регулярних партнерських програм із виробничими компаніями, що унеможливорює практику студентів на сучасному обладнанні.
2. Відсутність оновлених професійних стандартів. Чинні стандарти професійної освіти не враховують вимог роботизованого виробництва та роботи з комплексами нового покоління.

3. Обмежена участь роботодавців у формуванні змісту освітніх програм. Це призводить до розриву між очікуваннями підприємств та реальними результатами навчання.

4. Недостатність кваліфікації викладачів. Через швидкий розвиток технологій педагоги також потребують системного підвищення кваліфікації, знайомства з новітніми ГПМ і програмним забезпеченням.

1.5 Практична значущість оновлення професійної підготовки фахівців

Практична значущість модернізації професійної підготовки фахівців машинобудівних підприємств є одним із ключових чинників підвищення ефективності виробничих процесів у сучасних умовах технічного розвитку. Останні роки характеризуються стрімкою автоматизацією, впровадженням гнучких виробничих систем та високоінтелектуального обладнання, серед якого особливе місце посідають гнучкі виробничі модулі (ГПМ), зокрема ГПМ IPT180 ПМФ4. Саме тому реформування освітнього процесу, орієнтованого на підготовку інженерів та технічних працівників, здатних ефективно працювати з такими комплексами, набуває стратегічної важливості для підприємств галузі.

Оскільки сучасні виробничі комплекси, такі як ГПМ IPT180 ПМФ4, поєднують у собі механічну обробку, автоматизовану систему керування, систему контролю параметрів та програмні засоби оптимізації, робота на них потребує високого рівня фахової майстерності. Від оператора та інженера вимагається не лише здатність виконувати налаштування обладнання, але й уміння проводити поглиблені дослідження технологічних процесів, аналізувати фактори, що впливають на продуктивність, надійність та точність обробки деталей типу «Вал».

Оновлена система підготовки повинна забезпечити майбутнім фахівцям комплекс таких умінь:

- здатність до точного налаштування режимів різання, що враховують конструкційні особливості вала, вимоги до шорсткості та допусків;
- уміння працювати з автоматизованими системами діагностики стану обладнання, які інтегровані в модуль IPT180 ПМФ4;

- знання методів експериментальної перевірки технічних рішень, оцінювання впливу параметрів обробки на стабільність процесів;
- компетентності у використанні цифрових засобів моделювання, що дозволяють прогнозувати результати обробки та виявляти потенційні відхилення.

Без якісної підготовки у цих напрямках навіть найдосконаліше обладнання не може забезпечити високі технологічні результати. Тому оновлення змісту навчання, яке відображає реальні виробничі потреби, є критично необхідним.

Сучасний машинобудівний фахівець має володіти широким спектром компетентностей, що виходять за межі традиційних навичок роботи на верстатному обладнанні. Він повинен бути здатним до роботи в цифровому виробничому середовищі, яке включає високотехнологічні інформаційні системи, засоби автоматизованого проектування, інструменти статистичного аналізу та симуляційного моделювання.

Для цього модернізована система професійної підготовки має містити такі компоненти:

1. Цифрова підготовка. Студенти повинні опановувати програмні пакети, що використовуються для моделювання процесів різання, аналізу технологічних даних, оптимізації траєкторій інструменту, прогнозування зносу та керування обладнанням.

2. Аналітична підготовка. Майбутній інженер повинен уміти працювати з великими масивами технологічної інформації, аналізувати показники продуктивності, будувати моделі надійності, застосовувати методи статистичного контролю якості.

3. Експериментальна компетентність. Важливим є вміння не лише правильно налаштувати процес, але й проводити експериментальні дослідження, оцінювати вплив зміни параметрів на точність, термічні деформації, стабільність обробки. Це підсилює здатність фахівця ухвалювати технічно обґрунтовані рішення в реальних виробничих ситуаціях.

4. Інженерне мислення нового формату. Здатність комплексно розглядати виробничу систему, враховуючи взаємозв'язки між обладнанням,

технологічним процесом, інструментом, CAD/CAM-середовищами та автоматизованим контролем.

Підготовка фахівців такого рівня дає змогу підприємствам ефективно впроваджувати інновації та підтримувати конкурентоспроможність на глобальному ринку.

Сучасне виробництво потребує фахівців, які не просто виконують технологічні операції, а постійно вдосконалюють процеси, сприяючи зменшенню витрат, зростанню ефективності та якості продукції. Це завдання може бути вирішене лише за умов якісної професійної підготовки, адаптованої до реальних потреб виробничих підприємств.

Оновлення системи підготовки забезпечує такі практичні переваги:

- зменшення браку та дефектності деталей, що досягається завдяки точному контролю параметрів обробки та правильному налаштуванню режимів на ГПМ;
- скорочення простоїв обладнання за рахунок кращого розуміння інженерами принципів роботи автоматизованих модулів і вміння попереджати технічні несправності;
- зниження енергоспоживання, адже оптимізовані режими різання мінімізують втрати потужності та перевитрати інструменту;
- збільшення продуктивності, оскільки фахівці, які володіють методами моделювання та діагностики, здатні знаходити раціональні рішення для прискорення технологічних циклів;
- покращення якості готових виробів, що прямо впливає на конкурентоспроможність підприємства на ринку високоточних механічних деталей.

Як результат, підприємства, що інвестують у сучасну підготовку персоналу, отримують суттєві економічні та технологічні переваги.

Комплексне оновлення професійної підготовки фахівців для роботи з ГПМ IPT180 ПМФ4 має важливе значення як для окремих інженерів, так і для всієї галузі машинобудування. Підготовка, що ґрунтується на сучасних цифрових та експериментальних методах, забезпечує:

- підвищення технічної культури працівників;
- адаптацію кадрів до змін технологічного середовища;
- розвиток здатності до безперервного професійного зростання;
- зміцнення конкурентних позицій підприємств на внутрішньому та міжнародному ринках.

Таким чином, практична значущість модернізації професійної підготовки полягає не лише у формуванні компетентного фахівця, але й у забезпеченні системного розвитку машинобудівного виробництва, здатного відповідати вимогам часів високотехнологічного та цифрового індустріального середовища.

1.6 Висновки

Узагальнюючи результати аналізу, можна стверджувати, що проблема підготовки висококваліфікованих фахівців для роботи на сучасних гнучких виробничих модулях, зокрема ГПМ IPT180 ПМФ4, визначається як одна з ключових у розвитку сучасного машинобудування. Зростання складності технологічних процесів, широке впровадження цифровізації та автоматизації, підвищення вимог до точності й стабільності обробки деталей типу «Вал» зумовлюють потребу в суттєвому оновленні освітніх і виробничо-навчальних програм.

Аналіз технологічних особливостей ГПМ IPT180 ПМФ4 демонструє, що ефективне управління таким комплексом потребує знань з автоматизованого налаштування режимів різання, сервісного обслуговування, моніторингу параметрів процесу та уміння проводити аналітичні дослідження продуктивності й надійності. Сучасний стан підготовки кадрів не повною мірою відповідає цим вимогам: переважання застарілих навчальних програм, недостатня кількість практики на високотехнологічних комплексах та недостатня інтеграція цифрових технологій створюють низку системних суперечностей.

Ключовою умовою підвищення якості професійної підготовки є впровадження цифрових інструментів, імітаційного моделювання та методів прогнозного аналізу, які дозволяють майбутнім інженерам та операторам оптимізувати режими обробки, зменшувати ризики браку, підвищувати ресурс

деталей і мінімізувати енергозатрати. Саме такі компетентності стають визначальними у контексті переходу машинобудівної галузі до інтелектуальних виробничих систем.

Виявлені проблеми та суперечності підкреслюють необхідність системного оновлення дидактичних підходів, модернізації навчально-матеріальної бази та створення навчальних програм, орієнтованих на реальні технологічні потреби виробництва. Перехід до компетентнісної моделі підготовки кадрів дозволить сформувати фахівців нового покоління, здатних виконувати високоточні технологічні операції, проводити дослідження процесів, аналізувати технологічні дані та забезпечувати стабільність роботи ГПМ.

Отже, актуальність проблеми професійної підготовки фахівців для роботи з ГПМ IPT180 ПМФ4 зумовлена одночасно технічними, економічними й освітніми факторами. Оновлення підходів до навчання та інтеграція сучасних цифрових і аналітичних інструментів є необхідною умовою для підвищення ефективності та конкурентоспроможності машинобудівних підприємств, що прагнуть забезпечити високопродуктивну та надійну обробку деталей типу «вал» у умовах індустрії 4.0.

2. КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ» НА ОБРОБЛЮВАЛЬНИХ ЦЕНТРАХ В УМОВАХ ДРІБНОСЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

2.1 Аналіз ефективності обробки деталі типу «Вал» на оброблювальних центрах в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва

На продуктивність праці в машинобудуванні значною мірою впливає склад металорізального встаткування, що випускається, по ступені його автоматизації, у зв'язку із чим необхідне визначення складу металорізального встаткування на планований період і перспективу. Численні прогнози і критичний аналіз тенденцій зміни складу металорізального встаткування з початку ХХ ст. дозволяють визначити зміни, які з ним відбудуться.

Перша половина ХХ ст. характеризується поглибленням поділу виробництва на серійне і масове, котре висуває різні вимоги до складу металорізального встаткування. В одиничному і серійному виробництвах переважали універсальні верстати, велика кількість пристосувань, висока кваліфікація робітника. У масовому виробництві, навпаки, використовувалися вузькоспеціалізовані верстати і автоматичні лінії.

Низька продуктивність праці при використанні універсальних верстатів і неможливість використання для швидкозмінних об'єктів виробництва встаткування масового виробництва значно гальмували розвиток усього виробництва. У середині ХХ ст. намітилися два шляхи рішення зазначеної вище проблеми. З одного боку – збільшення партії одночасно оброблюваних деталей за кожне переналагодження, за рахунок нормалізації деталей і уніфікації вузлів, їхньої обробки групами, спеціалізації виробництва; з іншого боку – створення переналагоджуваних верстатів і автоматичних ліній.

Вирішальним стало створення ЧПК і верстатів типу оброблювальних центрів; останні є одночасно широко універсальними і повністю автоматизованими верстатами. З кінця 1950-х рр. почалося стрімке зростання випуску верстатів зі ЧПК і типу ОЦ. Почалася автоматизація керування

верстатами і всією виробничою системою на базі застосування ЕОМ. Автоматизація одиничного і серійного виробництва фактично дозволили усунути границі, які існують між одиничним, серійним і масовим виробництвами. Широка універсальність і мобільність, повна автоматизація на базі ЕОМ, блочно-агрегатний метод створення ОЦ і іншого встаткування гнучких виробничих систем дають можливість ще більше підвищити продуктивність праці і застосовувати гнучкі системи в масовому виробництві.

Аналіз розвитку технології металообробки за минуле сторіччя дозволяє зробити певний прогноз складу встаткування на початок третього тисячоріччя.

За даними комітету з використання ЕОМ у виробництві Національної дослідницької ради США, у цей час близько 15 % вироблених у світі верстатів об'єднані в ГВС.

Основний стрибок у підвищенні продуктивності праці відбувся на рубежі 1990-х рр., коли ГВС перестали бути експериментальними; старіння заводів переборюється шляхом впровадження нової організації праці і технології, що відповідає концепції ГВС.

На початку 1980-х рр. у світі, за закордонними даними, налічувалося приблизно 125 ГВС (хоча перші з них з'явилися в США ще в 1967 р.), у тому числі в Японії – 40, у США – 26, у країнах Західної Європи – 25.

У ряді західних країн роботи зі створення ГВС ведуться по національним програмам, фінансованими урядами, що пов'язане з бажанням прискорити більш широке впровадження цієї нової техніки в машинобудуванні.

Новизна гнучкої концепції полягає в тому, що їй властивий не стільки потоковий спосіб організації виробництва, скільки централізований, що передбачає як можна більше повну, завершену обробку деталей на одній робочій позиції, на одному верстаті, на одній робочій машині.

Потокова технологія, в основі якої закладена диференціація процесу обробки деталей на численні операції і переходи, виконувані на різних верстатах, у зв'язку із прискоренням науково-технічного прогресу втратила свої економічні переваги, тому що продукція стала значно складніше і її асортимент став змінюватися більш часто. Деталі стали більше пролежувати між верстатами,

виросли заділи і допоміжні операції. Прийшов час вибирати між подальшою спеціалізацією верстатів і автоматизацією допоміжних операцій. Наприклад, деталь повністю обробляється на п'ятьох верстатах, що спричиняє п'ятикратне завантаження (розвантаження) деталі на верстат, збільшення часу між операційного транспортування і очікувань. Це ускладнює керування і приводить до подорожчання виробництва. Тому потрібне створення універсальних багатоцільових верстатів для того, щоб деталь централізовано повністю оброблялася на одному верстаті з одним розвантаженням, за одну операцію й, отже, без між операційного транспортування, без перележування і очікувань. Вибір був зроблений, з'явилися оброблювальні центри, а потім і ГВС.

Сутність концепції гнучкого виробництва полягає в тому, що вона дозволяє переходити з випуску одного виробу на випуск іншого виробу практично без переналагодження технологічного і будь-якого іншого встаткування; якщо ж у якихось випадках і потрібне переналагодження, то воно здійснюється одночасно з випуском попереднього виробу. У гнучкому виробництві, як правило, беруть участь в основному оператори з рівнем підготовки техніків і інженерів. Застосування ЕОМ у керуванні гнучким виробництвом дозволяє здійснювати комплексний підхід до автоматизації всіх видів робіт і процесів – від заготовки (пророблення завдання на виробництво нового виробу, конструкторсько-розрахункових робіт, технологічної підготовки виробництва, усього комплексу технологічних процесів) до пакування і відправлення виробу споживачеві.

Створення і впровадження ГВС є одним з основних напрямків рішення проблеми підвищення продуктивності праці і скорочення частки ручної праці, підвищення якості випускає продукції, що, у першу чергу в умовах дрібносерійного і серійного виробництва. Баланс робочого часу і втрат в умовах ГВС у порівнянні з універсальним устаткуванням з ручним керуванням ілюструє рис. 2.1.

При однаковому календарному річному фонді часу (8760 год.) передбачається, що універсальне встаткування працює дві зміни, а ГВС – три. Використання ГВС забезпечує збільшення в загальному балансі робочого часу тієї частки, що пов'язана з безпосередньою обробкою деталей.

Досвід створення ГВС у механообробці показує, що їхнє застосування (у порівнянні, наприклад, з ділянками, оснащеними універсальними верстатами з ручним керуванням), забезпечує досягнення високих техніко-економічних показників: зниження трудомісткості обробки деталей в 5 разів; скорочення обслуговуючого персоналу в 3-10 разів; збільшення випуску продукції за рахунок підвищення коефіцієнта використання встаткування, більше повного використання основних фондів і скорочення кількості необхідного встаткування; скорочення строків і вартості підготовки виробництва орієнтовно в 2...5 разів [34].

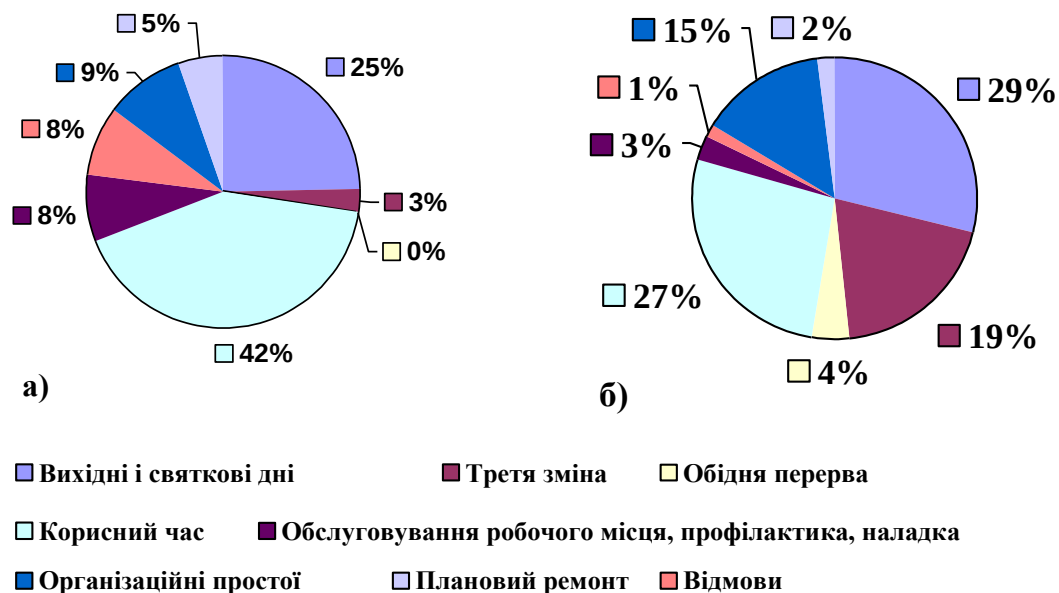


Рисунок 2.1 – Баланс робочого часу і втрат: а) - для ГПС; б) - для універсального встаткування з ручним керуванням.

Ефективність експлуатації ГВС значною мірою залежить від вибору виду оброблювального встаткування, промислових робіт, транспортно-складської системи, типу системи керування, на базі яких створюється ГВС, а також розміру партії оброблюваних на ній виробів. Створення ГВС пов'язане з більшими капітальними витратами. За закордонними даними їхня вартість перебуває в межах 4-15 млн. дол., з яких близько 70% доводиться на основне встаткування і роботи, 15-20 – на програмне забезпечення і 5-10 – на допоміжне устаткування, контрольно-вимірювальну і іншу апаратури. В окремих випадках для заново розроблювальних ГВС відношення витрат на технічні засоби, математичне

забезпечення і засоби контролю може становити відповідно 50, 35 і 15% від загальних витрат на розробку.

Аналіз розробки і експлуатації ГВС промислово розвиненими країнами показує, що переважне поширення одержали гнучкі виробництва для обробки корпусних деталей і деталей типу тіл обертання. Це пояснюється наступним: корпусні деталі є найбільш трудомісткими при виготовленні, і їхня обробка включає значне число операцій, пов'язаних з перевстановленням, закріпленням, контрольних операцій після переустановок і т. ін. Все це сприяло появі багатоопераційних верстатів зі ЧПК з автоматичною зміною інструмента, що дозволяють концентрувати велику кількість переходів за один установ; деталі типу тіл обертання мають найбільшу питому вагу в кількісному відношенні (до 60%) серед всієї номенклатури оброблюваних деталей. Ці деталі легко орієнтуються, піддаються впорядкуванню в накопичувачах, а поява ПР із автоматичною зміною загартбних пристроїв дозволяє сполучати транспортні завдання із завданнями завантаження-розвантаження технологічного встаткування, що дозволяє створювати ГВС із широким використання ПР.

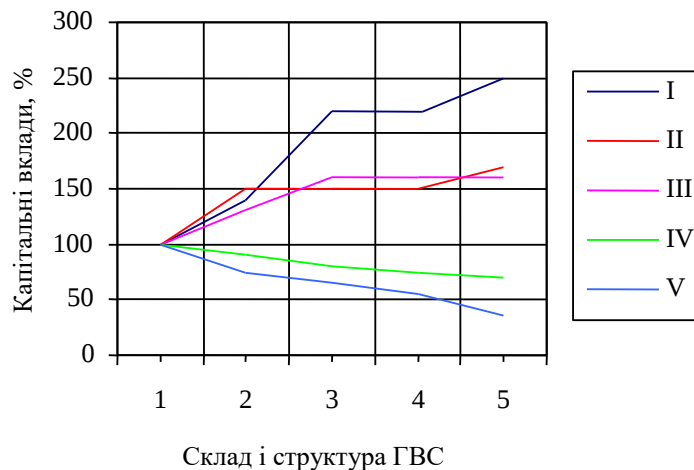


Рисунок 2.2 – Узагальнений графік ефективності ГВС: 1 – вісім стандартних верстатів з ЧПК типу CNC (4 токарних і 4 багатоцільових); 2 – вісім верстатів з ЧПК типу CNC модульної конструкції (4 токарних і 4 багатоцільових); 3 – вісім гнучких виробничих осередків (4 для токарної обробки і 4 для фрезерно-розточувальний); 4 – чотири комбінованих осередки (у кожній з яких по одному токарному і багатоцільовому верстаті і роботу); 5 – одна ГВС (4 токарні осередки і 4 багатоцільових верстати, автоматизована транспортна система заготовок, накопичувач супутників, центральна ЕОМ)

У цілому можна констатувати, що приблизно 30% всіх виробничих систем містять верстати, призначені спеціально для процесів токарної обробки, свердління і фрезерування. Верстати для свердління і фрезерування інтегруються приблизно в 70% ГВС, причому, як правило, мова йде про універсально оснащені центри з ЧПК. При цьому тільки свердлильні верстати, інтегровані в ГВС, відіграють переважну роль.

Якщо витрати на створення ГВС виразити через вартість виробу (IV), то зв'язок між останньою і гнучкістю (III), продуктивністю (II), капітальними вкладеннями (I), необхідною чисельністю персоналу (V), з одного боку, і складом і структурою ГВС, з іншого, може бути представлена графіком, наведеним на рис. 2.2.

Найбільші капітальні вкладення мають місце при створенні ГВС, однак собівартість виробів, що випускають на них, мінімальна.

Як видно з наведених даних, найбільші витрати пов'язані зі створенням обробних і транспортно-складських систем для деталей.

Витрати на керуючі обчислювальні комплекси становлять у середньому до 20%. Тому з метою зниження витрат на створення ГВС основна увага повинна бути спрямована на використання принципів агрегування типових рішень саме при створенні технологічної підсистеми ГВС, а також більш широке використання обчислювальних засобів на базі швидко прогресуючої мікропроцесорної техніки [41].

2.2 Аналіз технологічності виготовлення деталі «Вал» на оброблювальних центрах

Оцінка технологічності конструкції деталі – це важливий етап технологічної підготовки виробництва. Конструкція деталі є технологічною, якщо при її виготовленні і експлуатації витрати матеріалу, часу і засобів мінімальні. Оцінка технологічності проводиться якісно і кількісно з розрахунком показників технологічності за ISO 8887-1:2017 —. Якісна оцінка («добре», «погано») передуює кількісній [41,56].

Якісний аналіз технологічності. Комплекс критеріїв технологічності деталі, оброблюваної на верстатах із ЧПК, умовно можна розділити на дві групи. Перша група критеріїв визначає загальні вимоги до деталі; у другу групу входять критерії технологічності, що належать до оброблюваної поверхні. До загальних вимог належать: обґрунтований вибір матеріалу деталі і зв'язання вимог якості поверхневого шару (шорсткості поверхні, зміцнення, залишкових напружень у поверхневому шарі і т.д.) з маркою матеріалу деталі; забезпечення достатньої жорсткості конструкції; наявність або створення штучних технологічних баз, які використовуються при обробці; скорочення до мінімального числа установок заготовки при обробці; наявність елементів, зручних для закріплення заготовки в пристосуванні, причому затискні елементи повинні забезпечувати доступ для обробки всіх поверхонь деталі і високу жорсткість системи заготовка — пристосування; можливість обробки максимального числа поверхонь із однієї установки з використанням в основному консольно-закріпленого інструмента; відсутність або зведення до мінімуму глухих отворів і отворів, розташованих не під прямим кутом до основних координатних осей деталі (взаємне кутове розташування оброблюваних поверхонь повинне враховувати дискретність кутів повороту стола верстата і можливість використання стандартних кутових фрез); максимальна можлива уніфікація форми і розмірів оброблюваних елементів, що забезпечить їх обробку мінімальним числом інструментів і використання типових підпрограм, тобто скоротить витрати на підготовку програми; завдання координат оброблюваних елементів з урахуванням можливостей пристрою ЧПК верстата; форма деталі, зручна для автоматичного контролю.

Деталь, дана в завданні випускної роботи, виготовлюється із сталі 45 ДСТУ 1050-2015 (рис. 2.3).

Однією із самих стійких конструкційних вуглецевих якісних сталей, вважається сталь 45, тому що вона забезпечує нормалізацію,

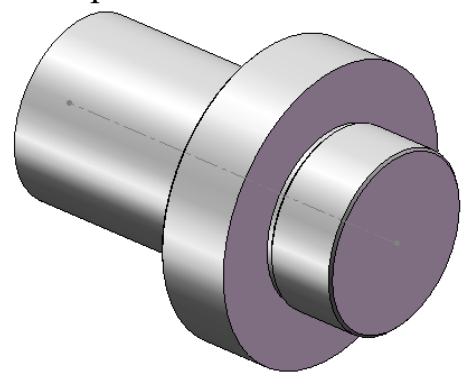


Рисунок 2.3 – Деталі типу «Вал».

поліпшення і підвергається поверхневій термічній обробці виробів.

У виробництві шестірень, бандажів, валів, колінчатих валів, розподільних валів, шпинделів, фрикційних дисків, зубчастих рейок, прокатних валків, і багатьох інших не відповідальних деталей сталь 45 вважається кращим вихідним матеріалом. Широко застосовується сталь 45 у виробництві різальних інструментів.

Вміст вуглецю $C \approx 0,45\%$ у сталі збільшує міцність сталі і її оброблюваність, а також дає високу чистоту поверхні при обробці різанням, але при збільшенні кількості вуглецю утрудняється обробка при збільшенні сили різання. Крайньою точкою збереження міцності сталі 45 є температура 200 градусів, при нагріванні виробу зі сталі 45 вище цього показника він втрачає міцність.

Вміст хрому $Cr \approx 0,25\%$ дозволяє одержати рівномірну твердість на всій поверхні деталі, що знижує похибку від пружних деформацій. Вміст марганцю $Mn \approx 0,5 - 0,8\%$ підвищує оброблюваність сталі.

Межа міцності 800 МПа, границя текучості 560 МПа, твердість у стані поставки $\approx 179...229$ НВ.

Підвищена міцність сталі 45 досягається за допомогою різних прийомів термічної обробки. Наприклад, до сталі 45 застосовують подвійну термообробку з високо температурним відпуском, у результаті чого забезпечується її стійкість до водневого розтікання.

Її недоліком є відпускна крихкість, дендритна ліквіація і флокнети. Можливість заміни на сталь 40, сталь 40X, сталь 50.

Аналіз точності і шорсткості. Вал має три із чотирьох діаметральних поверхонь 7 квалітету точності і має шорсткість поверхонь $Ra_{1,25}$, а саме це поверхні $\varnothing 40h7$, $\varnothing 69,5_{-0,03}$ і $\varnothing 69,95_{-0,03}$, це свідчить про те, що деталь відповідальна і в подальшому буде сполучатися із іншими елементами деталей вузла до, якого входить.

Точність 12 квалітету мають лінійні розміри $29,8_{-0,2}$ та $115,2_{-0,2}$ і шорсткість поверхонь Rz_{20} . У даному випадку чистота поверхонь обумовлюється тим, що вони безпосередньо будуть прилягати до поверхонь деталей із якими сполучатимуться.

Фаски і канавка виконані по 14 квалітету точності і шорсткістю Rz40.

Поверхня Ø114, а також інші поверхні виконані з граничними відхиленнями по 14 квалітету точності із шорсткістю Rz20.

Таким чином, можна зробити висновок, що конструктор назначив правильно високі квалітети точності і шорсткість під важливі поверхні і низькі для поверхонь, які не приймають важливої участі в контакті з іншими поверхнями.

Аналіз методів базування виробу. Заготовка встановлюється роботом у трикулачковий патрон і базується в ньому по зовнішньому діаметру Ø120 із упором в торець заготовки. Після обробки першої сторони деталі робот перевстановлює деталь начисто обробленою поверхнею Ø69,95_{-0,03} у той же трикулачковий патрон і оброблюється інша сторона деталі [55].

За рахунок того, що за весь час обробки деталі робиться лише два установи, досягається висока точність і відносно мала похибка оброблюваних поверхонь.

Аналіз технологічності конструктивних елементів деталі «Вал»

З точки ЗОТСу зручності обробки на металорізальних верстатах деталь повністю технологічна, так, як вона має поверхні, котрі обробляються при простих взаємних переміщеннях заготовки і ріжучих інструментів (циліндричні і торцеві поверхні). Ряд поверхонь уявляють собою уніфіковані поверхні, такі як: канавки, фаски, що дозволяє обробляти їх використовуючи стандартний ріжучий інструмент.

Після повного якісного аналізу можна сказати, що деталь є технологічною.

Кількісний аналіз технологічності деталі «Вал». Необхідність кількісної оцінки технологічності конструкції виробів, а також номенклатура показників і методика їх визначення встановлюються залежно від виду виробів, типу виробництва і стадії розробки конструкторської документації галузевими стандартами або стандартами підприємства.

Кількість показників повинна бути мінімальною, але достатньою для оцінки технологічності.

За допомогою коефіцієнтів обробки поверхні, уніфікованих оброблюваних поверхонь, точності обробки, шорсткості поверхні і співвідношення точність –

шорсткість проведена оцінка технологічності кількісним методом. Дані, необхідні для розрахунку коефіцієнтів представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Загальна таблиця поверхонь деталі.

№ п/п	Номинальний розмір	Шорсткість	Точність	Співвідношення	Уніфікація
1	150js14	Rz20	14	0	0
2	1×45°	Rz40	14	1	1
3	Ø69,6h7	Ra1,25	7	0	0
4	Ø67,5h14	Rz20	14	0	0
5	29,8h12	Rz20	12	1	0
6	Ø114h14	Rz20	14	0	1
7	2×45°	Rz40	14	1	1
8	R5	Rz20	14	1	1
9	Ø69,95h7	Ra1,25	7	0	0
10	115,2h12	Rz20	12	0	0
11	Ø40h7	Ra1,25	7	0	0
12	1x45°	Rz40	14	1	1
13	5js14	Rz20	14	1	0

1. Коефіцієнт обробки поверхонь:

$$K_{on} = 1 - \frac{P_o}{P} = 1 - \frac{13}{13} = 0, \quad (2.1)$$

де P_o – кількість оброблюваних поверхонь;

P - загальна кількість поверхонь.

2. Коефіцієнт уніфікованих оброблюваних поверхонь деталі:

$$K_{yn} = \frac{P_{oy}}{P_o} = \frac{5}{13} = 0,385, \quad (2.2)$$

де P_{oy} – кількість оброблюваних уніфікованих поверхонь;

P_o – кількість оброблюваних поверхонь.

3. Коефіцієнт точності обробки:

$$K_m = 1 - \frac{1}{T_{сер}}, \quad (2.3)$$

де $T_{сер}$ – середньозважений квалітет точності обробки поверхонь:

$$T_{сер} = \frac{1}{P_o} \cdot \sum_{k=1}^n T_k \cdot P_{ок} = \frac{1}{13} \cdot (14 \cdot 8 + 12 \cdot 2 + 7 \cdot 3) = 12.078, \quad (2.4)$$

де T_k – квалітет точності, $P_{ок}$ – кількість поверхонь заданого квалітету.

4. Коефіцієнт шорсткості поверхні:

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{сер}}, \quad (2.5)$$

де $Ш_{сер}$ – середньозважений клас точності обробки поверхонь:

$$Ш_{сер} = \frac{1}{П_o} \cdot \sum_{k=1}^n Ш_k \cdot П_{ок} = \frac{1}{13} \cdot (4 \cdot 3 + 5 \cdot 7 + 6 \cdot 3) = 5; \quad (2.6)$$

де $Ш_k$ – показник класу шорсткості, $П_{ок}$ – кількість поверхонь даного показника.

5. Коефіцієнт співвідношень «точність - шорсткість»:

$$K_{спів} = \frac{C_+}{П_o} = \frac{6}{13} = 0.462, \quad (2.7)$$

де C_+ - кількість співвідношень задовольняючих припустимим.

У цілому деталь є технологічною, оскільки при повній її обробці ($K_{ш}=0$ – немає необроблюваних поверхонь) майже половина поверхонь є уніфікованими ($K_{уп}=0,385$), а отже, ніякі спеціальні інструменти і режими різання не потрібні – це економія часу і грошей. Також, загалом, до деталі немає жорстких вимог по шорсткості (середній показник класу шорсткості дорівнює 5) і точності (середній квалітет точності поверхонь деталі дорівнює 12) до оброблюваних поверхонь – отже необхідна невелика кількість технологічних переходів. А співвідношення «точність-шорсткість» мають середній показник ($K_{спів}=0,462$) – виходить, ніяких додаткових операцій по зменшенню шорсткості або поліпшенню якості обробки не потрібно.

Тепер розглянемо технологічність деталі при обробці її на ГВМ. Основними параметрами, які закладають в основу оцінки ефективності обробки деталей на верстатах із ЧПК є:

- складність і технологічність деталі;
- число деталей у партії;
- технологічні можливості і економічні показники верстата;
- методи і засоби підготовки КП.

Складність деталі характеризується числом оброблюваних поверхонь, їхньою формою і розташуванням (рис.2.4), вимогами до точності.

Методика вибору оптимальної конструктивно-технологічної складності деталей розглянута в роботах Шелкового О. М. Згідно з даною методикою коефіцієнт складності обробки [57]:

$$C = C_k \cdot K_m \cdot K_p \cdot K_\epsilon \cdot K_n \cdot K'_\epsilon, \quad (2.8)$$

де C_k – коефіцієнт конструктивної складності, $C_k = a_k \cdot n$; a_k – коефіцієнт пропорційності (для деталей тіл обертання $a_k = 0,02$); n – число основних оброблюваних поверхонь (без обліку фасок, радіусів, скруглень і інших другорядних елементів $n=13$); K_m – коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу; для машинобудівних вуглецевих сталей із HB = 156–229: $K_m = 1,0 \dots 1,43$; для хромових і хромонікелевих сталей із HB = 179–269: $K_m = 1,43 \dots 1,66$; для інструментальних високо вуглецевих сталей із HB = 179–269: $K_m = 1,1$; для інструментальних легованих сталей із HB = 229–331: $K_m = 1,6 \dots 2,0$; для чавунів із HB = 143–295: $K_m = 1,9 \dots 3,0$; для алюмінієвих сплавів із HB = 10–50: $K_m = 0,4 \dots 0,5$. K_p – коефіцієнт, що враховує розмір оброблюваної деталі, визначається залежністю: $K_p = L_0 / L'_0$; $L_0 = L + D$; L – довжина деталі; D – її середній діаметр; L'_0 – базовий розмір, наприклад, 1200 мм; K_ϵ – коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_\epsilon = \left(\frac{1 - k}{1 - k'} \right) \cdot 0,6 + 0,4, \quad (2.9)$$

де $k = P_{дет} / P_{заг}$; $P_{дет}$, $P_{заг}$ – маса відповідно деталі і заготовки; k – середнє значення коефіцієнта використання матеріалу в машинобудуванні, $k = 0,7$;

k	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
K'	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,42;

K_m – коефіцієнт технологічності конструкції. K_n – коефіцієнт повноти обробки, $K_n = n_1 / n$; n_1 , n – число основних поверхонь деталі, оброблюваних відповідно на даній операції і на деталі; K'_ϵ – коефіцієнт, що характеризує вид операції (чорнова, чистова). Якщо на верстаті із ЧПК здійснюються чорнова і чистова обробки, $K'_\epsilon = 1$; якщо виконується тільки чорнова обробка, $K'_\epsilon = 0,6$;

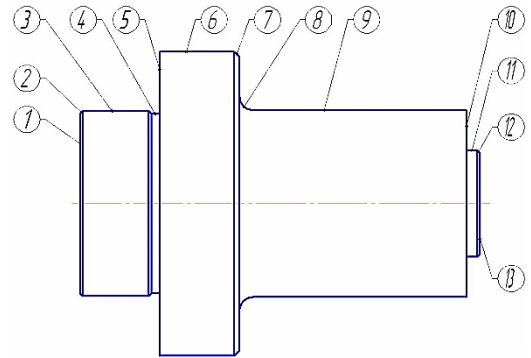


Рисунок 2.4 – Число оброблюваних поверхонь деталі типу «Вал».

для чистової обробки $K'_c = 0,4$. Трудомісткість обробки T пропорційна коефіцієнту складності деталі Z , тобто $T = Z$, де B – коефіцієнт пропорційності, що буде характеризувати ступінь новизни устаткування, на якому здійснюється обробка.

Тут продуктивність розглядається, як параметр, що характеризує технологічні можливості устаткування. Чим вище B , тим нижче трудомісткість обробки. Коефіцієнт складності деталі пропорційний штучному часу на обробку. За певних умов можна прийняти $Z = t_{um}$. Тоді коефіцієнт продуктивності при обробці партії деталей з n штук на верстатах із ЧПК можна представити так:

$$K_n = \frac{1}{1 + \frac{t_{n,z}}{t_{um}^n}} = \frac{1}{1 + \frac{t_{n,z}}{C^n}}, \quad (2.10)$$

З ускладненням деталі збільшується коефіцієнт продуктивності, підвищується ефективність використання верстатів з ЧПК і ГВС. Отже, чим конструктивно більш складною є оброблювана деталь, тим вище ефективність використання верстатів із ЧПК.

При визначенні ефективності використання верстатів з ЧПК вирішуються дві задачі:

- оптимальний вибір верстата із ЧПК для обробки заданої номенклатури деталей;
- оптимальний вибір конструкцій деталей для завантаження заданого устаткування – верстатів із ЧПК.

Перша задача є актуальною на стадії придбання верстатів для підприємства і раціонального розподілу устаткування між підрозділами, а друга – на стадії вибору деталей для обробки на верстатах із ЧПК.

При рішенні другої задачі особливі вимоги встановлюються до технологічності конструкцій деталей, форма і розміри якого повинні відповідати умовам обробки в автоматичному режимі.

Таким чином, складність розрахуємо за формулою (2.8), підставивши у неї значення попередньо встановлених параметрів, згідно із описом деталі:

$$C = (0,02 \cdot 13) \cdot (1,43|_{\text{HB}=156-229}) \cdot \left(\frac{72,19+150}{150} \right) \cdot \left(\frac{1-0,5}{1-1,4} \cdot 0,6 + 0,4 \right) \cdot 1 \cdot \left(\frac{9}{13} \right) \cdot 1 = 0,133$$

Коефіцієнт складності деталі 0,133 вказує на те, що деталь не відноситься до типу важкооброблюваних ($C > 1,6$), або нетехнологічних ($C < 0,1$) деталей для умов обробки у ГВС на верстатах із ЧПК. Тому можна зробити висновок: деталь є повністю технологічною для обробки у ГВС, та відповідає правилу: чим більш складною є конструкція деталі – тим більш вона технологічна для обробки на верстаті з ЧПК.

2.3 Мета і задачі технологічної частини випускної роботи

Ефективність виробництва, його технічний прогрес, якість випускаємої продукції багато в чому залежать від розвитку виробництва нового обладнання, машин, верстатів і апаратів, від усього впровадження методів техніко-економічного аналізу, що забезпечує рішення технічних питань і економічну ефективність технологічних і конструкторських розробок.

Значення постановки всіх цих питань при підготовці кваліфікованих кадрів фахівців виробництва, які повністю опанували інженерні методи проектування виробничих процесів, очевидно. У зв'язку із цим під час виконання випускної роботи закріплюються, поглиблюються і узагальнюються знання, отримані студентами під час лекційних і практичних занять.

Основною метою випускної роботи є дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГВМ IPT180ПМФ4 в умовах дрібносерійного виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Виконати конструкторсько-технологічний аналіз системи виготовлення деталі «Вал» на оброблювальних центрах в умовах дрібносерійного виробництва;
2. Розробити груповий технологічний процес для отримання деталі «Вал»;
3. Розробити керуючу програму отримання деталі «Вал» на оброблювальному центрі IPT180ПМФ4;
4. Розробити технологічне оснащення процесу виготовлення деталі

«Вал»;

5. Розробити імітаційну модель ГВМ IPT180ПМФ4;

6. Дослідити функціональні характеристики ГВМ IPT180ПМФ4 при обробці деталі «Вал».

При розробці технологічної документації необхідно скласти груповий маршрут обробки деталей, далі на його підставі розробити групові технологічні операції. Для складання повного технологічного процесу необхідно визначити припуски на операціях і режими різання для обробки деталі «Вал».

Необхідно враховувати особливості конструкції, габарити оброблюваної деталі для підбора основного і допоміжного устаткування, пристрою, а також для вибору способу транспортування і робота, що буде виконувати перенос деталей і заготовок.

За допомогою імітаційного моделювання необхідно визначити взаємне розташування всіх елементів технологічного процесу, а також час, що буде витрачатися на допоміжні дії.

3. РОЗРОБКА ГРУПОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ»

3.1 Аналіз видів технологічної підготовки виробництва при обробці виробу на оброблювальних центрах в умовах дрібносерійного виробництва

Технологічна підготовка виробництва – сукупність заходів, що забезпечують технологічну готовність виробництва. Остання визначається наявністю на підприємстві повних комплектів конструкторської і технологічної документації і СТО, необхідних для здійснення заданого обсягу випуску продукції із установленими техніко-економічними показниками.

У процесі конструювання виробничого процесу розроблювачі в максимально припустимих межах повинні враховувати конкретні виробничі умови підприємства-виготовлювача [55-57]:

- наявність уніфікованих, стандартних деталей і складальних одиниць, виготовлених підприємством або підприємствами-суміжниками;
- наявність засобів технологічного оснащення і контролю;
- наявність технологічного і нестандартного встаткування, транспортних засобів і т.д.

В одиничному і дрібносерійному виробництвах продовжують експлуатувати досить прості по конструкції універсальні верстати з ручним керуванням. Підвищення продуктивності на цих верстатах досягається шляхом оснащення верстатів спеціальними пристосуваннями і інструментом, частковою автоматизацією деяких переходів. При обслуговуванні верстатів оператор є активною ланкою в технологічному ланцюжку. Він визначає послідовність ходів, здійснює вибір і перемикає частот обертання шпинделя і деякою мірою є розроблювачем процесу.

Розрізняють чотири основних способи підвищення ефективності виробництва і економії: застосування прогресивних технологічних процесів; збільшення продуктивності встаткування; зниження трудових витрат; економія, отримана від проведення організаційно-технічних заходів і поліпшення якості виробів, що випускаються.

Створення і впровадження ГВК є одним з основних напрямків рішення проблеми підвищення продуктивності праці і скорочення частки ручної праці, підвищення якості випускаючої продукції, у першу чергу в умовах дрібносерійного і серійного виробництва.

Границі між областями застосування верстатів усереднені і можуть зміщатися під впливом факторів (складність деталей, їхні розміри і ін.). Такий підхід відповідає на запитання про місце багатофункціональних верстатів (БВ) у сучасному виробництві (рис. 3.1).

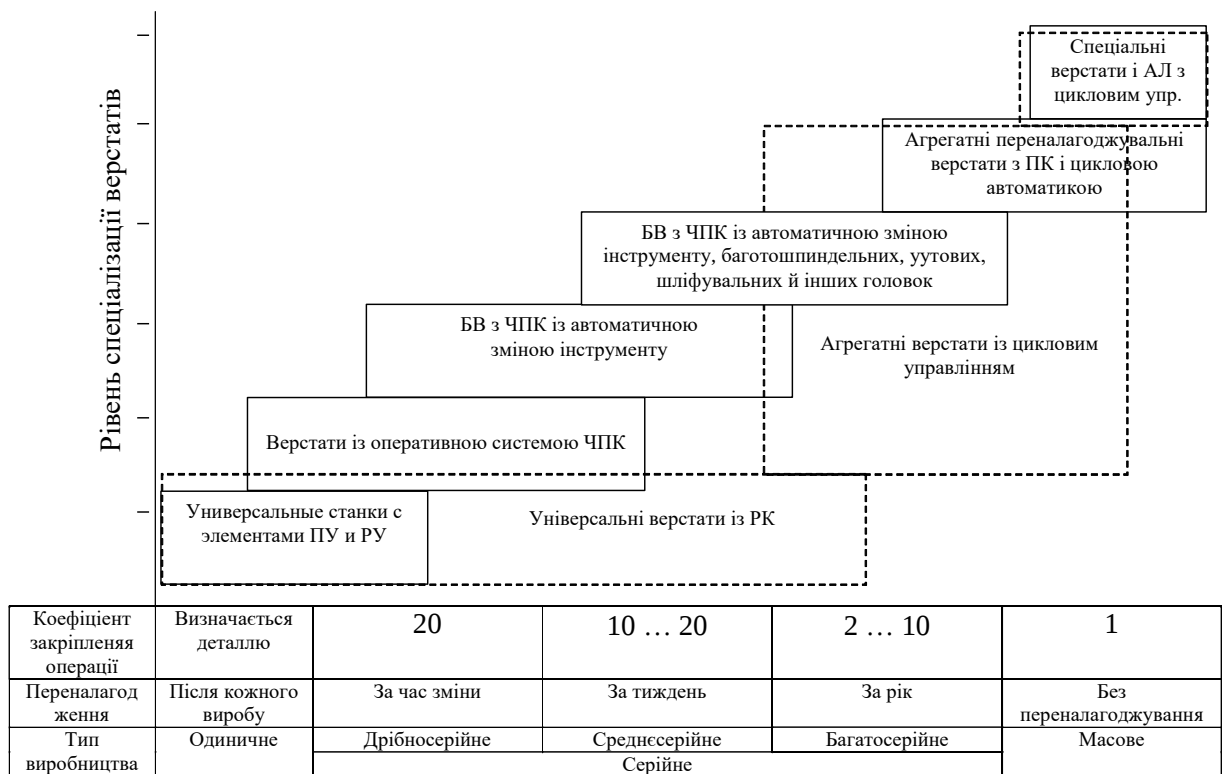


Рисунок 3.1 – Спеціалізація верстатів: ПК – програмне керування; РК – ручне керування

З погляду видів, форм, призначення, розмірів, маси або матеріалу оброблюваних деталей ГВС практично не мають обмежень. 75 % всіх створених систем призначені для обробки корпусних деталей, інші – для деталей типу тіл обертання. Більшість систем призначена для обробки деталей розміром від 200 до 1000 мм. Час циклу обробки деталі на верстаті коливається від декількох хвилин до 180 хв. при середньому часі обробки 40 хв.

Звичайно в машинобудуванні з погляду обсягу випуску виробництво підрозділяється на одиничне, серійне і масове. До одиничного виробництва відносять деталі, що випускають партіями по 10 шт. для великогабаритних

виробів (літаки, більші турбіни, насоси і ін.) і по 300 шт. для простих виробів; до серійного виробництва – відповідно від 10 до 300 шт. (морські двигуни, великогабаритні електромотори, промислові трактори і ін.) і 300...15000 шт.; до масового виробництва – відповідно понад 200 шт. (великі вироби) і понад 10000 шт. (автомобілі, кріпильні вироби, холодильники, побутові прилади і ін.).

Аналіз діючих ГВС показує, що на них обробляються деталі партіями від 3 до 500 шт. Однак на окремих ГВС випускаються деталі партіями в кілька тисяч штук.

Застосування ГВС доцільно, коли обсяги виробництва виробів недостатні для прийняття рішень про тверду автоматизацію з використанням автоматичних ліній і коли за очікуваний строк життя виробу витрати на створення автоматичних ліній не можуть бути виправдані.

На рис. 3.2 наведена діаграма, яка показує область застосування ГВС у порівнянні з універсальними верстатами, спеціалізованими автоматами, верстатами зі ЧПК і ОЦ залежно від розміру партії і вартості виробництва [31].

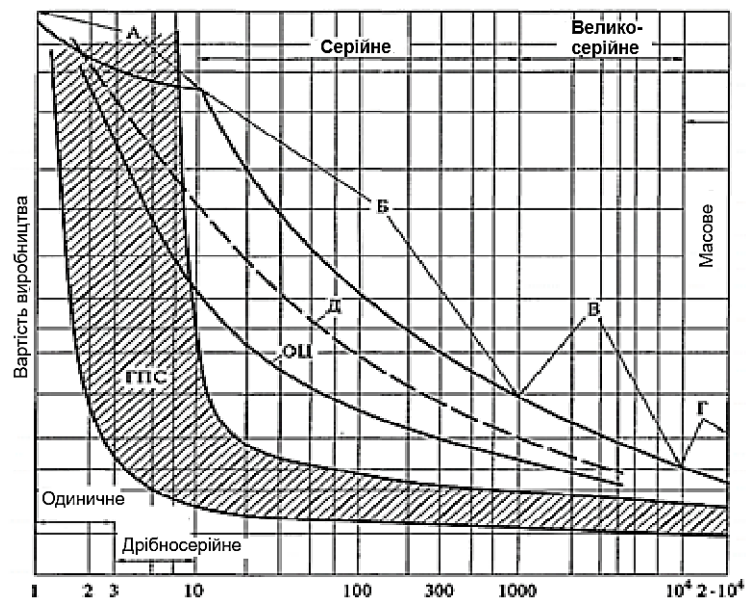


Рисунок 3.2 – Діаграма областей застосування металорізального встаткування залежно від розміру партії і вартості виробництва: А...Д, ОЦ – традиційне виробництво: А – універсальне; Б – спеціалізоване; В – спеціальні верстати; Г – автоматичні лінії; Д – верстати зі ЧПК; ОЦ – оброблювальні центри; ГВС: верхня границя – не інтегроване виробництво, нижня – повністю інтегроване виробництво.

Основні характеристики ГВМ: здатність працювати обмежений (3-12 год.) час без особистої участі оператора, автоматичне виконання операцій, легкість налагодження, усунення простоїв і введення змін у керування; легкість вбудовування в існуючі виробництва і у ГВС більш високого рівня; економічна ефективність.

3.2 Розробка групового маршруту виготовлення деталі «Вал» у системі SolidCAM

Групові ТП – один із напрямків уніфікації ТП (уперше запропоновані і розроблені проф. СП. Митрофановим) знайшли широке застосування в різних галузях промисловості [49].

За основу методу приймають технологічну класифікацію деталей, що закінчується формуванням груп. Однак побудова класифікації деталей для групової обробки істотно відрізняється від класифікації деталей при типізації ТП. При груповій обробці основною ознакою об'єднання деталей у групи по окремим технологічним операціям є спільність оброблюваних поверхонь або їхніх сполучень, тобто спільність устаткування, необхідного для обробки деталі або окремих її поверхонь. Очевидно, що до складу групи можуть включатися заготовки різної конфігурації (рис. 3.3). У цьому змісті поняття групи значно ширше поняття типу деталей, що є основою побудови типового процесу. Тому групові методи обробки характерні для обробки деталей із широкою номенклатурою, типової для одиничного, дрібносерійного виробництва.

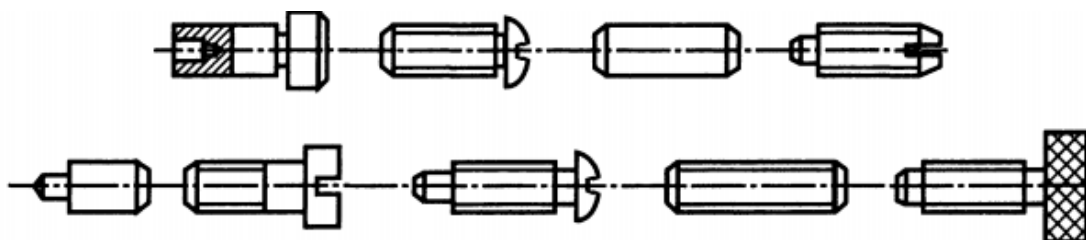


Рисунок 3.3 – Приклади деталей, оброблюваних по одному груповому ТП

Саме в цих умовах даний метод створює всі необхідні передумови для організації групового виробництва, що характеризується спільним виготовленням або ремонтом груп виробів різної конфігурації на спеціалізованих робочих місцях.

При формуванні груп деталей ураховують наступні ознаки: спільність оброблюваних поверхонь, їхня точність і шорсткість, однорідність матеріалу заготовок, близькість їхніх розмірів, що дозволяє обробляти деталі на тому самому встаткуванні в однотипних пристосуваннях, серійність випуску і трудомісткість обробки деталей. В умовах одиничного, дрібносерійного виробництва в групи поєднують до 60-80 деталей. Проводять економічний розрахунок розмірів груп і розробляють схему групового налагодження кожного верстата для найбільш складної заготовки групи, що включає в себе всі поверхні, що зустрічаються в інших заготовках. Якщо в складних заготовках відсутні поверхні, характерні для інших більш простих заготовок, то ці поверхні штучно додають у креслення. Таку ускладнену деталь називають комплексною. У цей час групові процеси розробляють для обробки деталей на токарних автоматах, револьверних, агрегатних і багатоопераційних верстатах (оброблювальних центрах).

Типізація ТП, методи групової обробки деталей дозволяють не тільки істотно скоротити трудомісткість технологічної підготовки виробництва, знизити витрати на встаткування і оснащення, але і забезпечують максимальне завантаження верстатів (завантаження верстатів зі ЧПК підвищується в 2,4 рази), підвищують серійність деталей. Саме ці напрямки автоматизації виробництва роблять досить перспективним створення комплексної системи типових ТП (модулів) і агрегатованого спеціалізованого встаткування. Використання технологічних модулів може забезпечити вибір найбільш прогресивних ТП і на 30...35 % знизити трудомісткість їхньої розробки. Застосування конструкційних модулів дозволяє скорочувати строки проектування нового обладнання в 3-4 рази, а також вибирати оптимальні конструкторські рішення. Груповий технологічний процес призначений для спільного виготовлення або ремонту групи виробів різної конфігурації в конкретних умовах виробництва на спеціалізованих робочих місцях. Головною технологічною одиницею ГТП є технологічна група. У групу поєднуються деталі, які мають спільні встаткування, оснащення і маршрут обробки, необхідні для одержання виробу [49,56,57].

Груповий технологічний процес виготовлення деталей типу «Вал» сформований в автоматизованій системі підготовки технологічної документації SolidCAM у наступній послідовності:

1. Розроблено узагальнений маршрут обробки деталі «Вал»;
3. Сформовано групові технологічні операції обробки виробу;
3. Підібрано основне і допоміжне устаткування, технологічне оснащення і різальний інструмент;
4. Визначено розрахункові залежності припусків на обробки поверхонь, режимів обробки, норм часу;
5. Сформовано ескізи обробки;
6. На основі ГТП в автоматизованому режимі сформовано конкретний технологічний процес виготовлення деталі «Вал»;
7. Проведено перевірку правильності їхнього створення;
8. Підготовлено організаційно-технологічну документацію.

Першим завданням при розробці групового технологічного процесу було складання групового маршруту обробки – визначення послідовності обробки різних видів поверхонь деталі залежно від типу виробництва.

Далі з маршруту складаються операції, які характеризуються певним типом основного устаткування. Також підбирається допоміжне устаткування, технологічне оснащення і інструмент вже для переходів. Здійснюється вибір припусків на кожну поверхню деталей, а також режимів різання і норми часу обробки, і ці дані заносяться в загальний технологічний процес.

При формуванні маршруту обробки кожної поверхні деталей типу «Вал» був привласнений певний код, що далі вказується на карті ескізів. Вказавши коди поверхонь, що входять у деталь, складаємо конкретний технологічний процес цієї деталі із вже заданими для обробки параметрами [41,52].

За допомогою даної програми спочатку був складений груповий маршрут обробки деталі типу «Вал» (рис. 3.4). При цьому всі операції, при обробці, здійснюються на ГВМ IPT180ПМФ4.

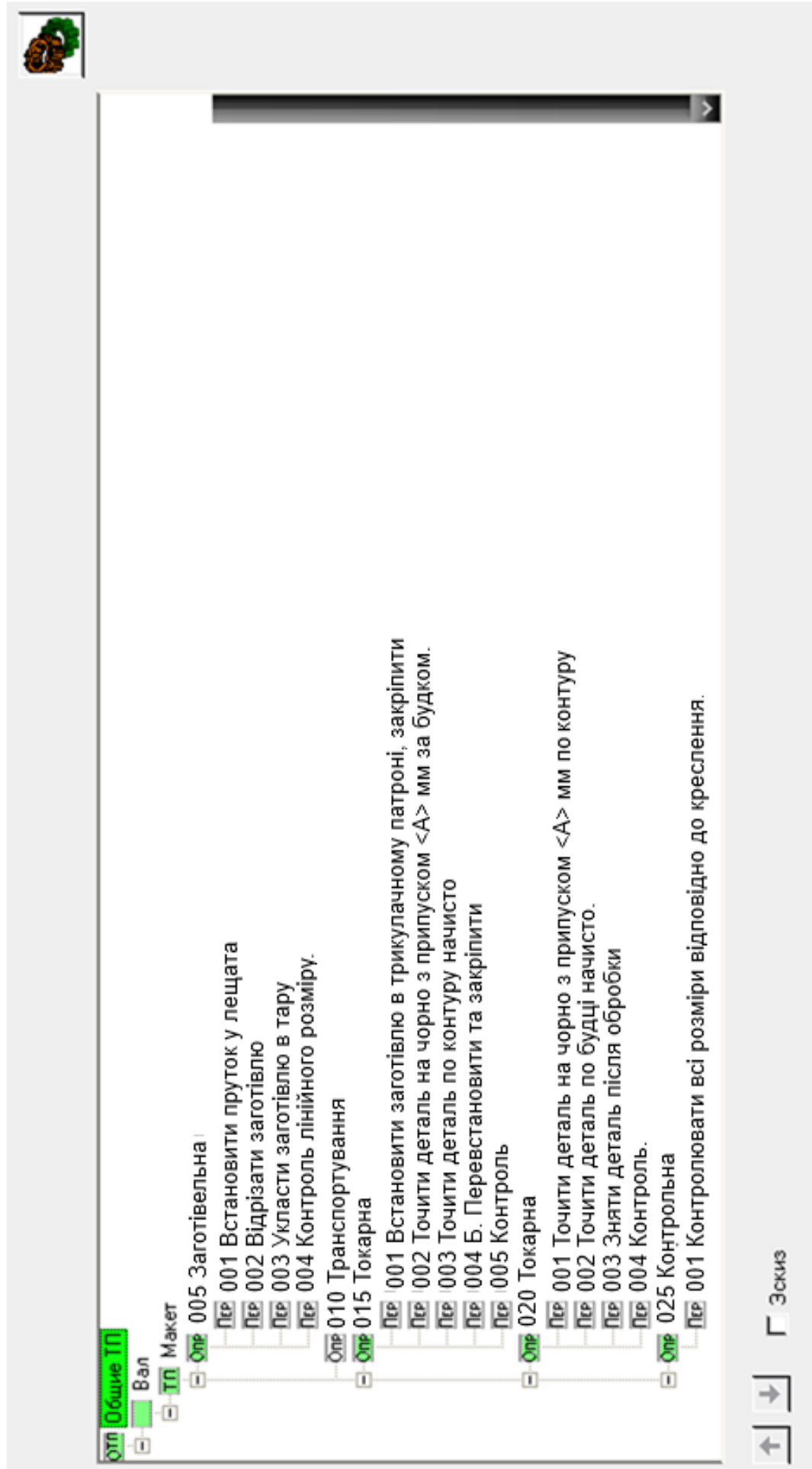


Рисунок 3.4. – Групповый ГП на обработку деталей типа «Вал»

Операція 005 заготівельна на ній із каліброваного прутка відрізають заготовки необхідної довжини.

На 015 та 020 операціях виконується чорнова і чистова контурна обробка деталі за програмою.

На останній 025 операції виконують остаточний контроль усіх розмірів деталі.

3.3 Розробка групових технологічних операцій отримання деталі «Вал» у системі SolidCAM

Необхідність концентрації операцій на верстаті з метою комплексної обробки тіл обертання за один установ привела до створення багатоцільових токарно-фрезерно-свердлильно-розточувальних верстатів зі ЧПУ і РТК на їхній базі.

Групову технологічну операцію розробляють для виконання технологічно однорідних робіт при виготовленні групи виробів на спеціалізованому робочому місці при можливості часткового підналагодження СТО. Так, при складанні даного ТП урахувалася обов'язкова властивість групового ТП – спільність типів устаткування: при обробці різних деталей однієї групи використовується однакове устаткування, і по можливості - однакове оснащення і різальні інструменти.

При формуванні ОТП у кожен перехід обробки елемента вноситься його код. Якщо код указується перший раз, то система запитує підтвердження на його внесення.

При відповіді «Так» код елемента вноситься як у перехід, так і в список елементів у Макеті ОТП (рис. 3.5).

Заповнення цього списку і введення параметрів кожного з елементів має важливе значення. При створенні нової деталі в КТП, після вибору кнопки [Призначити] і вказівки ОТП, цей список елементів і їхніх параметрів копіюються з Макета ОТП у список елементів і параметрів Деталі КТП.

Так, як список елементів у макеті ОТП містить елементи, обробка яких внесена в переходи ОТП, то після копіювання цього списку в Деталь КТП із

нього можна видалити елементи, яких немає на кресленні конкретної деталі. Для елементів, що залишилися, заповнюються значення розмірів і параметрів якості. Це значно прискорює створення опису конкретної деталі і проектування ТП її виготовлення [15-17].

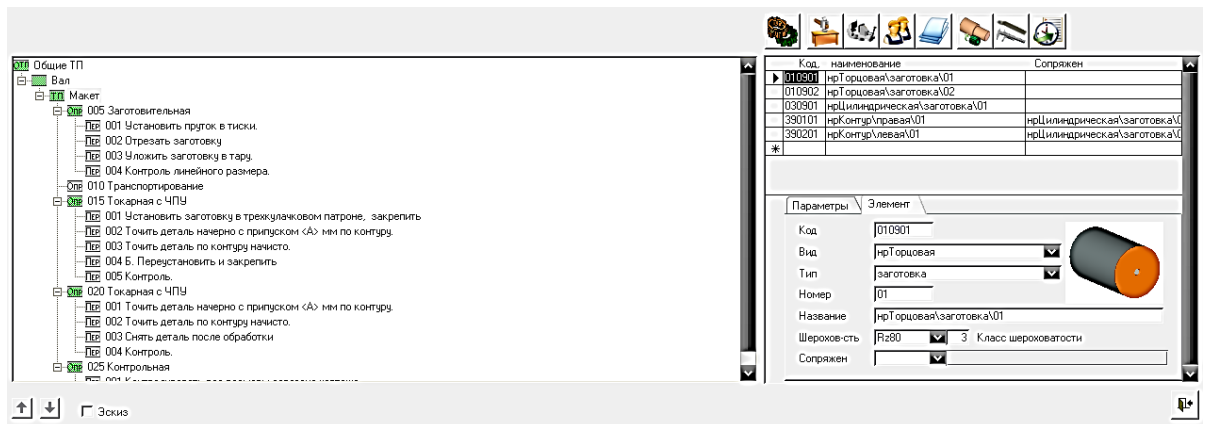


Рисунок 3.5 – Внесення коду елемента 010901 у Макет ОТП

Для кожного елемента в Макеті ОТП можна внести перелік параметрів, які її описують. Кількість параметрів і їхні імена не обмежені. Кожному параметру можна задати найменування, а також задати як числове значення, так і список текстових значень.

Перед введенням специфічних параметрів елемента можна отримати список стандартних параметрів. Для цього треба вибрати закладку «Елемент», а потім вибрати закладку «Параметри» (рис. 3.6).

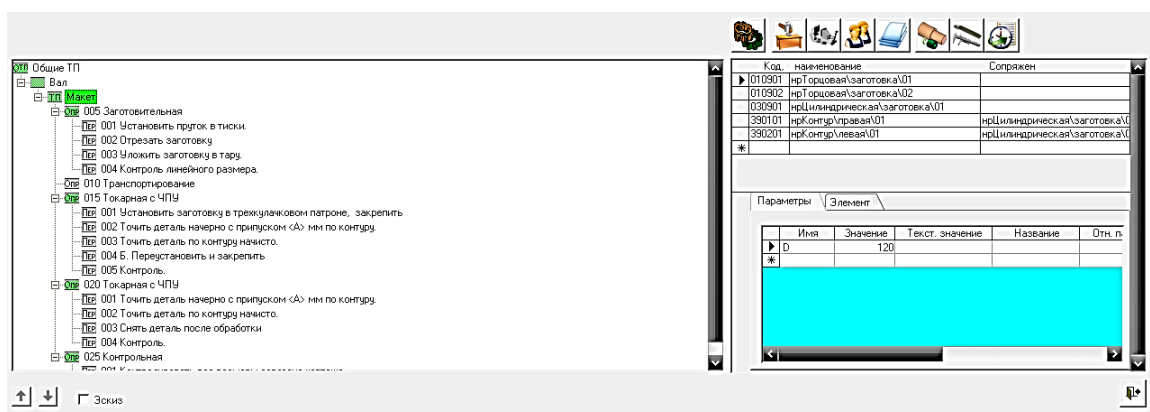


Рисунок 3.6 – Внесення параметрів елемента 010901 у Макет ОТП

Перелік стандартних параметрів для елемента кожного Виду можна перевизначити в довіднику «Конкретні параметри».

Кожному стандартному параметру можна привласнити нестандартне найменування і задати як числові, так і текстові значення.

Нестандартні параметри можна вводити із клавіатури в нижній, порожній рядок списку. До параметра можна ввести з найменування, числове і текстове значення.

Для кожної операції можна задати, у якому цеху, на якій ділянці і робочому місці вона виконується. Указується встаткування, пристосування, які використовуються, допоміжні матеріали, змащувально-охолоджувальну рідину, шифри інструкцій з техніки безпеки, засоби, інструменти, комплектуючі або тару. Вибір цих елементів операції можна ставити у відповідність із виконанням Умов, внесених у Базу умов і розрахунків, задати послідовність обробки Умов при автоматичному проектуванні. Для кожного технологічного оснащення можна вказати код підрозділу, одиницю нормування, кількість/норму витрати, одиницю величини.

Крім того, в операцію можна ввести: у закладку «Умови» – умови, при виконанні яких ця операція застосовується в проектованому ТП і коментарі до операції; у закладку «В карту» – параметри для заповнення шапок технологічних карт; у закладку «Тип карти» – тип технологічних карт, у які необхідно видавати цю операцію; у закладку «Параметри» – додаткові параметри операції для видачі в карти ТП або використання в Умовах (рис. 3.7, 3.8).

The screenshot displays a software interface for configuring a manufacturing operation (015). The interface is split into two main sections. The left section, titled 'Операция: Токарная с ЧПУ', contains a list of equipment and materials. It includes fields for 'Цех' (Shop), 'Участок' (Section), 'Раб. место' (Workplace), and '№ операции' (Operation number). Below these are lists of equipment (e.g., 'Б. Токарно-многоцелевой патронный полуавтомат ИРТ180ПМ') and materials (e.g., 'ПР Патрон D200 7100-0007 ГОСТ 2675-80'). The right section, titled 'Точить деталь начерно с припуском <A> мм по контуру', shows a 3D model of a part and a list of conditions. It includes fields for '390101', 'Нр.Контур\правая\01', and '№ перехода' (Transition number). Below these are lists of conditions (e.g., 'РИ режущий инструмент, СИ измерительный, ВИ вспомогательный, ПР, М:'). Both sections have tabs for 'Условия' (Conditions), 'Параметры' (Parameters), 'Нормы' (Norms), 'Работы' (Work), and 'Тип карты' (Map type).

Рисунок 3.7 – Формування операції 015

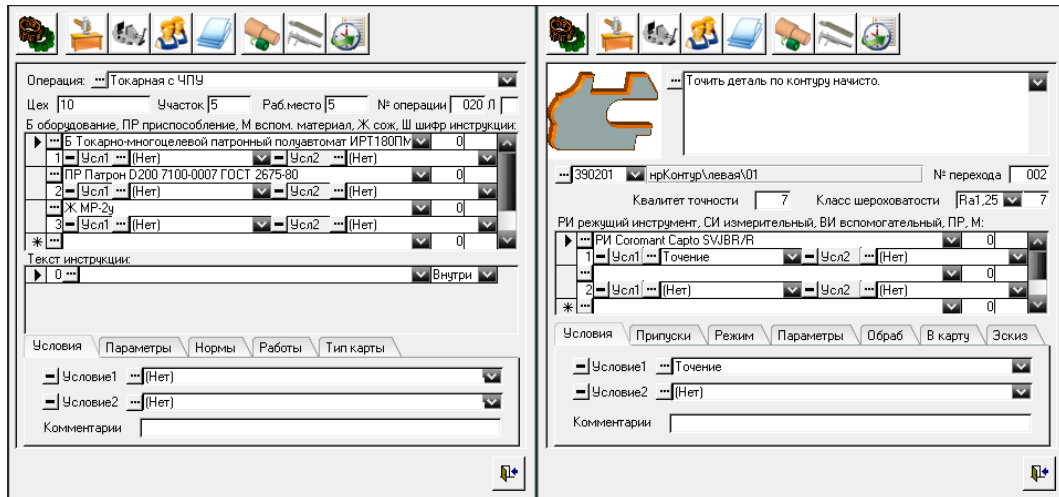


Рисунок 3.8 – Формування операції 020

У закладці «В карту» знаходяться прапорці включення функцій видачі переходу в карту ТП. У закладці «Обработка» знаходиться прапорець «Не выдавать допуски», поле для вказівки сполученої поверхні, поля для вказівки норм основного T_o і допоміжного T_b часу.

У закладці «Эскиз» указується ім'я файлу узагальненого ескізу із графічним зображенням цієї операції або установка операції, а також номер ескізу.

Так, як ОТП містить узагальнені описи операцій і переходів виготовлення групи деталей, то:

1. Розходження розмірів оброблюваних елементів різних деталей ураховуються через використання параметричних текстів переходів. У них стоять не конкретні розміри, а тільки їх змінні. Підбор інструментів здійснюється під виконувані розміри за правилами, внесеним у Базу умов і розрахунків. Розрахунок режимів обробки і норм часу – за правилами, внесеним у Базу умов і розрахунків.

3. Розходження по кількості елементів у різних деталях ураховується введенням максимальної-можливої кількості переходів обробки елементів одного «Класу», «Виду» і «Типу» або використанням «шаблонів» кодів елементів.

3. Розходження по якості обробки елементів ураховується вказівкою в кожному переході параметрів якості, які необхідно отримати, (точності і шорсткості). Якість обробки повинна поліпшуватися від операцій чорнової обробки (наприклад, токарної) до фінішних операцій (наприклад, шліфувальної).

4. Розходження в технології виготовлення залежно від матеріалу деталі, її твердості, типу заготовки, габаритів, масштабів виробництва і багатьох інших параметрів враховуються через перевірку виконання Умов з Базис умов і розрахунків.

До кожного переходу операції ОТП або одному з них прикріплюється файл із узагальненим графічним зображенням операційного ескізу цієї операції, або установка.

У процесі автоматичного формування ТП, система SolidCAM копіює переходи з ОТП у КТП, разом з переходами копіюються імена файлів ескізів.

При цьому у КТП можна відкрити графічний файл узагальненого ескізу, скорегувати його, привести у відповідність оброблюваним розмірам.

Створені в такий спосіб ескізи SolidCAM можуть автоматично встановлюватися у формовані карти ТП [15-17].

У переходах ОТП ім'я файлу узагальненого ескізу вказується в закладці «Ескіз». Створені комплексні ескізи підключені до останніх переходів механічної обробки (рис. 3.9).

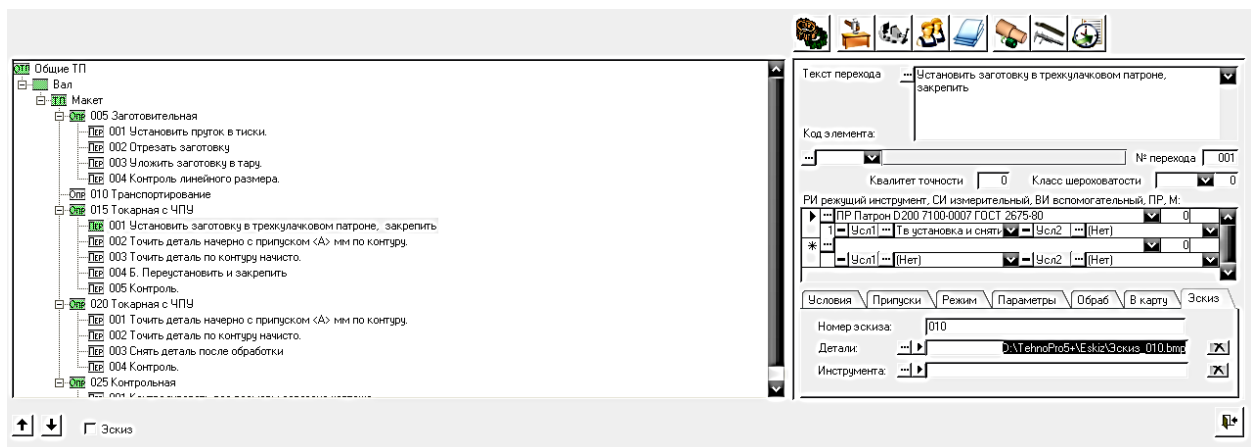
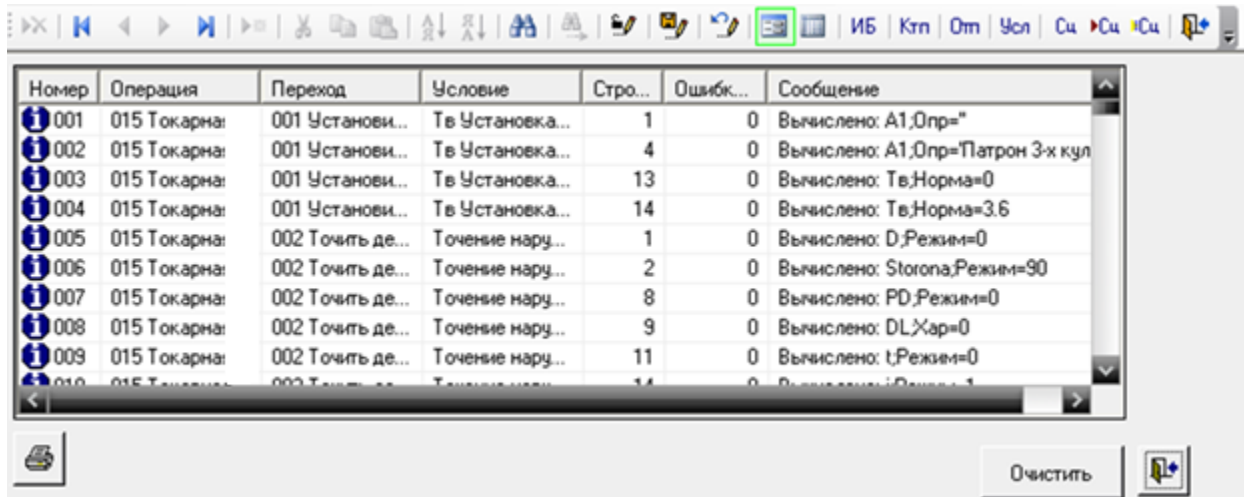


Рисунок 3.9 – Підключення ескізу до переходу

Так, як після автоматичного проектування, ТП проглядається в режимі діалогу, то доступні всі прийоми коректування: переміщення операцій або переходів; видалення, додавання, копіювання операцій і переходів, зміна їхнього змісту вибору технологічного оснащення з Інформаційної бази; зміна текстів переходів із клавіатури; напівавтоматичне проектування з використанням кнопки «Перерахувати».

У ході автоматичного проектування ТП SolidCAM записує повідомлення про результати проектування в журнал.

Кожен рядок журналу містить відомості про виконані в Умовах розрахунках, перевірках, підборі оснащення. У журналі містяться повідомлення про не технологічність елементів конструкції (якщо в ОТП немає операцій і переходів обробки поверхні зазначеного коду), або про те, що не можуть бути досягнуті необхідна точність і шорсткість виготовлення поверхні (рис. 3.10).



Номер	Операция	Переход	Условие	Стро...	Ошибк...	Сообщение
001	015 Токарна:	001 Установи...	Тв Установка...	1	0	Вычислено: A1;Опр=
002	015 Токарна:	001 Установи...	Тв Установка...	4	0	Вычислено: A1;Опр=Патрон 3-х кул
003	015 Токарна:	001 Установи...	Тв Установка...	13	0	Вычислено: Тв;Норма=0
004	015 Токарна:	001 Установи...	Тв Установка...	14	0	Вычислено: Тв;Норма=3.6
005	015 Токарна:	002 Точить де...	Точение нару...	1	0	Вычислено: D;Режим=0
006	015 Токарна:	002 Точить де...	Точение нару...	2	0	Вычислено: Storona;Режим=90
007	015 Токарна:	002 Точить де...	Точение нару...	8	0	Вычислено: PD;Режим=0
008	015 Токарна:	002 Точить де...	Точение нару...	9	0	Вычислено: DL;Хар=0
009	015 Токарна:	002 Точить де...	Точение нару...	11	0	Вычислено: t;Режим=0
010	015 Токарна:	002 Точить де...	Точение нару...	14	0	Вычислено: i;Режим=1

Рисунок 3.10 – Журнал формування КТП

У такий спосіб у системі SolidCAM був створений загальний груповий технологічний процес обробки деталі типу «Вал». ОТП передбачає формування макетів операційних технологій обробки деталі, розробку макетів технологічних переходів і ескізів (комплексних) по цих переходах.

На підставі спроектованого ОТП, був сформований конкретний технологічний процес (КТП).

У результаті була сформована технологічна документація по обробці деталі «Вал», яка приведена у додатках А і Б.

3.4 Розрахунок технологічних розмірних ланцюгів отримання деталі «Вал»

Розмірна схема технологічного процесу складається і оформляється наступним чином. Викреслюється ескіз деталі в одній або двох проекціях, залежно від її конфігурації. Для тіл обертання досить однієї проекції, при цьому можна викреслити тільки половину деталі по осі симетрії. Для корпусних

деталей може знадобитися дві або навіть три проекції залежно від розташування розмірів довжин [32,34].

Над деталлю вказуються розміри довжин з допусками, задані конструктором. Для зручності складання розмірних ланцюгів, конструкторські розміри позначаються буквою A_i , де i – порядковий номер конструкторського розміру. На ескіз деталі умовно наносяться припуски Z_m , де m – номер поверхні, до якої ставиться припуск. Всі поверхні деталі нумеруються по порядку зліва на право. Якщо в завдання технолога не входить визначення розмірів заготовки і загальних припусків і він має справу вже з готовими розмірами заготовки, то нумеруються тільки ті поверхні, які утворюються після виконання кожного технологічного переходу, а з необроблених нумеруються тільки ті поверхні, які використовуються як технологічні бази на перших операціях. Через нумеровані поверхні проводяться вертикальні лінії. Між вертикальними лініями, знизу вгору, указуються технологічні розміри, отримані в результаті виконання кожного технологічного переходу. Технологічні розміри позначаються буквою S_k , де k – порядковий номер переходу. Розміри заготівлі позначаються буквою Z_r , де r – порядковий номер поверхні заготовки. Праворуч від розмірної схеми для кожної операції складаються схеми технологічних розмірних ланцюгів.

Якщо технологічний розмір збігається з конструкторським, то одержуємо дволанковий розмірний ланцюг. Замикаючі ланки на всіх схемах розмірних ланцюгів містять у квадратні дужки. Виявлення розмірних ланцюгів за розмірною схемою починається з останньої операції, тобто за схемою зверху вниз. У такій же послідовності виробляється і розрахунок розмірних ланцюгів. При цьому необхідно, щоб у кожному новому ланцюзі був невідомий тільки один розмір.

На останній операції (рис. 3.11) виконується розмір S_9 , що збігається з конструкторським розміром A_2 , тому для його визначення складений дволанковий розмірний ланцюг. А також технологічні розміри S_8 , S_7 і S_4 , збігаються з конструкторськими розмірами A_3 , A_4 і A_1 відповідно, тому для них також складені дволанкові розмірні ланцюги. Розмір S_6 визначиться з технологічного розмірного ланцюга, що складається з розмірів S_6 , S_8 і Z_8 . Замикаючою ланкою цього ланцюга є припуск Z_8 . Для визначення розміру S_5 складений розмірний ланцюг з розмірів S_5 , S_9 , і Z_6 . Замикаючою ланкою цього

ланцюга буде припуск Z_6 . Розміри S_3 і S_2 визначиться з технологічних розмірних ланцюгів, що складається з розмірів S_3 , S_4 і Z_3 і S_2 , S_7 і Z_{10} відповідно. Замикаючими ланками цих ланцюгів є припуски Z_3 і Z_{10} . Аналогічно виявляються розмірні ланцюги і складаються схеми для визначення розмірів заготовки Z_1 і Z_3 .

На підставі складених схем розмірних ланцюгів виконується визначення типів складових ланок і складання вихідних рівнянь, а потім їхній розрахунок. Для розглянутого прикладу вихідні рівняння в послідовності їхнього розрахунку приведені нижче:

$$1. A_2 = S_9 \text{ визначається розмір } S_9.$$

$$3. A_3 = S_8 \dots\dots\dots S_8.$$

$$3. A_4 = S_7 \dots\dots\dots S_7.$$

$$4. Z_8 = S_6 - S_8 \dots\dots\dots S_6.$$

$$5. Z_6 = S_5 - S_9 \dots\dots\dots S_5.$$

$$6. A_1 = S_4 \dots\dots\dots S_4.$$

$$7. Z_3 = S_3 - S_4 \dots\dots\dots S_3.$$

$$8. Z_{10} = S_2 - S_7 \dots\dots\dots S_3.$$

$$9. Z_5 = S_1 - S_3 \dots\dots\dots S_1.$$

$$10. Z_2 = Z_1 - S_1 \dots\dots\dots Z_1.$$

$$11. Z_{11} = S_1 - S_2 + Z_2 \dots\dots\dots Z_3.$$

Виявлення розмірних ланцюгів безпосередньо за розмірною схемою технологічного процесу в ряді випадків може виявитися досить трудомістким завданням, тому що технологічні розмірні ланцюги часто є зв'язаними розмірними ланцюгами. Тому необхідно, щоб у кожному розмірному ланцюзі був тільки один конструкторський розмір або один розмір припуску, які є замикаючими ланками технологічних розмірних ланцюгів. Прикладом такої важкої для виявлення розмірного ланцюга служить ланцюг із замикаючою ланкою Z_{11} . Труднощі виявлення технологічних розмірних ланцюгів безпосередньо за розмірною схемою пояснюються тим, що вони виступають на схемах не явно, а в схованому виді. Тому виявлення їх носить чисто умоглядний характер [30-32].

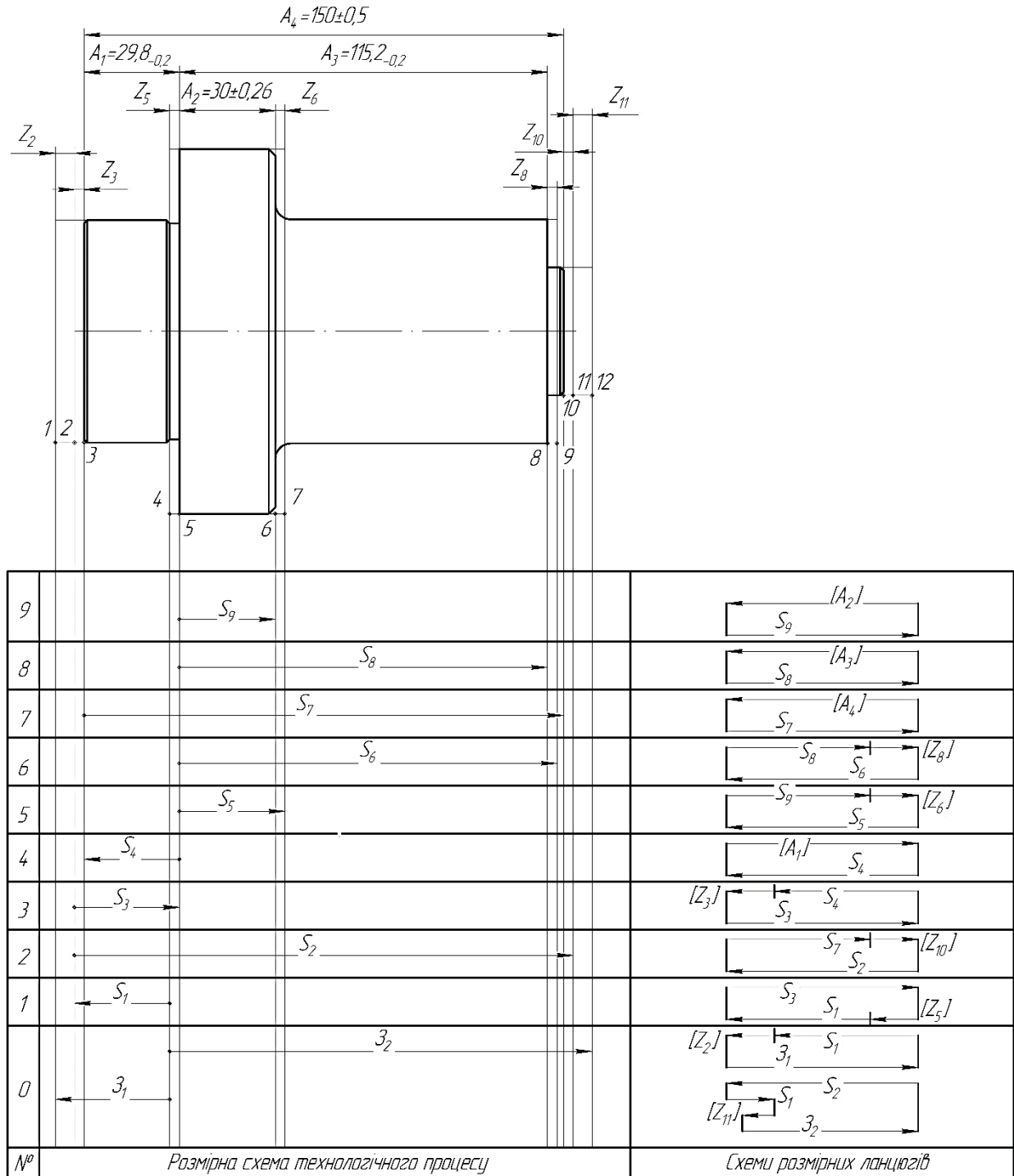


Рисунок 3.11 – Розмірний аналіз технологічного процесу обробки ступінчатого валу

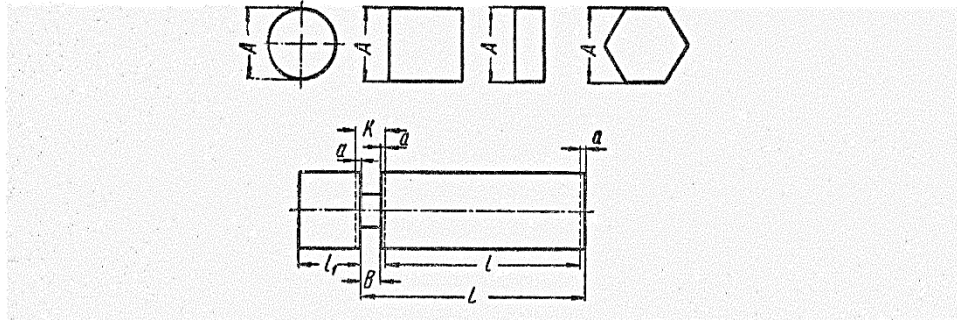
3.5 Визначення припусків на операціях виготовлення деталі «Вал» на оброблювальному центрі IPT180ПМФ4

Метод одержання заготовок, а як наслідок і визначення величин припусків, значною мірою визначається розмірами програмного завдання і технічних можливостей заготівельних цехів підприємства або можливостями одержання прогресивних заготовок від спеціалізованих підприємств,

матеріалом деталі, її призначенням і технічними вимогами на виготовлення, формою поверхні і розмірами.

Враховуючи тип виробництва (дрібносерійний), вибираємо в якості заготовки – калібрований пруток Ø120 мм. Табличним методом на основі даних про деталь, по табл. 3.1 визначаємо припуски на обробку заготовки і деталі.

Таблиця 3.1 – Допуски по довжині на відрізку пруткового і профільного матеріалу [34, 37]



Діаметр прутка, мм	Припуск на одну торцеву поверхню, мм	Загальний припуск на довжину заготовки (обидва торці), мм
До 10	0,5 – 1,0	1,0 – 2,0
10 – 20	1,0 – 1,5	2,0 – 3,0
20 – 40	1,5 – 2,0	3,0 – 4,0
40 – 60	2,0 – 3,0	4,0 – 6,0
60 – 100	3,0 – 4,0	6,0 – 8,0
Понад 100	4,0 – 6,0	8,0 – 12,0

Примітки

1. Припуски на відрізання враховують ширину ріжучого інструмента та неперпендикулярність різь.

2. Довжина відрізаної заготовки для однієї деталі:

$$L = l + K,$$

де

$$K = 2a + B; \quad a = \frac{K - B}{2}.$$

3. Довжина відрізаної заготовки для кількох деталей:

$$L = c(l + K) - B,$$

де c — кількість деталей у відрізаний заготовці.

4. Для револьверних верстатів і автоматів довжина відрізаної заготовки для кількох деталей:

$$L = c(l + K) - B + l_1,$$

де

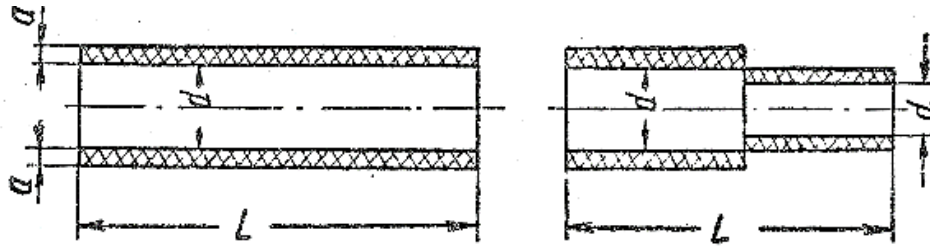
l_1 — довжина залишку прутка в зажимі.

Підставляючи необхідні дані з огляду на примітку, визначаємо загальну довжину заготовки:

$$L = 150 + 8 + 6,5 = 164,5 \text{ мм}$$

Із таблиці 3.2, визначаємо припуски на чистове обточування валів.

Таблиця 3.2 – Припуски на чистове обточування валів після чорнового обточування [34]

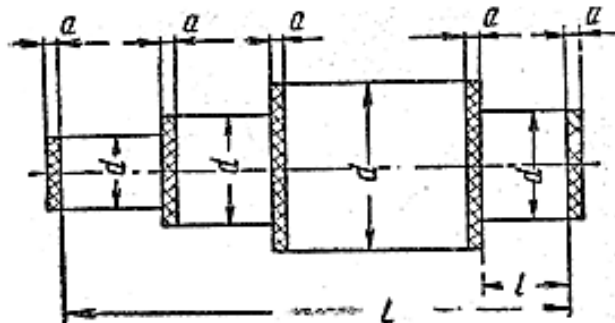


Діаметр вала, мм	Припуск на чистове обточування (з боку діаметра), мм	Сумарний припуск (на діаметр), мм
До 10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,40
10 – 20	0,15 – 0,30	0,30 – 0,60
20 – 40	0,20 – 0,40	0,40 – 0,80
40 – 60	0,25 – 0,50	0,50 – 1,00
60 – 100	0,30 – 0,70	0,60 – 1,40
100 – 160	0,40 – 0,80	0,80 – 1,60
160 – 250	0,50 – 1,00	1,00 – 2,00

Дивлячись на примітку до таблиці 3.2 розраховуємо припуски на чистове обточування нашої деталі:

- для поверхні Ø114 мм припуск на розмір – $1,2 \cdot 1,3 = 1,56 - 1,6$ мм;
- для поверхні Ø69,95 мм припуск на розмір – $1,1 \cdot 1,3 = 1,43 - 1,5$ мм;
- для поверхні Ø69,5 мм припуск на розмір – $1,1 \cdot 1,3 = 1,43 - 1,5$ мм;
- для поверхні Ø40 мм припуск на розмір – $1,0 \cdot 1,3 = 1,30 - 1,3$ мм.

Таблиця 3.3 – Припуски на чистове підрізання торців [34]



Діаметр заготовки, мм	Припуск на один торець, мм	Загальний припуск на два торці, мм
До 20	0,10 – 0,20	0,20 – 0,40
20 – 50	0,15 – 0,25	0,30 – 0,50
50 – 100	0,20 – 0,35	0,40 – 0,70
100 – 200	0,30 – 0,50	0,60 – 1,00
Понад 200	0,40 – 0,70	0,80 – 1,40

Виходячи із таблиці 3.3 вибираємо припуски для чистового підрізання торців:

на розмір 150 мм припуск на сторону – 1,0 мм;

на розмір 29,8 мм припуск на сторону – 0,7 мм;

на розмір 115,2 мм припуск на сторону – 0,8 мм;

на розмір 5 мм припуск на сторону – 0,7 мм.

Далі ці параметри заносяться в програму SolidCAM і враховуються при розрахунках режимів різання.

3.6 Вибір різального інструменту та визначення режимів різання в програмі CoroGuide при виготовленні деталі «Вал» на оброблювальному центрі IPT180ПМФ4

Оскільки при отриманні готової деталі проводиться контурна обробка по програмі з ЧПК, то для чорнової і чистової обробки нам необхідно тільки два ріжучих інструмента, а саме чорновий і чистовий різець. Ріжучий інструмент обираємо на основі даних каталогу фірми «Sandvik Coromant» [14,33].

Для одержання максимальної продуктивності і високої економічної ефективності Sandvik Coromant рекомендує використати систему Coromant Capto, що забезпечить точність і жорсткість закріплення. Є широкий вибір базових державок, різцевих голівок, перехідників і адаптерів.

Інструментальне оснащення, яке використовується для багатоцільової обробки, повинно передавати великі значення обертових моментів, витримувати високі частоти обертання шпинделя і володіти високою гнучкою міцністю.

Точність з'єднання в системі Coromant Capto повністю відповідає вимогам більшості металообробних операцій, які використовують як нерухомий, так і інструмент, який обертається. Наряду з широкою програмою токарного, фрезерного і свердлильного інструментів, який використовує один і той же тип з'єднання, система Coromant Capto успішно вбудовується в шпинделі більшості сучасних багатоцільових верстатів (рис. 3.12) [12].

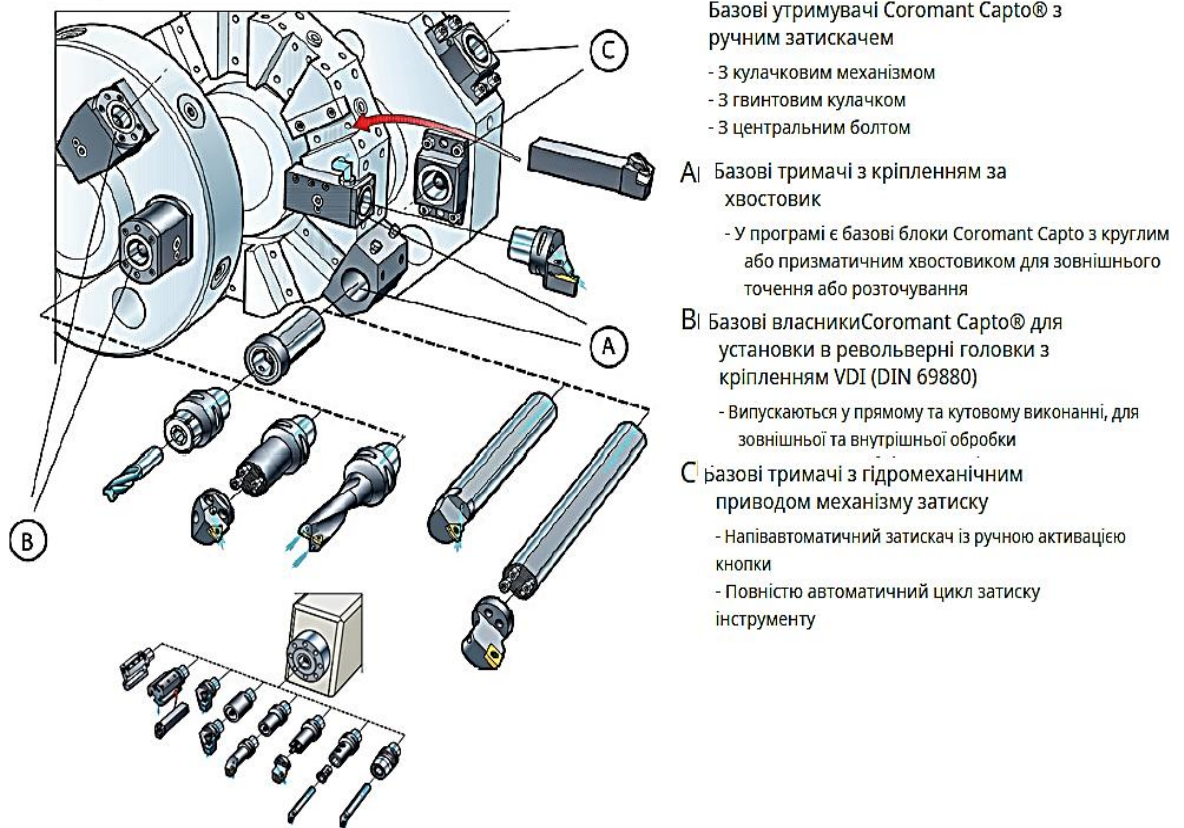


Рисунок 3.12 – Система Coromant Capto

Вибір інструменту проводимо у наступній послідовності [6]:

- 1.) спочатку обираємо твердосплавні пластини для чорнової і чистової обробки сталі 45 ГОСТ 1050 – 2015 (рис. 3.13).
- 2.) Згідно форми і призначення обраних пластин обираємо типи державок різців (рис. 3.14, 3.15).
- 3.) Згідно матеріалу заготовки (сталь 45 ГОСТ 1050 -2015) обираємо марки сплаву твердосплавних пластин (рис. 3.16).

Чистова обробка

Операції з малими глибинами різання та низькими значеннями подач

$f_n = 0.1 - 0.3 \text{ мм/об}$
 $.004 - .012 \text{ дюйм/об}$

Получистова обробка

Операції з різним поєднанням величин глибин різання та подач

$f_n = 0.2 - 0.5 \text{ мм/об}$
 $.008 - .020 \text{ дюйм/об}$

Чорнова обробка

Операції видалення великого обсягу металу з високими подачами

$f_n = 0.5 - 1.5 \text{ мм/об}$
 $.020 - .059 \text{ дюйм/об}$

Форма пластини		Розмір пластини	Глибина різання (a_p), мм, дюйм														мм дюйм
			Чистова обробка							Чорнова обробка							
			Получистова обробка														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
			.04	.08	.12	.16	.20	.24	.28	.31	.35	.40	.43	.47	.51		
	80°	06 1/4															
		09 3/8															
		12 1/2															
		16 5/8															
		19 3/4															
		25 1															
	55°	07 1/4															
		11 3/8															
		13 .512															
		15 1/2															
	R	05 .197															
		06 .236															
		08 .315															
		10 .394															
		12 .472															
		15 .591															
		16 .630															
		19 .748															
		20 .787															
		25 .984															
		32 1.260															
	90°	09 3/8															
		12 1/2															
		15 5/8															
		19 3/4															
		25 1															
	60°	05 1/8															
		06 5/32															
		09 7/32															
		11 1/4															
		16 3/8															
		22 1/2															
		27 5/8															
		33 3/4															
	35°	11 1/4															
		13 .512															
		16 3/8															
		22 1/2															
	80°	02 5/32															
		04 1/4															
		06 3/8															
		08 1/2															
	55°	16 .640															

Рисунок 3.13 – Вибір пластини

Резцовые головки Coromant Capto®, для пластин без задних кутів

CoroTurn® RC Притиск підвищеної жорсткості  Розмір пластини Розмір з'єднання Coromant Capto® Стр.	Головний кут у плані $\kappa_r 95^\circ$  80° DC LNR/L 09-25 C3-C8 A85 $\kappa_r 75^\circ$  80° DC RNR/L 12-19 C4-C8 A85 $\kappa_r 75^\circ$  80° DC KNR/L 12-19 C4-C8 A85 $\kappa_r 107^\circ 30'$  35° DD HNR/L 15 C4-C8 A86 $\kappa_r 93^\circ$  35° DD JNR/L 11-15 C3-C8 A86				
	Головний кут у плані $\kappa_r 93^\circ$  35° DD UNR/L 15 C4-C8 A86 $\kappa_r 62^\circ 30'$  35° DD NNN 11-15 C4-C8 A86 $\kappa_r -$  35° DR SNR/L 12 C4-C6 A87 $\kappa_r 75^\circ$  35° DS RNR/L 12-25 C3-C8 A88 $\kappa_r 75^\circ$  35° DS KNR/L 12-25 C3-C8 A88				

Рисунок 3.14 – Вибір державки для чорнового точіння

Розмір пластини Розмір з'єднання Coromant Capto® Стр.	Головний кут у плані $\kappa_r 45^\circ$  35° DSDNN 12-25 C3-C8 A89 $\kappa_r 45^\circ$  35° DSSNR/L 12-25 C3-C8 A89 $\kappa_r 93^\circ$  35° DT JNR/L 16-27 C3-C6 A90 $\kappa_r 91^\circ$  35° DTG NR/L 16-22 C4-C6 A90 $\kappa_r 91^\circ$  35° DT FNR/L 16-22 C3-C6 A90				
	Головний кут у плані $\kappa_r 60^\circ$  35° DTTNR/L 16-22 C4-C6 A90 $\kappa_r 95^\circ$  80° DWLNR/L 06-08 C3-C8 A92 $\kappa_r 93^\circ$  35° DVJNR/L 16 C4-C8 A91 $\kappa_r 72^\circ 30'$  35° DVVNN 16 C4-C8 A91				

Рисунок 3.15 – Вибір державки для чистового точіння

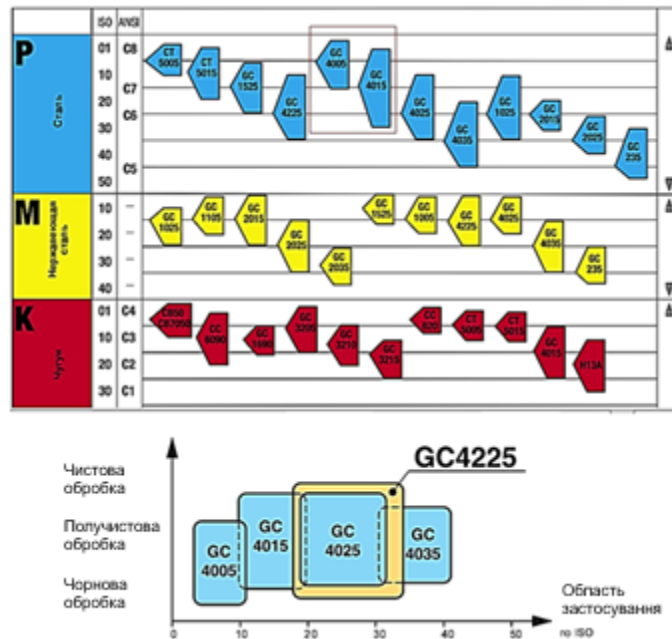


Рисунок 3.16 – Вибір сплаву твердосплавних пластин

Згідно обраних ріжучих інструментів в програмі CoroGuide виконуємо розрахунок режимів різання. Але оскільки програма не дозволяє розрахувати режими різання для контурної обробки – розрахунок проводимо для кожної поверхні деталі окремо.

Послідовність розрахунку режимів різання у програмі CoroGuide виконують у наступному порядку [6]:

- 1.) обирають область виконуваних робіт інструментом (рис. 3.17).



Рисунок 3.17 – Область робіт виконуваних інструментом

- 2) Обирається вид поверхні обробки (рис. 3.18).

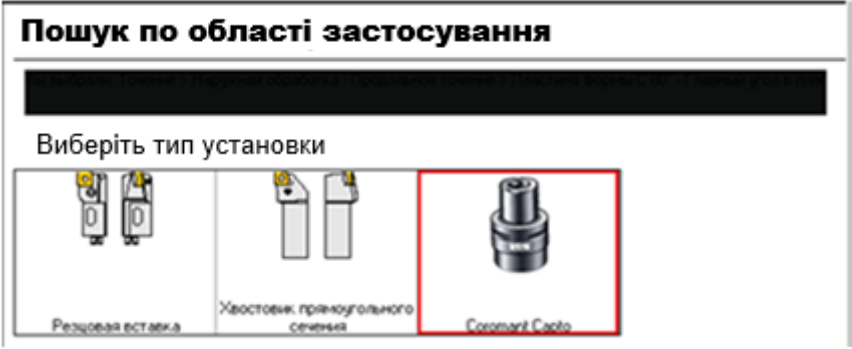


Рисунок 3.20 – Тип кріплення різця

5.) Із списку програми обираємо необхідний тип державки (рис. 3.21).

Пошук по області застосування

Вы выбрали: Точение > Наружная обработка - Продольное точение > Пластина формы C 80° - Главный угол в плане 95° > CoroTurn RC - прижим повышенной жесткости > Coromant Capto

Показать державки Показать пластины Выберите

Выбранные оправки

Код заказа	Направление	Weight	D1	D5m	Dm1_min	Dm2_min	l1	gamma
C3-DCLNR-22040-09	Державка, правое исполнение	0,217	32	60	116	22		
C3-DCLNR-22045-12	Державка, правое исполнение	0,255	32	60	121	22		
C4-DCLNR-27050-09	Державка, правое исполнение	0,414	40	60	140	27		
C4-DCLNR-27050-12	Державка, правое исполнение	0,42	40	110	140	27		
C4-DCLNR-27055-16	Державка, правое исполнение	0,479	40	125	145	27		
C5-DCLNR-35060-12	Державка, правое исполнение	0,7844	50	110	165	35		
C5-DCLNR-35060-16	Державка, правое исполнение	0,8	50	125	165	35		
C5-DCLNR-35060-19	Державка, правое исполнение	0,796	50	80	165	35		
C6-DCLNR-45065-12	Державка, правое исполнение	1,323	63	110	190	45		
C6-DCLNR-45065-16	Державка, правое исполнение	1,342	63	125	190	45		
C6-DCLNR-45065-19	Державка, правое исполнение	1,343	63	81	190	45		
C8-DCLNR-55080-12	Державка, правое исполнение	2,568	80	110	250	55		
C8-DCLNR-55080-16	Державка, правое исполнение	2,59	80	125	250	55		
C8-DCLNR-55080-19	Державка, правое исполнение	2,58	80	100	250	55		
C8-DCLNR-55080-25	Державка, правое исполнение	2,68	80	150	250	55		
C3-DCLNL-22040-09	Державка, левое исполнение	0,218	32	60	116	22		
C3-DCLNL-22045-12	Державка, левое исполнение	0,255	32	60	121	22		
C4-DCLNL-27050-09	Державка, левое исполнение	0,413	40	60	140	27		
C4-DCLNL-27050-12	Державка, левое исполнение	0,44	40	110	140	27		
C4-DCLNL-27055-16	Державка, левое исполнение	0,479	40	125	145	27		

Рисунок 3.21 – Вибір типу державки

На рисунку 3.22 – графічне зображення обраного типу державки для чорнового точіння.

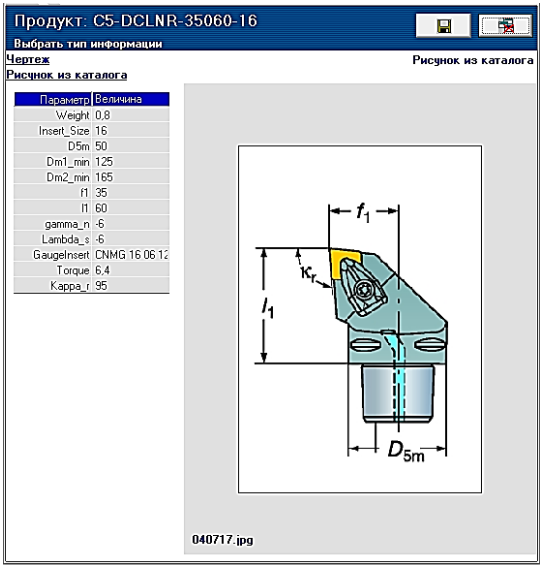


Рисунок 3.22 – Графічне зображення обраного типу державки

- 6.) Вибір із списку програми твердосплавної пластини для чорнового точіння (рисунок 3.23).

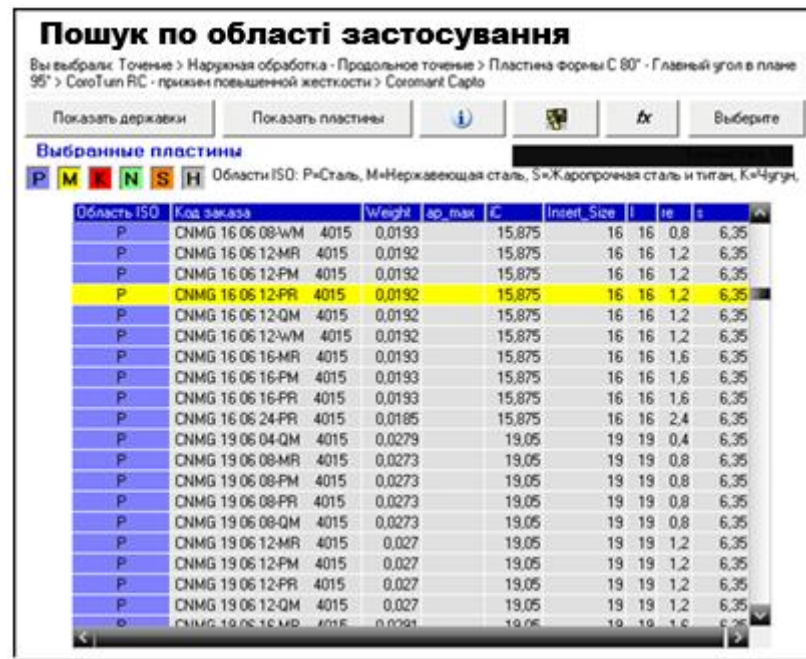


Рисунок 3.23 – Вибір типу пластини для чорнового точіння

На рисунку 3.24 – графічне зображення твердосплавної пластини для чорнового точіння.

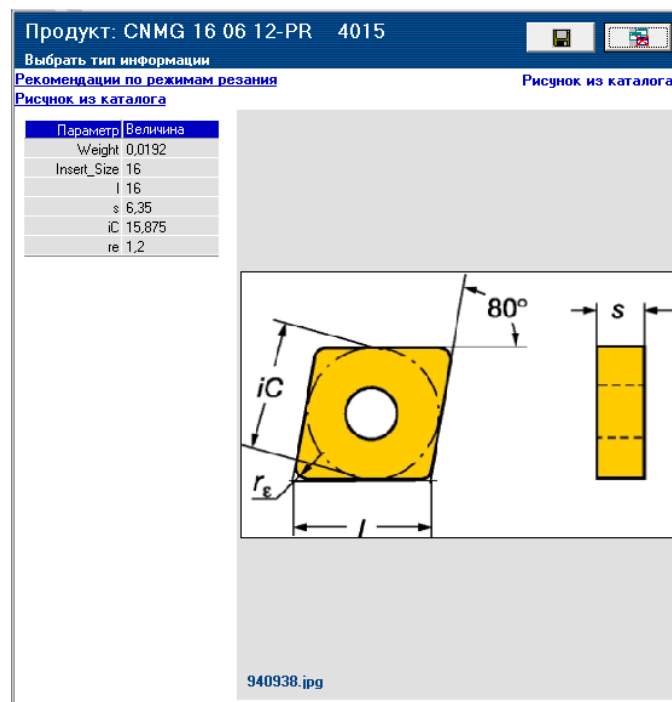


Рисунок 3.24 – Графічне зображення твердосплавної пластини для чорнового точіння.

7.) Розрахунок режимів різання на кожну поверхню деталі. За допомогою кнопки «Функція» на панелі керування програми відкриваємо вікно для розрахунку режимів різання. Для розрахунку необхідно задати наступні параметри: національний стандарт, марку та твердість оброблюваної сталі, а також параметри оброблюваної поверхні. Так, наприклад для чорнового підрізання торця вводимо початкові та кінцеві розміри оброблювальної поверхні. Після натиснення кнопки «Розрахувати» у комірках правої частини вікна з'являються розраховані рекомендовані режими різання (рис. 3.25) [6,14].

Матеріал деталі (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт GOST	СМС No: 01.2	Скорость резания (vc)	235 m/min
Обозначение 45	Твердость 230 НВ		
Сплав/геометрия пластины 4015 Conventional		Оценка результата	
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Скорость резания (vc)	235 m/min
Угол в плане (χ_r)	95 °	Обороты шпинделя (n)	623 - 7480 об/мин
Радиус пластины (re)	1,2 mm	Скорость съема металла (Q)	376 cm ³ /min
Подача (fn)	0,40 mm/rev	Время на проход (Tc)	0,12 min
Максимальная толщина стружки	0,40 mm	Мощность (Pc)	15 kW
Средняя толщина стружки (hm)	0,34 mm	Макс. Высота профиля (Rt)	16,7 μm
Глубина резания (ap)	4 mm	Шероховатость (Ra)	3,62 μm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2)	120 0 mm	Среднеквадратическая шероховатость (RMS)	3,95 μm
Осевая глубина резания (lz)	0 mm		
Макс. Обороты	10000 об/мин	Стоимость	15,0 min
Количество проходов (npr)	126		
Рассчитать Назад			

Рисунок 3.25 – Розрахунок режимів різання для чорнкової обробки торця на поверхні Ø120.

Аналогічно виконуємо розрахунки режимів різання на всі інші поверхні оброблювальної деталі для чорнкової та чистової обробки (рис. 3.26 – рис. 3.45).

Матеріал деталі (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт GOST	СМС No: 01.2	Скорость резания (vc)	235 m/min
Обозначение 45	Твердость 230 НВ		
Сплав/геометрия пластины 4015 Conventional		Оценка результата	
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Скорость резания (vc)	235 m/min
Угол в плане (χ_r)	95 °	Обороты шпинделя (n)	623 - 1047 об/мин
Радиус пластины (re)	1,2 mm	Скорость съема металла (Q)	376 cm ³ /min
Подача (fn)	0,40 mm/rev	Время на проход (Tc)	0,30 min
Максимальная толщина стружки	0,40 mm	Мощность (Pc)	15 kW
Средняя толщина стружки (hm)	0,34 mm	Макс. Высота профиля (Rt)	16,7 μm
Глубина резания (ap)	4 mm	Шероховатость (Ra)	3,62 μm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2)	120 71,45 mm	Среднеквадратическая шероховатость (RMS)	3,95 μm
Осевая глубина резания (lz)	90,4 mm		
Макс. Обороты	10000 об/мин	Стоимость	15,0 min
Количество проходов (npr)	50		
Рассчитать Назад			

Рисунок 3.26 – Розрахунок режимів різання для чорнкової обробки поверхні Ø69,95_{-0,03}.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт GOST	СМС No: 01.2	Скорость резания (vc) 235 m/min	
Обозначение 45	Твердость 230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc) 235 m/min	
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n) 1047 - 1811 об/мин	
Угол в плане (χ_r) 95 °	Радиус пластины (re) 1,2 mm	Скорость съема металла (Q) 376 cm ³ /min	
Подача (fn) 0,40 mm/t	Максимальная толщина стружки 0,40 mm	Время на проход (Tc) 0,03 min	
	Средняя толщина стружки (hm) 0,34 mm	Мощность (Pc) 15 kW	
Глубина резания (ap) 4 mm	Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2) 71,45 41,3 mm	Макс. Высота профиля (Rt) 16,7 μm	
	Осевая глубина резания (lz) 5,1 mm	Шероховатость (Ra) 3,62 μm	
Макс. Обороты: 10000 об/мин	Стойкость: 15,0 min	Среднеквадратическая шероховатость (RMS) 3,95 μm	
Количество проходов (nпр): 500		Рассчитать « Назад	

Рисунок 3.27 – Розрахунок режимів різання для чорнової обробки поверхні Ø40h7.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт GOST	СМС No: 01.2	Скорость резания (vc) 270 m/min	
Обозначение 45	Твердость 230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc) 270 m/min	
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n) 2262 - 8594 об/мин	
Угол в плане (χ_r) 93 °	Радиус пластины (re) 0,4 mm	Скорость съема металла (Q) 54 cm ³ /min	
Подача (fn) 0,20 mm/t	Максимальная толщина стружки 0,20 mm	Время на проход (Tc) 0,02 min	
	Средняя толщина стружки (hm) 0,16 mm	Мощность (Pc) 2,7 kW	
Глубина резания (ap) 1 mm	Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2) 38 0 mm	Макс. Высота профиля (Rt) 12,5 μm	
	Осевая глубина резания (lz) 0 mm	Шероховатость (Ra) 2,61 μm	
Макс. Обороты: 10000 об/мин	Стойкость: 15,0 min	Среднеквадратическая шероховатость (RMS) 2,85 μm	
Количество проходов (nпр): 767		Рассчитать « Назад	

Рисунок 3.28 – Розрахунок режимів різання для чистової обробки торця Ø40h7.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт GOST	СМС No: 01.2	Скорость резания (vc) 270 m/min	
Обозначение 45	Твердость 230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc) 270 m/min	
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n) 2262 - 2149 об/мин	
Угол в плане (χ_r) 93 °	Радиус пластины (re) 0,4 mm	Скорость съема металла (Q) 54 cm ³ /min	
Подача (fn) 0,20 mm/t	Максимальная толщина стружки 0,2 mm	Время на проход (Tc) 0,00 min	
	Средняя толщина стружки (hm) 0,16 mm	Мощность (Pc) 2,7 kW	
Глубина резания (ap) 1 mm	Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2) 38 40 mm	Макс. Высота профиля (Rt) 12,5 μm	
	Осевая глубина резания (lz) 1 mm	Шероховатость (Ra) 2,61 μm	
Макс. Обороты: 10000 об/мин	Стойкость: 15,0 min	Среднеквадратическая шероховатость (RMS) 2,85 μm	
Количество проходов (nпр): 4675		Рассчитать « Назад	

Рисунок 3.29 – Розрахунок режимів різання для точіння фаски 1x45° на Ø40h7.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт GOST	СМС No: 01.2	Скорость резания (vc)	270 m/min
Обозначение 45	Твердость 230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc)	270 m/min
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n)	2081 - 2149 об/мин
Угол в плане (χ_r)	93 °	Скорость съема металла (Q):	35 cm ³ /min
Радиус пластины (re):	0,4 mm	Время на проход (Tc):	0,01 min
Подача (fn):	0,20 mm/rev	Мощность (Pc):	1,8 kW
Максимальная толщина стружки	0,20 mm	Макс. Высота профиля (Rt):	12,5 μm
Средняя толщина стружки (hm):	0,15 mm	Шероховатость (Ra):	2,61 μm
Глубина резания (ap):	0,65 mm	Среднеквадратическая шероховатость (RMS):	2,85 μm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2):	41,3 40 mm		
Осевая глубина резания (lz):	5 mm		
Макс. Обороты:	Стойкость:	Количество проходов (пар):	
10000 об/мин	15,0 min	1258	
Рассчитать Назад			

Рисунок 3.30 – Розрахунок режимів різання для чистової обробки поверхні Ø40h7.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт GOST	СМС No: 01.2	Скорость резания (vc)	270 m/min
Обозначение 45	Твердость 230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc)	270 m/min
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n)	1229 - 2149 об/мин
Угол в плане (χ_r)	93 °	Скорость съема металла (Q):	38 cm ³ /min
Радиус пластины (re):	0,4 mm	Время на проход (Tc):	0,05 min
Подача (fn):	0,20 mm/rev	Мощность (Pc):	1,9 kW
Максимальная толщина стружки	0,20 mm	Макс. Высота профиля (Rt):	12,5 μm
Средняя толщина стружки (hm):	0,15 mm	Шероховатость (Ra):	2,61 μm
Глубина резания (ap):	0,7 mm	Среднеквадратическая шероховатость (RMS):	2,85 μm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2):	69,95 40 mm		
Осевая глубина резания (lz):	0 mm		
Макс. Обороты:	Стойкость:	Количество проходов (пар):	
10000 об/мин	15,0 min	313	
Рассчитать Назад			

Рисунок 3.31 – Розрахунок режимів різання для чистової обробки уступу на Ø69,95_{-0,03}.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт GOST	СМС No: 01.2	Скорость резания (vc)	270 m/min
Обозначение 45	Твердость 230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc)	270 m/min
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n)	1203 - 1229 об/мин
Угол в плане (χ_r)	93 °	Скорость съема металла (Q):	40 cm ³ /min
Радиус пластины (re):	0,4 mm	Время на проход (Tc):	0,33 min
Подача (fn):	0,20 mm/rev	Мощность (Pc):	2,1 kW
Максимальная толщина стружки	0,20 mm	Макс. Высота профиля (Rt):	12,5 μm
Средняя толщина стружки (hm):	0,15 mm	Шероховатость (Ra):	2,61 μm
Глубина резания (ap):	0,75 mm	Среднеквадратическая шероховатость (RMS):	2,85 μm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2):	71,45 69,95 mm		
Осевая глубина резания (lz):	80,2 mm		
Макс. Обороты:	Стойкость:	Количество проходов (пар):	
10000 об/мин	15,0 min	45	
Рассчитать Назад			

Рисунок 3.32 – Розрахунок режимів різання для чистової обробки поверхні Ø69,95_{-0,03}.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт GOST	СМС No: 01.2	Скорость резания (vc)	270 m/min
Обозначение 45	Твердость 230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc)	270 m/min
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n)	1229 - 1147 об/мин
Угол в плане (χ_r)	93 °	Скорость съема металла (Q)	40 cm ³ /min
Радиус пластины (re)	0,4 mm	Время на проход (Tc)	0,02 min
Подача (fn)	0,20 mm/rev	Мощность (Pc)	2,1 kW
Максимальная толщина стружки	0,20 mm	Макс. Высота профиля (Rt)	12,5 µm
Средняя толщина стружки (hm)	0,15 mm	Шероховатость (Ra)	2,61 µm
Глубина резания (ap)	0,75 mm	Среднеквадратическая шероховатость (RMS)	2,85 µm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2)	69,95 - 74,95 mm		
Осевая глубина резания (lz)	5 mm		
Макс. Обороты: 10000 об/мин	Стойкость: 15,0 min	Количество проходов (nпр): 637	
Рассчитать		<< Назад	

Рисунок 3.33 – Розрахунок режимів різання для чистової обробки округлення R5 на Ø69,95-0,03.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт GOST	СМС No: 01.2	Скорость резания (vc)	270 m/min
Обозначение 45	Твердость 230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc)	270 m/min
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n)	781 - 1147 об/мин
Угол в плане (χ_r)	93 °	Скорость съема металла (Q)	43 cm ³ /min
Радиус пластины (re)	0,4 mm	Время на проход (Tc)	0,09 min
Подача (fn)	0,20 mm/rev	Мощность (Pc)	2,2 kW
Максимальная толщина стружки	0,20 mm	Макс. Высота профиля (Rt)	12,5 µm
Средняя толщина стружки (hm)	0,16 mm	Шероховатость (Ra)	2,61 µm
Глубина резания (ap)	0,8 mm	Среднеквадратическая шероховатость (RMS)	2,85 µm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2)	110 - 74,95 mm		
Осевая глубина резания (lz)	0 mm		
Макс. Обороты: 10000 об/мин	Стойкость: 15,0 min	Количество проходов (nпр): 159	
Рассчитать		<< Назад	

Рисунок 3.34 – Розрахунок режимів різання для чистової обробки уступу на Ø114.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт GOST	СМС No: 01.2	Скорость резания (vc)	270 m/min
Обозначение 45	Твердость 230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc)	270 m/min
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n)	781 - 754 об/мин
Угол в плане (χ_r)	93 °	Скорость съема металла (Q)	108 cm ³ /min
Радиус пластины (re)	0,4 mm	Время на проход (Tc)	0,02 min
Подача (fn)	0,20 mm/rev	Мощность (Pc)	5,2 kW
Максимальная толщина стружки	0,20 mm	Макс. Высота профиля (Rt)	12,5 µm
Средняя толщина стружки (hm)	0,18 mm	Шероховатость (Ra)	2,61 µm
Глубина резания (ap)	2 mm	Среднеквадратическая шероховатость (RMS)	2,85 µm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2)	110 - 114 mm		
Осевая глубина резания (lz)	2 mm		
Макс. Обороты: 10000 об/мин	Стойкость: 15,0 min	Количество проходов (nпр): 814	
Рассчитать		<< Назад	

Рисунок 3.35 – Розрахунок режимів різання для точіння фаски 2x45° на Ø114.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС) Национальный стандарт: GOST Обозначение: 45 СМС No.: 01.2 Твердость: 230 HB		Рекомендации по режимам резания Скорость резания (vc): 235 m/min
Сплав/геометрия пластины 4015 Conventional		Оценка результата Скорость резания (vc): 235 m/min Обороты шпинделя (n): 623 - 7480 об/мин Скорость съема металла (Q): 376 cm ³ /min Время на проход (Tc): 0,12 min Мощность (Pc): 15 kW Макс. Высота профиля (Rt): 16,7 μm Шероховатость (Ra): 3,62 μm Среднеквадратическая шероховатость (RMS): 3,95 μm
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm) Угол в плане (κ _r): 95 ° Радиус пластины (re): 1,2 mm Подача (fn): 0,40 mm/t Максимальная толщина стружки: 0,40 mm Средняя толщина стружки (hm): 0,34 mm Глубина резания (ap): 4 mm Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2): 120 0 mm Осевая глубина резания (lz): 0 mm Макс. Обороты: 10000 об/мин Стойкость: 15,0 min Количество проходов (nпр): 126		
Рассчитать		<< Назад

Рисунок 3.36 – Розрахунок режимів різання для чорнової обробки торця на Ø120.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС) Национальный стандарт: GOST Обозначение: 45 СМС No.: 01.2 Твердость: 230 HB		Рекомендации по режимам резания Скорость резания (vc): 235 m/min
Сплав/геометрия пластины 4015 Conventional		Оценка результата Скорость резания (vc): 235 - 235 m/min Обороты шпинделя (n): 623 - 647 об/мин Скорость съема металла (Q): 376 cm ³ /min Время на проход (Tc): 0,24 min Мощность (Pc): 15 kW Макс. Высота профиля (Rt): 16,7 μm Шероховатость (Ra): 3,62 μm Среднеквадратическая шероховатость (RMS): 3,95 μm
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm) Угол в плане (κ _r): 95 ° Радиус пластины (re): 1,2 mm Подача (fn): 0,40 mm/t Максимальная толщина стружки: 0,40 mm Средняя толщина стружки (hm): 0,34 mm Глубина резания (ap): 4 mm Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2): 120 115,6 mm Осевая глубина резания (lz): 60,8 mm Макс. Обороты: 10000 об/мин Стойкость: 15,0 min Количество проходов (nпр): 63		
Рассчитать		<< Назад

Рисунок 3.37 – Розрахунок режимів різання для чорнової обробки поверхні Ø114.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС) Национальный стандарт: GOST Обозначение: 45 СМС No.: 01.2 Твердость: 230 HB		Рекомендации по режимам резания Скорость резания (vc): 235 m/min
Сплав/геометрия пластины 4015 Conventional		Оценка результата Скорость резания (vc): 235 m/min Обороты шпинделя (n): 647 - 1054 об/мин Скорость съема металла (Q): 376 cm ³ /min Время на проход (Tc): 0,12 min Мощность (Pc): 15 kW Макс. Высота профиля (Rt): 16,7 μm Шероховатость (Ra): 3,62 μm Среднеквадратическая шероховатость (RMS): 3,95 μm
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm) Угол в плане (κ _r): 95 ° Радиус пластины (re): 1,2 mm Подача (fn): 0,40 mm/t Максимальная толщина стружки: 0,40 mm Средняя толщина стружки (hm): 0,34 mm Глубина резания (ap): 4 mm Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2): 115,6 71 mm Осевая глубина резания (lz): 30,1 mm Макс. Обороты: 10000 об/мин Стойкость: 15,0 min Количество проходов (nпр): 128		
Рассчитать		<< Назад

Рисунок 3.38 – Розрахунок режимів різання для чорнової обробки поверхні Ø69,5_{-0,03}.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт	СМС No:	Скорость резания (vc)	270 m/min
GOST	01.2		
Обозначение	Твердость		
45	230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc)	270 m/min
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n)	1273 - 8594 об/мин
Угол в плане (κ_r)	93 °	Скорость съема металла (Q)	54 cm ³ /min
Радиус пластины (re)	0,4 mm	Время на проход (Tc)	0,06 min
Подача (fn)	0,20 mm/rev	Мощность (Pc)	2,7 kW
Максимальная толщина стружки	0,20 mm	Макс. Высота профиля (Rt)	12,5 μm
Средняя толщина стружки (hm)	0,16 mm	Шероховатость (Ra)	2,61 μm
Глубина резания (ap)	1 mm	Среднеквадратическая шероховатость (RMS)	2,85 μm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2)	67,5 0 mm		
Осевая глубина резания (lz)	0 mm		
Макс. Обороты:	Стойкость:	Количество проходов (nпр):	
10000 об/мин	15,0 min	231	
Рассчитать		<< Назад	

Рисунок 3.39 – Розрахунок режимів різання для чистової обробки торця на Ø69,5_{-0,03}.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт	СМС No:	Скорость резания (vc)	270 m/min
GOST	01.2		
Обозначение	Твердость		
45	230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc)	270 m/min
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n)	1273 - 1237 об/мин
Угол в плане (κ_r)	93 °	Скорость съема металла (Q)	54 cm ³ /min
Радиус пластины (re)	0,4 mm	Время на проход (Tc)	0,01 min
Подача (fn)	0,20 mm/rev	Мощность (Pc)	2,7 kW
Максимальная толщина стружки	0,20 mm	Макс. Высота профиля (Rt)	12,5 μm
Средняя толщина стружки (hm)	0,16 mm	Шероховатость (Ra)	2,61 μm
Глубина резания (ap)	1 mm	Среднеквадратическая шероховатость (RMS)	2,85 μm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2)	67,5 69,5 mm		
Осевая глубина резания (lz)	1 mm		
Макс. Обороты:	Стойкость:	Количество проходов (nпр):	
10000 об/мин	15,0 min	2662	
Рассчитать		<< Назад	

Рисунок 3.40 – Розрахунок режимів різання для точіння фаски 1x45° на Ø69,5_{-0,03}.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт	СМС No:	Скорость резания (vc)	270 m/min
GOST	01.2		
Обозначение	Твердость		
45	230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc)	270 m/min
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n)	1210 - 1237 об/мин
Угол в плане (κ_r)	93 °	Скорость съема металла (Q)	40 cm ³ /min
Радиус пластины (re)	0,4 mm	Время на проход (Tc)	0,10 min
Подача (fn)	0,20 mm/rev	Мощность (Pc)	2,1 kW
Максимальная толщина стружки	0,20 mm	Макс. Высота профиля (Rt)	12,5 μm
Средняя толщина стружки (hm)	0,15 mm	Шероховатость (Ra)	2,61 μm
Глубина резания (ap)	0,75 mm	Среднеквадратическая шероховатость (RMS)	2,85 μm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2)	71 69,5 mm		
Осевая глубина резания (lz)	24,8 mm		
Макс. Обороты:	Стойкость:	Количество проходов (nпр):	
10000 об/мин	15,0 min	148	
Рассчитать		<< Назад	

Рисунок 3.41 – Розрахунок режимів різання для чистової обробки поверхні Ø69,5_{-0,03}.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт	СМС No:	Скорость резания (vc)	270 m/min
GOST	01.2		
Обозначение	Твердость		
45	230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc)	270 m/min
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n)	1273 - 1237 об/мин
Угол в плане (χ_r)	93 °	Скорость съема металла (Q):	54 cm ³ /min
Радиус пластины (re):	0,4 mm	Время на проход (Tc):	0,01 min
Подача (fn):	0,20 mm/rev	Мощность (Pc):	2,7 kW
Максимальная толщина стружки	0,20 mm	Макс. Высота профиля (Rt):	12,5 μm
Средняя толщина стружки (hm):	0,16 mm	Шероховатость (Ra):	2,61 μm
Глубина резания (ap):	1 mm	Среднеквадратическая шероховатость (RMS):	2,85 μm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2):	67,5 - 69,5 mm		
Осевая глубина резания (lz):	1 mm		
Макс. Обороты:	Стойкость:	Количество проходов (nпр):	
10000 об/мин	15,0 min	2662	
Рассчитать		<< Назад	

Рисунок 3.42 – Розрахунок режимів різання для точіння фаски 1x45° на поверхні Ø69,5_{-0,03}.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт	СМС No:	Скорость резания (vc)	270 m/min
GOST	01.2		
Обозначение	Твердость		
45	230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc)	270 m/min
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n)	1237 - 1273 об/мин
Угол в плане (χ_r)	93 °	Скорость съема металла (Q):	54 cm ³ /min
Радиус пластины (re):	0,4 mm	Время на проход (Tc):	0,01 min
Подача (fn):	0,20 mm/rev	Мощность (Pc):	2,7 kW
Максимальная толщина стружки	0,20 mm	Макс. Высота профиля (Rt):	12,5 μm
Средняя толщина стружки (hm):	0,16 mm	Шероховатость (Ra):	2,61 μm
Глубина резания (ap):	1 mm	Среднеквадратическая шероховатость (RMS):	2,85 μm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2):	69,5 - 67,5 mm		
Осевая глубина резания (lz):	3 mm		
Макс. Обороты:	Стойкость:	Количество проходов (nпр):	
10000 об/мин	15,0 min	1190	
Рассчитать		<< Назад	

Рисунок 3.43 – Розрахунок режимів різання для точіння канавки на поверхні Ø69,5_{-0,03}.

Материал детали (выберите Стандарт и Обозначение или СМС)		Рекомендации по режимам резания	
Национальный стандарт	СМС No:	Скорость резания (vc)	270 m/min
GOST	01.2		
Обозначение	Твердость		
45	230 HB		
Сплав/геометрия пластины		Оценка результата	
4015	Conventional	Скорость резания (vc)	270 m/min
Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)		Обороты шпинделя (n)	754 - 1273 об/мин
Угол в плане (χ_r)	93 °	Скорость съема металла (Q):	38 cm ³ /min
Радиус пластины (re):	0,4 mm	Время на проход (Tc):	0,12 min
Подача (fn):	0,20 mm/rev	Мощность (Pc):	1,9 kW
Максимальная толщина стружки	0,20 mm	Макс. Высота профиля (Rt):	12,5 μm
Средняя толщина стружки (hm):	0,15 mm	Шероховатость (Ra):	2,61 μm
Глубина резания (ap):	0,7 mm	Среднеквадратическая шероховатость (RMS):	2,85 μm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2):	114 - 67,5 mm		
Осевая глубина резания (lz):	0 mm		
Макс. Обороты:	Стойкость:	Количество проходов (nпр):	
10000 об/мин	15,0 min	122	
Рассчитать		<< Назад	

Рисунок 3.44 – Розрахунок режимів різання для чистової обробки уступу на поверхні Ø114.

Материал детали
(выберите Стандарт и Обозначение или СМС)
Национальный стандарт: GOST
Обозначение: 45
СМС No.: 01.2
Твердость: 230 HB

Сплав/геометрия пластины
4015
Conventional

Параметры (выбрать либо fn, hex или hm)
Угол в плане (χ_r): 93 °
Радиус пластины (re): 0,4 mm
Подача (fn): 0,20 mm/rev
Максимальная толщина стружки: 0,20 mm
Средняя толщина стружки (hm): 0,16 mm
Глубина резания (ap): 0,8 mm
Обрабатываемые диаметры (Dm1, Dm2): 115,6 - 114 mm
Осевая глубина резания (lz): 30 mm
Макс. Обороты: 10000 об/мин
Стойкость: 15,0 min
Количество проходов (nпр): 75

Рекомендации по режимам резания
Скорость резания (vc): 270 m/min

Оценка результата
Скорость резания (vc): 270 m/min
Обороты шпинделя (n): 743 - 754 об/мин
Скорость съема металла (Q): 43 cm³/min
Время на проход (Tc): 0,20 min
Мощность (Pc): 2,2 kW
Макс. Высота профиля (Rt): 12,5 μm
Шероховатость (Ra): 2,61 μm
Среднеквадратическая шероховатость (RMS): 2,85 μm

Рассчитать << Назад

Рисунок 3.45 – Розрахунок режимів різання для чистової обробки поверхні Ø114.

В таблиці 3.4 зведені розраховані режими різання на кожну поверхню.

Таблиця 3.4 – Режими різання

Вид об-робки	Параметри Поверхня, мм	Глибина t, мм	Подача s, мм/об	Швидкість різання v, м/хв
Чорнова	150	4	0,4	235
	Ø69,95 _{-0,03}	4	0,4	235
	Ø40h7	4	0,4	235
	150	4	0,4	235
	Ø114	4	0,4	235
	Ø69,5 _{-0,03}	4	0,4	235
Чистова	150	1	0,2	270
	1×45 ⁰	1	0,2	270
	Ø40h7	0,65	0,2	270
	5	0,7	0,2	270
	Ø69,95 _{-0,03}	0,75	0,2	270
Чистова	R5	0,75	0,2	270
	30	0,8	0,2	270
	2×45 ⁰	2	0,2	270
	150	1	0,2	270
	1×45 ⁰	1	0,2	270
	Ø69,5 _{-0,03}	0,75	0,2	270
	1×45 ⁰	1	0,2	270
	3	1	0,2	270
	29,8 _{-0,02}	0,7	0,2	270
	Ø114	0,8	0,2	270

У зведений таблиці зазначені режими різання, при призначенні яких ураховувався характер обробки, тип і розмір інструмента, матеріал його ріжучої частини, матеріал і стан заготовки, тип і стан устаткування.

Текст програм розрахунку режимів різання у програмі CoroGuide приведений у додатку В.

3.7 Висновки

У другому розділі випускної роботи була виконана розробка групового технологічного процесу одержання деталі «Вал» в умовах дрібносерійного виробництва.

Для деталі типу «Вал» спочатку був складений загальний маршрут її отримання, у якому задавалася послідовність обробки поверхонь деталі. Далі, у відповідності від виду поверхні, вибирався спосіб їх обробки, і, як наслідок, було обрано металорізальне устаткування. Результатом стало формування групових операцій, які характеризуються спільністю устаткування, пристосування, а також застосування однієї номенклатури різальних інструментів на різних операціях для деталей групи.

Крім оснащення були визначені необхідні для обробки значення припусків і режимів різання, відповідно вимогам до деталі по точності і шорсткості.

4. РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ» НА ОБРОБЛЮВАЛЬНОМУ ЦЕНТРІ IPT180ПМФ4

4.1 Розробка циклограми виготовлення деталі «Вал» на оброблювальному центрі IPT180ПМФ4

Циклограма виготовлення деталі «Вал» представлена у вигляді програми імітаційного моделювання виготовлення даної деталі в системі «ГПМ 3D редактор» (рис. 4.1). Циклограма представлена у вигляді послідовності операцій і часу виконання дій елементами системи (рис. 4.2) [19-24,48].

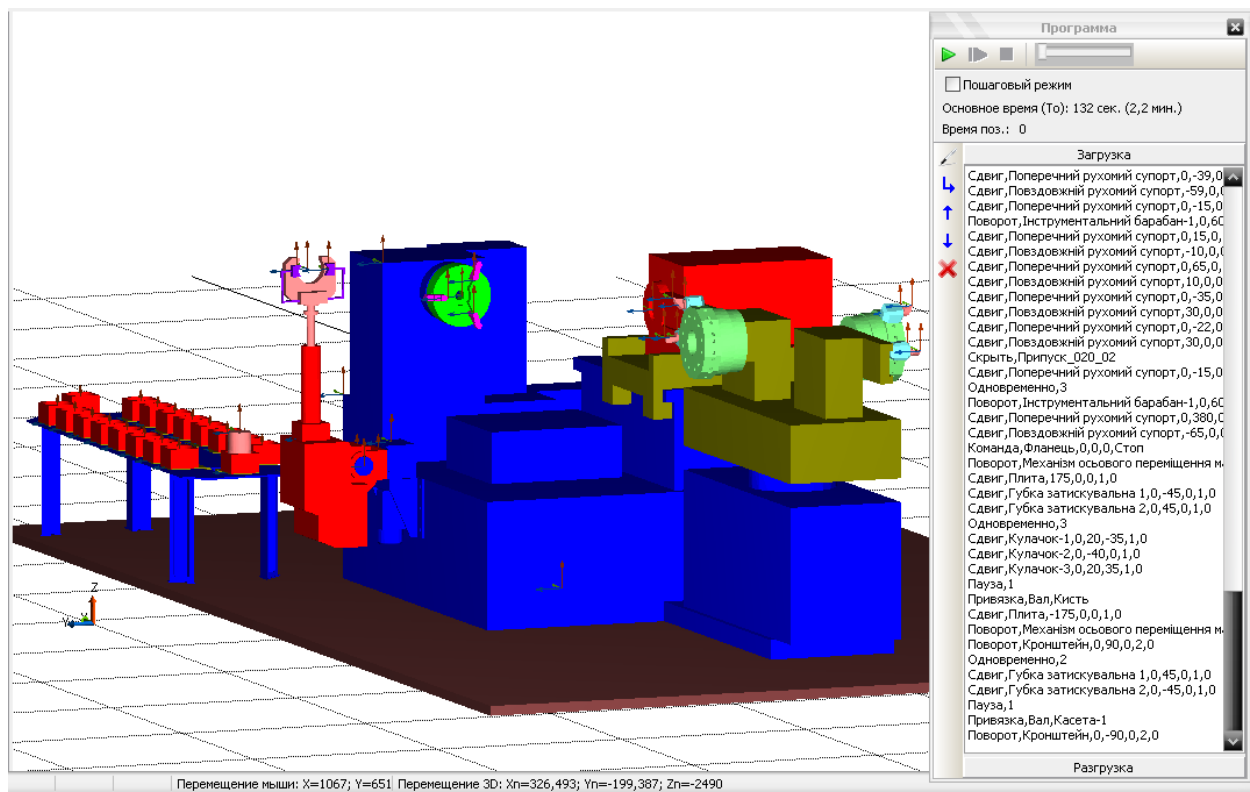


Рисунок 4.1 – Імітаційне моделювання обробки деталі типу «Вал» на оброблювальному центрі IPT180ПМФ4

☐ Пошаговый режим Основное время (To): 132 сек. (2,2 мин.) Время поз.: 0	
Загрузка	
 Поворот,Кронштейн,0,90,0,2,0  Одновременно,2  Сдвиг,Губка затискувальна 1,0,-20,0,1,0  Сдвиг,Губка затискувальна 2,0,20,0,1,0  Пауза,1  Привязка,Вал,Кисть  Поворот,Кронштейн,0,-90,0,2,0  Поворот,Механізм осьового переміщення маніпулятора,55,0,0,1,0  Сдвиг,Плита,150,0,0,1,0  Одновременно,3  Сдвиг,Кулачок-1,0,20,-35,1,0  Сдвиг,Кулачок-2,0,-40,0,1,0  Сдвиг,Кулачок-3,0,20,35,1,0  Сдвиг,Губка затискувальна 1,0,20,0,1,0  Сдвиг,Губка затискувальна 2,0,-20,0,1,0  Пауза,1  Привязка,Вал,Патрон трьохкулачковий  Сдвиг,Плита,-150,0,0,1,0  Поворот,Механізм осьового переміщення маніпулятора,-55,0,0,1,0  Сдвиг,Інструментальний барабан-1,1230,0,0,3,0  Сдвиг,Інструментальний барабан-1,0,-20,0,1,0  Привязка,Інструментальний барабан-1,Поперечний рухний супорт  Команда,Фланець,1000,0,0,Пуск  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,380,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,350,0,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,9,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,65,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,-8,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-59,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,90,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-1,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,-90,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,7,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,90,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-1,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,-90,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,7,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,90,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-1,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,-86,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,16,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,-9,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-54,0,1,0  Поворот,Інструментальний барабан-1,0,60,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,75,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,5,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-20,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,80,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-3,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,3,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-3,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,3,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-23,0,1,0  Скрыть,Припуск_015_02  Одновременно,2  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,-95,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-378,0,1,0  Команда,Фланець,0,0,0,Стоп  Одновременно,2  Поворот,Механізм осьового переміщення маніпулятора,55,0,0,1,0 Поворот,Інструментальний барабан-1,0,-60,0,1,0 Сдвиг,Плита,175,0,0,1,0 Сдвиг,Губка затискувальна 1,0,-45,0,1,0 Сдвиг,Губка затискувальна 2,0,45,0,1,0 Одновременно,3 Сдвиг,Кулачок-1,0,-20,35,1,0 Сдвиг,Кулачок-2,0,40,0,1,0 Сдвиг,Кулачок-3,0,-20,-35,1,0 Пауза,1 Привязка,Вал,Кисть Сдвиг,Плита,-175,0,0,1,0 Поворот,Механізм осьового переміщення маніпулятора,-55,0,0,1,0 Поворот,Механізм поворота,0,0,180,1,0 Поворот,Механізм осьового переміщення маніпулятора,55,0,0,1,0 Сдвиг,Плита,175,0,0,1,0 Одновременно,3 Сдвиг,Кулачок-1,0,35,-58,1,0 Сдвиг,Кулачок-2,0,-65,0,1,0 Сдвиг,Кулачок-3,0,35,58,1,0 Пауза,1 Сдвиг,Губка затискувальна 1,0,-45,0,1,0 Сдвиг,Губка затискувальна 2,0,45,0,1,0 Пауза,1 Привязка,Вал,Патрон трьохкулачковий	 Сдвиг,Плита,-175,0,0,1,0  Поворот,Механізм осьового переміщення маніпулятора,-55,0,0,1,0  Команда,Фланець,1000,0,0,Пуск  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,380,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,5,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,65,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-58,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,60,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-1,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,-62,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,6,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,62,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-1,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,-62,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,62,0,0,1,0  Скрыть,Припуск_020_01  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-39,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,-59,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-15,0,1,0  Поворот,Інструментальний барабан-1,0,60,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,15,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,-10,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,65,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,10,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-35,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,30,0,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-22,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,30,0,0,1,0  Скрыть,Припуск_020_02  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,-15,0,1,0  Одновременно,3  Поворот,Інструментальний барабан-1,0,60,0,1,0  Сдвиг,Поперечний рухний супорт,0,380,0,1,0  Сдвиг,Повздовжній рухний супорт,-65,0,0,1,0  Команда,Фланець,0,0,0,Стоп  Поворот,Механізм осьового переміщення маніпулятора,55,0,0,1,0  Сдвиг,Плита,175,0,0,1,0  Сдвиг,Губка затискувальна 1,0,-45,0,1,0  Сдвиг,Губка затискувальна 2,0,45,0,1,0  Одновременно,3  Сдвиг,Кулачок-1,0,20,-35,1,0  Сдвиг,Кулачок-2,0,-40,0,1,0  Сдвиг,Кулачок-3,0,20,35,1,0  Пауза,1  Привязка,Вал,Кисть  Сдвиг,Плита,-175,0,0,1,0  Поворот,Механізм осьового переміщення маніпулятора,-55,0,0,1,0  Поворот,Кронштейн,0,90,0,2,0  Одновременно,2  Сдвиг,Губка затискувальна 1,0,45,0,1,0  Сдвиг,Губка затискувальна 2,0,-45,0,1,0  Пауза,1  Привязка,Вал,Касета-1  Поворот,Кронштейн,0,-90,0,2,0

Рисунок 4.2 – Циклограма виготовлення деталі «Вал»

4.2 Автоматизована розробка керуючої програми оброблювальним центром IPT180ПМФ4 у системі SolidCAM для виготовлення деталі «Вал»

Для того, щоб розробити керуючу програму для обробки деталі «Вал», необхідно спершу змодельовати її обробку в системі SolidCAM. Для цього необхідно створити 3D модель деталі у програмі SolidWorks, потім на підставі цієї моделі необхідно створити потрібну операцію (рис. 4.3) у програмі SolidCAM [15,19,20,48].

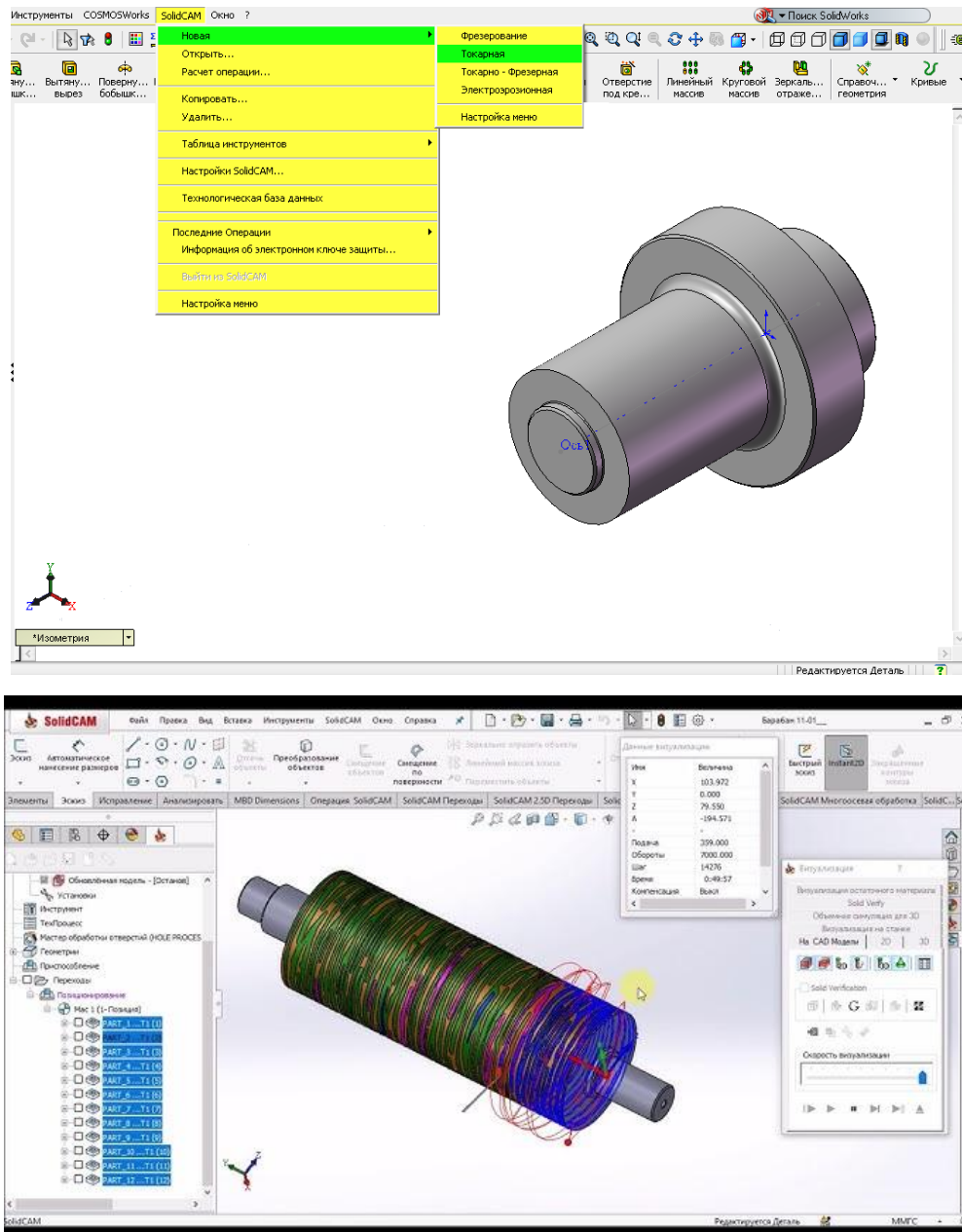


Рисунок 4.3 – Створення нової операції в програмі SolidCAM через програму SolidWorks.

Далі відкривається програма SolidCAM, у якій послідовно необхідно внести всі дані про операцію (перехід): положення нуля деталі, систему ЧПК, умови, при яких буде виконуватися обробка, а також указати заготівлю й деталь, отриману після операції. Також вибирається інструмент і режими обробки (рис. 4.4), після чого виконується розрахунок і збереження необхідної програми і даних в цілому.

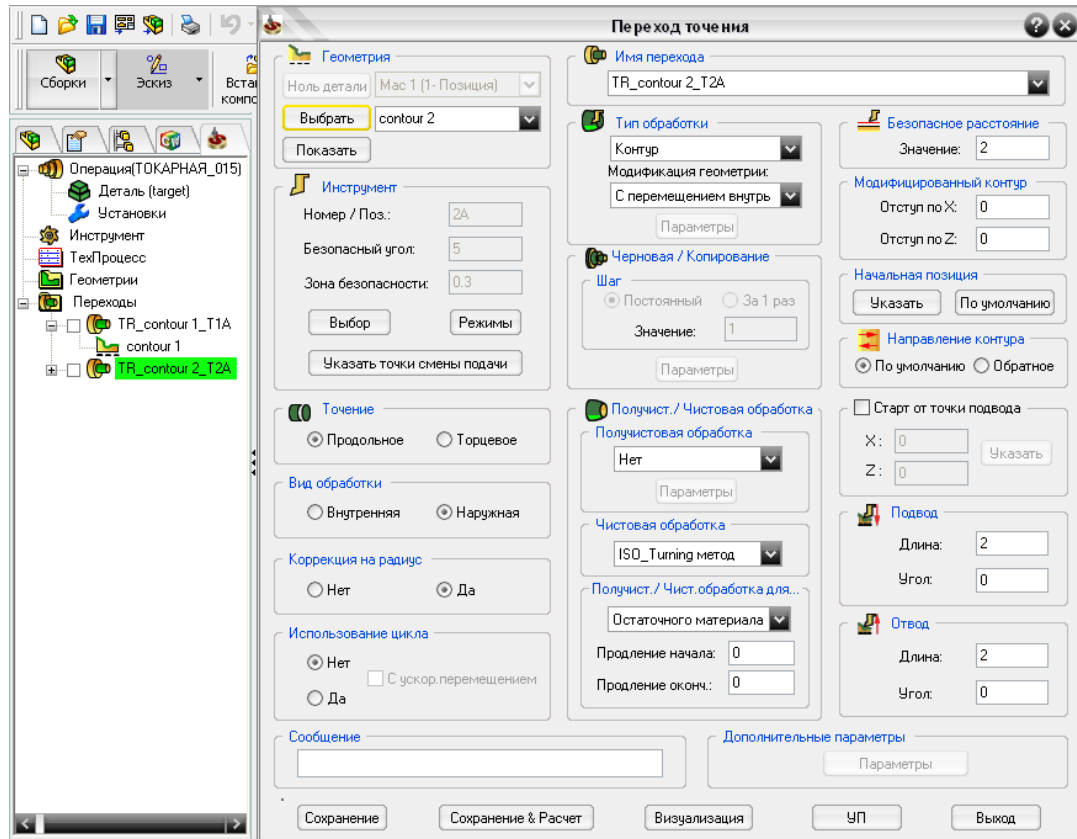


Рисунок 4.4 – Визначення умов переходу для моделювання обробки деталі типу «Вал» у програмі SolidCAM.

Для того, щоб переглянути змодельовану операцію або перехід необхідно натиснути кнопку «Візуалізація» (рис. 4.4), а далі вибрати спосіб візуалізації. А для того, щоб переглянути програму обробки деталі, необхідно натиснути кнопку «УП» – керуюча програма. Далі на екрані з'явиться текст програми.

Вищевказаним способом моделюється повна обробка всієї деталі, а отримана програма відправляється на ЕОМ верстата. Програма обробки усієї деталі наведена у додатку Г.

Прикладом отриманої програми керування за допомогою системи SolidCAM є програма чистового точіння контуру деталі «Вал»:

```

%
:11 (TR_CONTOUR 2_T2A.TAP)
/G28 U0. W0.
M01
N02 ( T02 )
G28 U0.
T0202
G0 X150. Z200.
G96 S235 M3
G0 X124. Z154.056 M8
(-----)
(TR-CONTOUR 2-T2A - TURN)
(-----)
G99 G96 S270
G0 X124. Z154.056
G1 X-0.8 Z150.03 F0.2
    Z150.01
    X-1.62
G42 G1 Z150.
    X38.
    X40. Z149.
    Z145.5
G2 X41. Z145. R0.5
G1 X69.95
    Z64.8
G2 X79.95 Z59.8 R5.
G1 X110.
    X114. Z57.8
    X124.
G40 G1 Z57.81
    X124.902 Z57.882
G0 Z152.
    X124.
    G97
G0 X190. Z200.
M30
%
```

4.3 Висновки

У даному розділі були розроблені циклограма виготовлення деталі «Вал», а також керуюча програма для обробки деталі на оброблювальному центрі IPT180ПМФ4.

Циклограма була складена у вигляді програми імітаційного моделювання, де послідовно вказувалися дія й час її виконання елементами системи виготовлення деталі.

Керуюча програма для оброблювального центру IPT180ПМФ4 була розроблена автоматично, за допомогою системи SolidCAM 2007. Для імітаційного моделювання були задані параметри обробки, після чого система склала керуючу програму. Тексти програм по операціям зведені у додатках.

5. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ»

5.1 Конструкторсько-технологічний аналіз оснащення, яке використовується при обробці на верстатах із ЧПК

При обробці на оброблювальному центрі IPT180ПМФ4 у якості оснащення використовується трикулачковий самоцентрувальний патрон із змінними кулачками і механічним приводом.

Кулачкові патрони служать для закріплення відносно коротких деталей. Вони розрізняються по типу приводу на ручні і механізовані, а по числу на двох-, трьох- і чотирикулачкові. Патрони можуть бути самоцентрувальні і з незалежним переміщенням кулачків, універсальними і спеціальними. Розрізняються вони і по конструкції на клинові, важільно-клинові, важільні, спірально-рейкові, гвинтові і т.п..

Технічні вимоги на токарні патрони загального призначення регламентовані ГОСТ 2675-80. Установлено чотири класи точності патронів: Н - нормальної точності; П - підвищеної точності; В - високій точності; А - особливо високої точності залежно від величин допустимої невірноваженості (дисбалансу) і граничних відхилень від геометричної форми і розташування поверхонь патронів (ГОСТ 1654-71). Радіальне биття контрольного паска самоцентрувальних патронів діаметром до 630 мм не повинне перевищувати 10 мкм для класів точності А і В і 20 мкм для класів точності Н і П [38].

Найпоширеніші клинові (ГОСТ 16886-71) і важільно-клинові (ГОСТ 16862-71) патрони з механізованим приводом. Крім того, у заводській практиці зустрічаються і важільні механізми патронів. Всі ці патрони не є універсальними, тому що при їхньому переналагодженні необхідно переставляти і перекріплювати накладні кулачки, на що затрачається багато часу. Відповідно до ГОСТ 2675-71 патрони можуть виконуватися з наступними зовнішніми діаметрами: 80; 100; 125 (130); 160; 200; 250; 315(320); 400; 500 і 630. Ці патрони переважно використовуються в багатосерійному виробництві, а також в умовах групового методу виробництва.

Клинові патрони (ГОСТ 16886-71) виготовляються по кресленнях Міністерства верстатострументальної промисловості у двох виконаннях: виконання 1 – із кріпленням патрона за допомогою проміжного фланця (ГОСТ 3889-71) і виконання 2 – із кріпленням патрона безпосередньо до фланцевого кінця шпинделя (ГОСТ 12595-71). Основні розміри патронів відповідно до рис. 5.1 наведені у таблиці 5.1. Конструкція самоцентрувального патрона із клиновим механізмом працюючим від обертового приводу, розташованого на задньому кінці шпинделя верстата, показана на рис. 5.2.

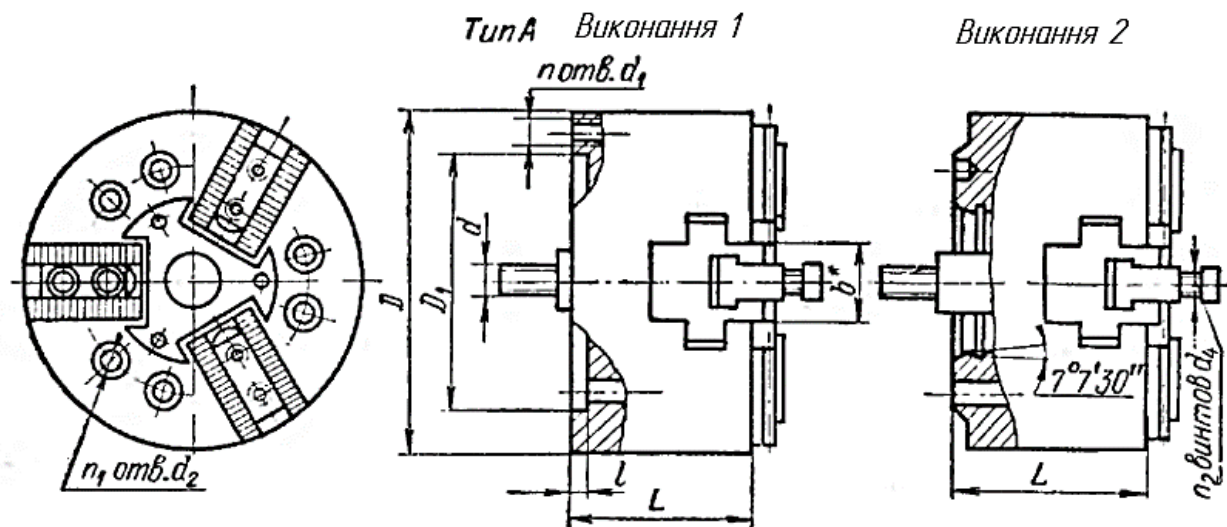


Рисунок 5.1 – Основні розміри клинових патронів

Таблиця 5.1 – Основні розміри самоцентрувальних трьохкулачкових патронів (ГОСТ 16886-71) у мм (виконання 1) [38]

D	L	$D_1 (A)$	B	d	d_1	d_2	n	n_1	n_2 , Тип А	l	Ход ку- лачка S
100	70	72	30	M12	M8	11	3	3	6	6	3
125 (130)	80	95 (100)	30	M12	M8	11	3	6	6	6	4
160	90	130	36	M16	M8	11	3	6	6	8	5
200	100	165	40	M20	M10	13	3	6	6	8	6
250	110	210	50	M24	M12	17	3	6	6	8	7
315 (320)	125	270	60	M27	M12 (M16)	19	3	6	6	10	8
400	145	340	70	M27	M16	19	3	6	6	10	10
500	175	440	70	M36	M16	24	6	6	9	12	12
630	210	560	90	M36	M16	24	6	6	9	12	14

У радіальних пазах корпуса 1 патрона переміщаються три кулачки 2, з рифленою поверхнею яких сполучаються змінні накладні кулачки 5. Гвинти 4 і сухарі 3 служать для кріплення накладних кулачків після їхньої перестановки в процесі налагодження патрона. Муфта 6, що ковзає в отворі корпуса патрона має для зв'язку з кулачками три пази з кутом нахилу 15° і приводиться в рух від штока приводу.

При осьовому переміщенні муфти кулачки одержують радіальне переміщення і затискають або звільняють заготовку. Передатне відношення переміщення клинового механізму 1:3,7. Форма клинового сполучення дозволяє легко виймати і замінювати кулачки. Для цього в муфті 6 передбачений шестигранний отвір b для ключа; при повороті муфти проти годинникової стрілки на кут 15° кулачки виводять із зачеплення і виймають. У робочому положенні муфта втримується штифтом 9, що одночасно служить упором, що обмежує поворот муфти при зміні кулачків. Пружні штифти 8 утримують кулачки від випадання, коли вони виведені із зачеплення з муфтою. Втулка 7 запобігає проникненню в патрон бруду і стружки. Одночасно її конусний отвір c використовується для установки напрямних втулок, упорів і т.п..

До достоїнств клинового патрона варто віднести: 1) компактність і жорсткість, так як механізм патрона складається всього із чотирьох рухливих частин (ковзної муфти і кулачків); 2) зносостійкість, так як з'єднання муфти з кулачками відбувається по поверхнях з рівномірно розподіленим тиском, а можливість швидкого знімання кулачків сприяє гарному їхньому чищенню і змащенню.

Недоліки патронів з тягою через шпindel наступні: 1) тяга, навіть пустотіла, виключає (обмежує) можливості обробки деталей із хвостовиками або із прутків; 2) обертові циліндри, поміщені на кінці шпинделі, мають потребу в точному балансуванні, навантажують радіальні підшипники і вимагають огорожень; 3) необертові циліндри, якщо вони застосовуються, навантажують упорні підшипники шпинделя і прискорюють їхнє зношування; 4) приєднання патрона до тяги вимагає витрат часу.

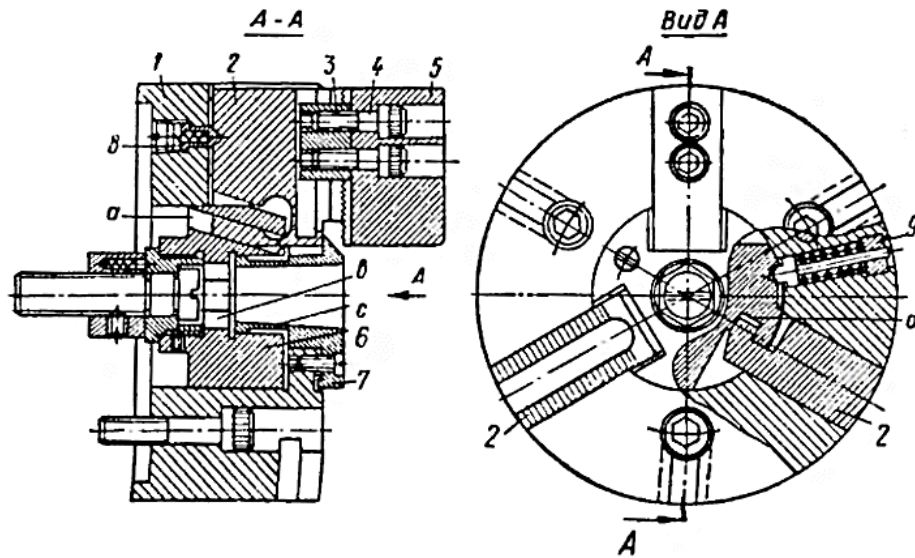


Рисунок 5.2 – Трикулачковий самоцентрувальний клиновий патрон із приводом на задньому кінці шпинделя

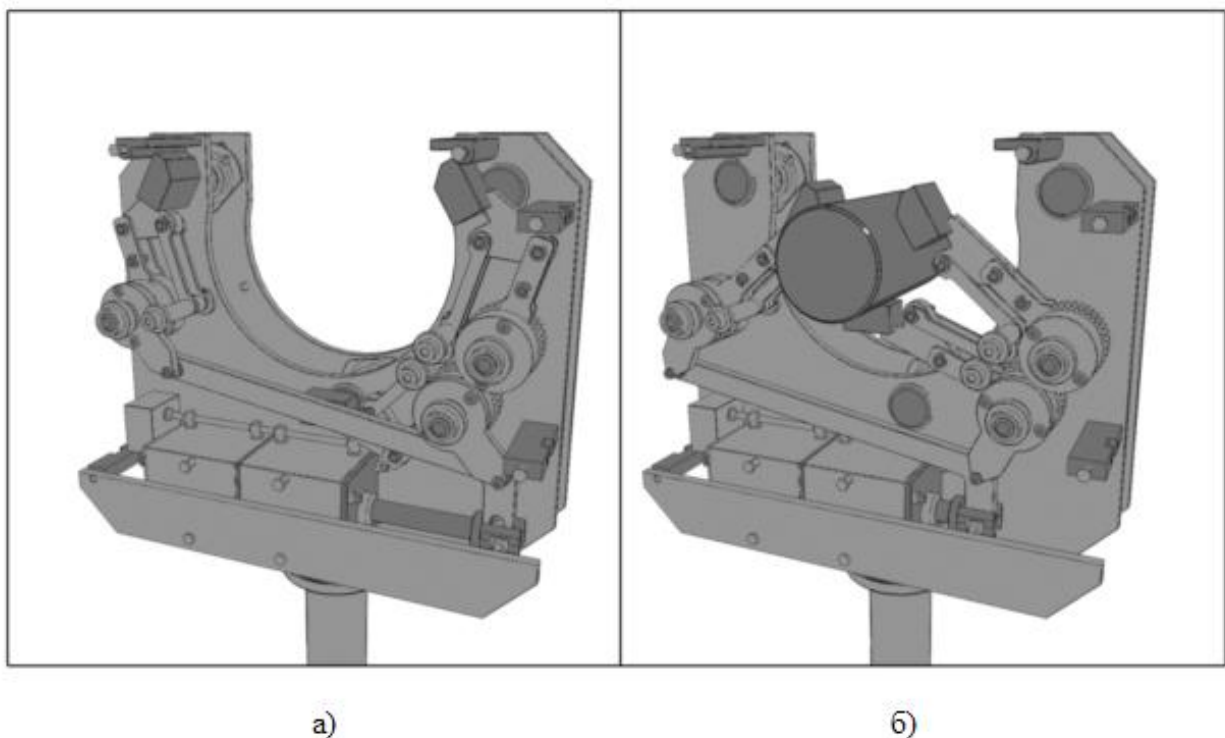
5.2 Розробка конструкції захватного пристрою маніпулятора для переміщення виробу «Вал» у робочій зоні оброблювального центра ІРТ180ПМФ4

Захватні пристрої промислових роботів і маніпуляторів служать для захвату і утримання у певному положенні об'єктів маніпулювання. Ці об'єкти можуть мати різні розміри, форму, масу і мати різноманітні фізичні властивості, тому ЗП відносять до числа змінних елементів ПР. Як правило, ПР і М комплектують набором типових (для даної моделі) ЗП, які можна міняти залежно від вимог конкретного робочого завдання. Іноді на типовий захват встановлюють змінні робочі елементи (губки, присоски і т.п.). При необхідності ПР оснащують спеціальними ЗП, призначеними для виконання певних операцій. До ЗП пред'являються вимоги загального характеру і спеціальні, пов'язані з конкретними умовами роботи. До числа обов'язкових вимог ставляться надійність захвату і утримання об'єкта, стабільність базування, неприпустимість ушкоджень або руйнування об'єктів. Міцність ЗП повинна бути високою при малих габаритних розмірах і масі. При обслуговуванні одним ПР декількох одиниць устаткування застосування широкодіапазонних ЗП або їхня автоматична зміна може виявитися єдиним можливим рішенням, якщо

одночасно обробляються деталі різних конфігурацій і маси. Тому до ЗП для ПР, що працюють в умовах серійного виробництва, пред'являються додаткові вимоги: широкодіапазонність (можливість захвату і базування деталей у широкому діапазоні маси, розмірів і форми), забезпечення захвату близько розташованих деталей, легкість і швидкість заміни (аж до автоматичної зміни ЗП). У ряді випадків необхідна автоматична зміна зусилля втримання об'єкта залежно від маси деталі.

Для переміщення заготовки із касети транспортера, а також готової деталі в робочій зоні оброблювального центра ІРТ180 ПМФ4 застосовується маніпулятор портального типу М10П.62.01 Одним з функціональних елементів даного робота є захватний пристрій.

На рисунку 5.3 зображено захват для утримання заготовок та деталей роботом в двох положеннях. Робота захвату виконується завдяки стиснутому повітрю, яке подається в одну з двох камер пневмоциліндра, викликаючи тим самим рух штока вправо чи вліво, і відповідно розтискання чи затискання заготовки кулачками захвату.



а) початкове положення кулачків захвату; б) кулачки захвату затиснули заготовку

Рисунок 5.3 – Захватний пристрій маніпулятора М10П.62.01

5.3 Вибір допоміжного інструмента для виготовлення деталі «Вал» на оброблювальному центрі IPT180ПМФ4

Допоміжний інструмент токарних верстатів повинен забезпечувати кріплення різців, свердел (з конічним і циліндричним хвостовиками), зенкерів, розгортки, мітчиків і плашок і задовольняти наступним основним вимогам: бути досить жорстким; мати високу точність і стабільність базування і кріплення різального інструменту; дозволяти виконувати всі технологічні операції, передбачені технічною характеристикою верстата; легко і швидко встановлюватися і зніматися; мати мікрозмірну уніфікацію; забезпечувати настроювання інструмента поза верстатом [14].

Найбільш широке поширення одержали верстати з револьверними головками, що дозволяють кріпити різальний інструмент за допомогою допоміжного інструмента, або з безпосередньою установкою різців. Способи установки допоміжного інструмента в револьверній голівці різні. Широко застосовується центрування по конусу або циліндричному хвостовику із кріпленням гвинтами за фланець, притискними гвинтами в лиску хвостовика, затискними сухарями за циліндричний хвостовик і рифлений клин за рифлення по лисці циліндричного хвостовика. Ці способи кріплення допоміжного інструмента одержали поширення на патронно-центрових верстатах, що мають шести- і восьмигранні револьверні головки. На одній грані головки може бути закріплене декілька різцетримачів з різальним інструментом для зовнішньої і внутрішньої обробки.

Базування здійснюється по напрямних у вигляді призм, сфер або типу «ластівчин хвіст», а також кріпленням ексцентриком або притискними планками, використовують базування по призмах із кріпленням прихватами. Рідше, виконується базування допоміжного інструмента по зубчастому вінці із кріпленням ексцентриком або гвинтами, базування по шпонці або штифтам із кріпленням гвинтами, а також базування по крутому конусі із кріпленням ексцентриком. Застосовується і безпосереднє кріплення у револьверних головках.

При обробці деталей типу «Вал» на оброблювальному центрі IPT180 ПМФ4 виконуються: чорнове і чистове точіння.

Для обробки деталі типу «Вал» застосовуються різальний і допоміжний інструмент компанії «Sandvik Coromant».

Лідерство у виробництві модульних систем

Sandvik Coromant є лідером в створенні швидкозмінних модульних інструментальних систем. Найбільше число верстатів у світі оснащене системами Coromant, починаючи з універсальних токарних верстатів, де може бути встановлене всього декілька позицій, закінчуючи повним оснащенням всіх верстатів на великих ділянках і цілих виробництвах [14].

Перша універсальна модульна система

Coromant Capto – це модульна швидкозмінна інструментальна система, яка базується на досвіді застосування системи Block Tool, призначеної для токарного інструменту, і системи ToolKit для інструменту, що обертається. Coromant Capto однаково ефективна для всіх видів інструменту – токарного, свердлувального, фрезерного і різних типів верстатів [14].

Швидкозмінність

Переваги Coromant Capto:

- зниження загального часу обробки завдяки значному скороченню часу переналадки;
- близько 200 додаткових годин на рік за рахунок скорочення часу зміни пластин і інструменту на токарних верстатах і оброблювальних центрах.

Модульність

Взаємозамінні елементи модульного оснащення Coromant Capto дозволяють складати численні інструментальні наладки при різних поєднаннях складових модулів, що дозволяє зменшити необхідні запаси допоміжного інструменту на складі і скоротити витрати.

Жорсткість

Збільшення продуктивності можливе за рахунок підвищення жорсткості. Висока жорсткість з'єднання елементів оснащення системи дозволяє підвищити рівень вживаних подач на 0.1 мм/об, що вивільняє щорічно до 250 годин.

Висока чистота обробки і стійкість інструменту забезпечують отримання деталей вищої якості.

Технологічна універсальність

Одні і ті ж елементи можуть бути використані на різних типах верстатів, що розширює технологічні можливості оснащення і дозволяє зменшити кількість інструменту на складі.

Трьохгранний конус – унікальна базова поверхня

Унікальний спосіб одночасного базування по тригранній конічній поверхні і торцю при закріпленні із зусиллям близько декількох тонн забезпечує високу жорсткість і хороший опір, як при вигинанні, так і при крутному моменті. Висока точність з'єднання гарантує, що повторюваність в осьовому і радіальному напрямі при наступних закріпленнях однієї і тієї ж різцевої головки в одній і тій же державці не перевищує ± 2 мкм.

Точність

Зникає необхідність в пробних проходах, завдяки:

- високій точності з'єднання;
- попередньому налаштуванню інструменту. Відсутність пробних підходів дозволяє заощадити 200 годин робочого часу на рік.

Тригранне з'єднання, є самоцентрувальним, гарантує найменше биття інструменту, що обертається, і установку ріжучої кромки точно по центру.

Підведення ЗОТС

Подача ЗОТС через внутрішні отвори в інструменті усуває необхідність регулювання напрямку ЗОТС при установці оснащення, що знижує час на переналадку. Ефективна подача ЗОТС підвищує стійкість пластин.

Вибір основного і допоміжного інструмента для обточування проводиться за наступною схемою:

1. визначення виду обточування відповідно до типу операції (рис. 5.4):
 - повздовжнє чорнове точіння (рис. 5.4, 1);
 - контурне чистове точіння (рис. 5.4, 3).

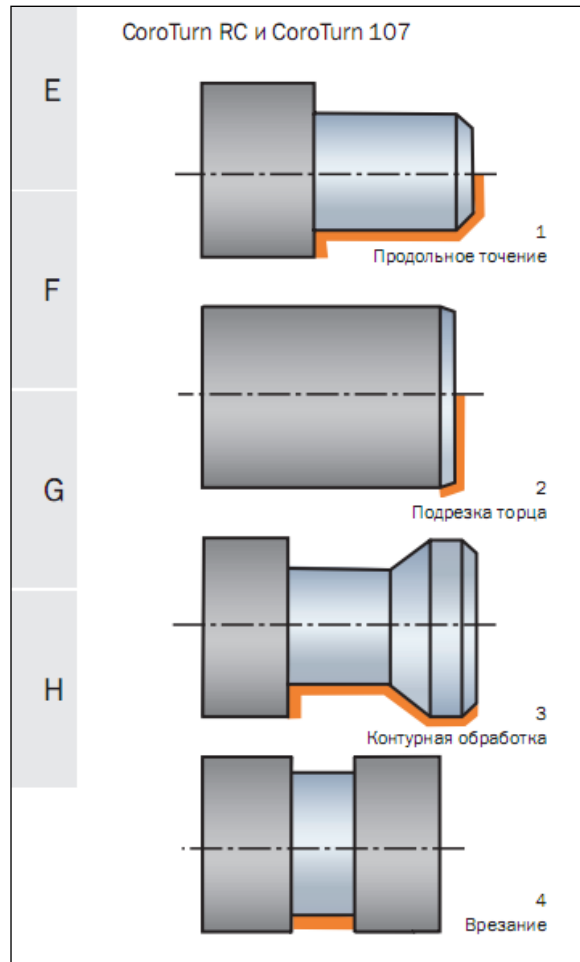


Рисунок 5.4 – Вид обрабатываемой поверхности

2. Вибір типу інструмента в залежності від виду обрабатываемой поверхности (рис. 5.5).



Рисунок 5.5 – Типы инструментов для внешней обработки

Підбирається найбільш оптимальний інструмент, із погляду продуктивності та надійності обробки.

3. Визначення групи оброблюваного матеріалу по ISO (рис. 5.6):

- сталь (P);
- нержавіюча сталь (M);
- чавун (K);
- алюміній (N);
- жароміцні і титанові сплави (S);
- матеріали високої твердості (H).

ISO	Код матеріала по ISO 6831 (CNC)	Страна									
		Великобританія		Швеція	США	Німеччина	Франція	Італія	Іспанія	Японія	
		Стандарт									
		BS	EN	SS	AISI/SAE	W.-nr.	DIN	AFNOR	UNI	UNE	JIS
P	Нелегована сталь										
	01.1	4360 40 C	1A	1311	A570 36	1.0038	RSt 37-2	E 24-2 Ne	-	-	STKM 12A,C
	01.1	030A04		1115	1.0038	GS-CK16	-	-	-		
	01.1	4360 40 B		1312	A573-81 65	1.0116	St 37-3	E 24-U	Fe37-3	-	
	01.1	080M15	-	1350	1015	1.0401	C15	CC12	C15C16	F.111	-
	01.1	050A20	2C/2D	1450	1020	1.0402	C22	CC20	C20C21	F.112	-
	01.1	230M07	-	1912	1213	1.0715	9SMn28	S250	CF9SMn28	11SMn28	SUM22
	01.1	-	-	1914	12L13	1.0718	9SMnPb28	S250Pb	CF9SMnPb28	11SMnPb28	SUM22L
	01.1	-	-	-	-	1.0722	10SPb20	10PbF2	CF10SPb20	10SPb20	-
	01.1	240M07	1B	-	1215	1.0736	9SMn36	S 300	CF9SMn36	12SMn35	-
	01.1	-	-	1926	12L14	1.0737	9SMnPb36	S300Pb	CF9SMnPb36	12SMnP35	-
	01.1	080M15	32C	1370	1015	1.1141	CK15	XC12	C16	C15K	S15C
	01.1	-	-	-	1025	1.1158	CK25	-	-	-	S25C
	01.1	4360 55 E	-	2145	A572-60	1.8900	StE 380	-	FeE390KG	-	-
	01.1	4360 55 E	-	2142	A572-60	-	17 MnV 6	NFA 35 501 E 36	-	-	-
	01.2	060A35	-	1550	1035	1.0501	C35	CC35	C35	F.113	-
	01.2	080M46	-	1650	1045	1.0503	C45	CC45	C45	F.114	-
	01.2	212M36	8M	1957	1140	1.0726	35S20	35MF4	-	F210G	-
	01.2	150M36	15	-	1039	1.1157	40Mn4	35M5	-	-	-
	01.2	-	-	2120	1335	1.1167	36Mn5	40M5	-	36Mn5	SMn438(H)
	01.2	150M28	14A	-	1330	1.1170	28Mn6	20M5	C28Mn	-	SCMn1
	01.2	060A35	-	1572	1035	1.1183	C35	XC38TS	C36	-	S35C
	01.2	080M46	-	1672	1045	1.1191	CK45	XC42	C45	C45K	S45C
	01.2	060A52	-	1674	1050	1.1213	CK53	XC48TS	C53	-	S50C
	01.3	070M55	-	1655	1055	1.0535	C55	-	C55	-	-
	01.3	080A62	43D	-	1060	1.0601	C60	CC55	C60	-	-
	01.3	070M55	-	-	1055	1.1203	CK55	XC55	C50	C55K	S55C
	01.3	080A62	43D	1678	1060	1.1221	CK60	XC60	C60	-	S58C
	01.4	060 A 96	-	1870	1095	1.1274	CK 101	XC 100	-	F-5117	-
	01.4	BW 1A	-	1880	W 1	1.1545	C 105 W1	Y105	C36KU	F-5118	SK 3
	01.4	BW2	-	2900	W210	1.1545	C105W1	Y120	C120KU	F.515	SUP4

Рисунок 5.6 – Відповідність марок металів за класифікаціям ISO

4. Вибір типу різцевої головки для чорнового і чистового точіння (рис. 5.7).

В	Різцеві головки Coromant Capto® для пластин без задніх кутів
С	Разделывающее
Д	Фрезерование
Е	Сверление
Ф	Разделывающее
Г	Инструментальная
Н	но-формы
Оформляющая	
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С
С	С

Рисунок 5.7 – Різцеві головки Coromant Capto

5. Підбираються тип оснащення для вибраного типу інструменту (рис. 5.8,5.9).

Базові тримачі для револьверних голівок із кріпленням VDI:

- не потребують зміни револьверної головки;
- внутрішній підвід ЗОТС;
- мінімальний виліт забезпечить максимальні технологічні можливості.

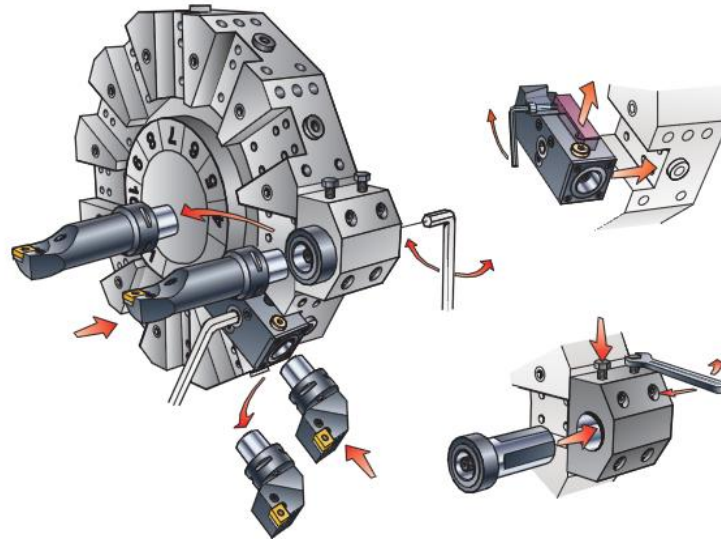


Рисунок 5.8 – Базові тримачі для револьверних голівок

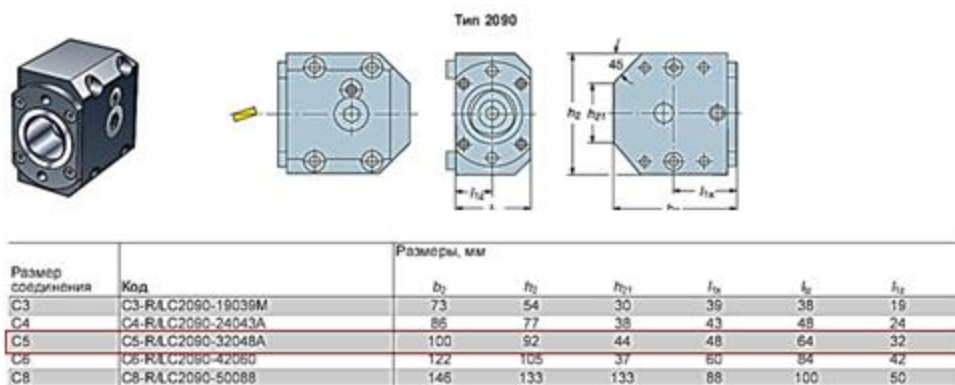


Рисунок 5.9 – Вибір базової державки для токарної обробки

5.4 Висновки

У даному розділі виконувався аналіз технологічного оснащення процесу виготовлення деталі «Вал». У якості оснащення була розроблена конструкція захоплюючого пристрою маніпулятора, що переміщає заготовку із касети транспортного накопичувача в робочу зону верстата і готову деталь в касету транспортного накопичувача; а також обраний допоміжний інструменти для обробки деталі на оброблювальному центрі.

Перераховане вище оснащення було вибрано і розроблено для групового технологічного процесу, з метою збільшення якості виробництва і зниження собівартості виробу за рахунок зменшення номенклатури застосовуваних інструментів і пристосувань, а також за рахунок автоматизації допоміжних дій.

6. ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ»

6.1 Розробка організаційно-технологічної структури системи виготовлення деталі «Вал» на ГВМ ІРТ180ПМФ4

До складу організаційно-технологічної системи виготовлення деталі «Вал» входять: оброблювальний центр ІРТ180ПМФ4, стіл-накопичувач, а також порталний робот М10П.62.02 (рис. 6.1).

Для розміщення на ділянці обробки деталі типу «Вал» заготовок, а також готових деталей необхідна наявність накопичувача. У цьому випадку накопичувачем є тактовий стіл-накопичувач. На столі розташовані транспортні платформи з касетами для правильного позиціонування заготовок і оброблених деталей. Точне позиціонування в цьому випадку необхідно для точного захвату маніпулятором заготовки із касети.

Маніпулятор М10П.62.02 – промисловий робот порталного типу, що здійснює переміщення заготовки із тактового столу-накопичувача і встановлює у трикулачковий патрон, а також зняття після обробки готової деталі і переміщення останньої у касету накопичувача.

Оброблювальний центр ІРТ180ПМФ4 – спеціальний токарно-багатоцільовий патронний напівавтомат із ЧПК, що безпосередньо здійснює обробку деталі типу «Вал».

За допомогою програми SolidWorks була змодельована імітаційна модель системи виготовлення деталі «Вал», у яку увійшли перераховані вище елементи.

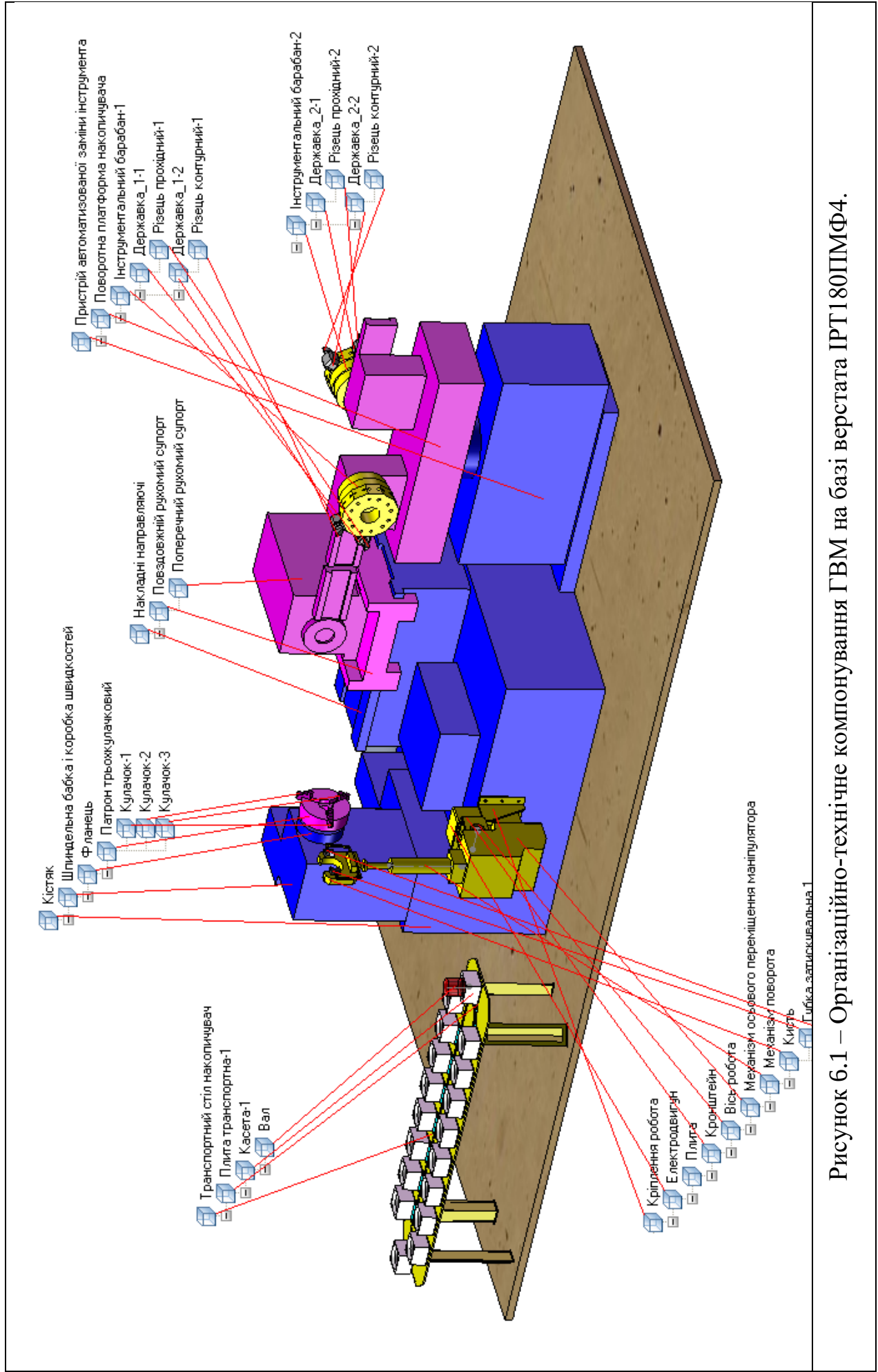


Рисунок 6.1 – Організаційно-технічне компонування ГВМ на базі верстата ІРТ180ПМФ4.

6.2 Розробка функціональної моделі спеціального токарно-багатоцільового патронного напівавтомату IPT180ПМФ4

У проектному ТП використовується спеціальний токарно-багатоцільовий патронний напівавтомат IPT180ПМФ4 (рис. 6.2).



Рисунок 6.2 – Спеціальний токарно-багатоцільовий патронний напівавтомат IPT180ПМФ4

Спеціальний токарно-багатоцільовий патронний напівавтомат моделі IPT180ПМФ4 призначений для комплексної патронної обробки особливо складних деталей із чорних і кольорових металів і виконує операції точіння, фрезерування площин, поверхонь і пазів складної конфігурації, свердлення отворів по зовнішній циліндричній і торцевій поверхнях деталі, нарізування різьб різцями й мітчиками.

Технічні характеристики.

Клас точності	П
Найбільші розміри оброблюваної деталі, мм:	
діаметр	200
довжина	165
Найбільший діаметр прутка, що проходить через отвір у шпинделі, мм ...	50
Найбільший діаметр свердління, мм:	
не обертовим інструментом	20
обертовим інструментом	12
Найбільший перетин різця, мм	20×20
Найбільший діаметр фрези, мм	20
Кінець шпинделя за ДСТ 12595-72	1–6М
Кількість індексованих робочих позицій револьверної головки.....	12

Кількість інструментальних гнізд:	
по периферії револьверної головки	12
по торці револьверної головки	12
Найбільше програмувальне переміщення:	
повзуна (вісь X), мм	245
каретки (вісь Z), мм	400
Частота обертання шпинделя виробу, хв^{-1}	20...40000
Найбільший крутний момент на шпинделі виробу, Н·м	630
Частота обертання інструментального шпинделя, хв^{-1}	40...40000
Найбільший крутний момент на інструментальному шпинделі, Н·м	35
Робоча подача:	
повзуна (вісь X), мм/хв	1...5000
каретки (вісь Z), мм/хв	1...5000
шпинделя виробу (вісь C), хв^{-1}	0,01...16
Швидкість швидких переміщень:	
повзуна (вісь X), мм/хв.	10000
каретки (вісь Z), мм/хв.	15000
Найбільше зусилля подач:	
повзуна (вісь X), Н	4000
каретки (вісь Z), Н	6000
Час зміни інструментального барабана, с	120
Пристрій зміни інструментального барабана	Двопозиційне
Октавні частоти, Гц	63 125 250 500 1000 2000 4000 8000
Припустимі рівні звукової потужності, дБа:	
холостий хід	114 107 101 98 95 93 91 89
під навантаженням	117 110 104 101 98 96 94 92
корегований рівень звуку,	
холостий хід	100
під навантаженням	103
Габарит напівавтомата без виносного встаткування, мм	2751×2170×1650
Маса напівавтомата, кг:	
без виносного встаткування	4500
з виносним устаткуванням	7500
Електроустаткування	
Живильна електромережа:	
Рід струму	змінний трифазний
Напруга, В	380
Частота, Гц	50±0,1
Електродвигуни:	
приводу шпинделя виробу(головний):	
потужність, кВт	22(18,6...25)
номінальна частота обертання, хв^{-1}	1500
номінальний момент, Н·м	134 (117,7...59)
подачі саней (вісь Z):	
потужність, кВт при 2000 хв^{-1}	5,2
номінальна частота обертання, хв^{-1}	2000

номінальний момент, Н·м	2,5
приводів подачі повзуна (вісь Х), осі С, повороту-затиску револьверної головки, повороту пристрою накопичувача інструментальних барабанів:	
потужність при 2000 хв ⁻¹ , кВт	1,98 (1,98...2,93)
номінальна частота обертання, хв ⁻¹	2000
номінальний момент, Н·м	9,5 (9,6...14)
приводу інструментального шпинделя (приводний вал):	
потужність, кВт	3,7 (3,7...5,5)
номінальна частота обертання, хв ⁻¹	1500
номінальний момент, Н·м	23,5 (23,6...34)
приводу обертання шнекового транспортера збирання стружки:	
тип	MF1/BW-7, Willy-Voger
потужність, кВт	0,12
номінальна частота обертання, хв ⁻¹	1500
насосної установки подачі ЗОТС у зону різання:	
тип	4A80У2НПУЗ
потужність, кВт	2,2
номінальна частота обертання, хв ⁻¹	2871
агрегату очищення ЗОТС:	
тип	4A80A2ПУЗ
потужність, кВт	1,5
номінальна частота обертання, хв ⁻¹	2874
насосної установки подачі ЗОТС в агрегат очищення:	
потужність, кВт	0,15
номінальна частота обертання, хв ⁻¹	2800
вентилятора електродвигуна приводу обертання шпинделя виробу:	
потужність, кВт	0,3
номінальна частота обертання, хв ⁻¹	3500
продуктивність вентилятора, м ³ /с	0,15
вентилятора приводу обертання інструментального шпинделя:	
потужність, кВт	0,1
номінальна частота обертання, хв ⁻¹	4000
продуктивність вентилятора, м ³ /с	0,06
Кількість електродвигунів на верстаті	17
Сумарна потужність електродвигунів, кВт	43,59 (34,89...46,99)
Максимальна сумарна потужність електродвигунів, що одночасно працюють.....	37,65 (28,96...38,2)

Гідрообладнання

Змащення напрямних і передач гвинт-гайка кочення	примусова дозована
Марка масла	турбінне 22П
Насосна установка:	
місткість резервуара, дм ³	7
найбільший робочий тиск, МПа (кгс/см ²)	2 (20)
продуктивність, л/хв.	0,1
Живильник дозованого змащення	останнього типу з дозуючими поршнями

Система змащення шпindelьної бабки	попереджувальна циркуляційна
Марка масла	турбінне 22П
Насосна установка:	
продуктивність насоса змащення, $\text{дм}^3/\text{с}$ (л/хв)	(20×0,25)
максимальний робочий тиск, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$)	2 (20)
<i>Система подачі ЗОТС</i>	
Найбільший робочий тиск у системі, МПа ($\text{кгс}/\text{см}^2$)	0,25 (2,5)
Місткість баків, дм^3 :	
відстійного	50
основного	150
Очищення ЗОТС	примусово відцентрове
Продуктивність насоса відцентрового очищення, л/хв.	45
Продуктивність насоса подачі ЗОТС, л/хв.	100
<i>Пневмообладнання</i>	
Повітря, що подається до верстата:	
тиск, МПа	0,5
ступінь очищення за ДСТ 17433-80	не нижче 10 класу забруднення 0,02
найбільша витрата, $\text{м}^3/\text{с}$	0,02
Пристрій числового програмного керування	
Кількість:	
керованих осей	3
одночасно керованих осей	2
Система кодування	180, E1A
Тип інтерполяції	лінійна кругова
Точність введення висновку, мм/град	0,001
Швидкість подачі, мм/хв.	0,6...5000
Прискорений хід, м/хв.	16
Можливість програмувати подачу в мм/об, G95	є
Корекція подачі, %	0...120
Кількість програм у пам'яті	256
Пам'ять програм	64K
Можливість збереження програми при відключеному живленні,	
Діб	30
Блокові завдання програм, рівнів	9
Корекція інструмента	є
Компенсація люфту	є
Контроль терміну служби інструмента	є
Діагностика	є
Індикація помилок	256
Кількість керованих шпindelів	2
Орієнтація шпинделя й різьбо нарізання	є

Основними вузлами верстата є (рис. 6.3):

1 – станина; 2 – шпиндельна бабка; 3 – повздовжній-рухомий супорт; 4 – поперечний-рухомий супорт; 5 – пристрій автоматичної заміни інструмента; 6 – комплект інструментального оснащення й пристосувань; 7 – електродвигун головного руху; 8 – коробка швидкостей; 9 – пас зубчатий; 10 – редуктор; 11 – електродвигун приводного валу; 12 – електродвигун приводу револьверної головки; 13 – циліндри заміни інструментальних барабанів; 14 – поворотна платформа накопичувача.

Напівавтомат має загальну прямокутну станину, на якій жорстко закріплена шпиндельна бабка. По накладним сталевим загартованим направляючим паралельно осі шпинделя подовжньо переміщуються каретка, на якій розташований поперечно-пересувний повзун з вбудованою револьверною головкою і приводом на свердлильно-фрезерні інструментальні блоки.

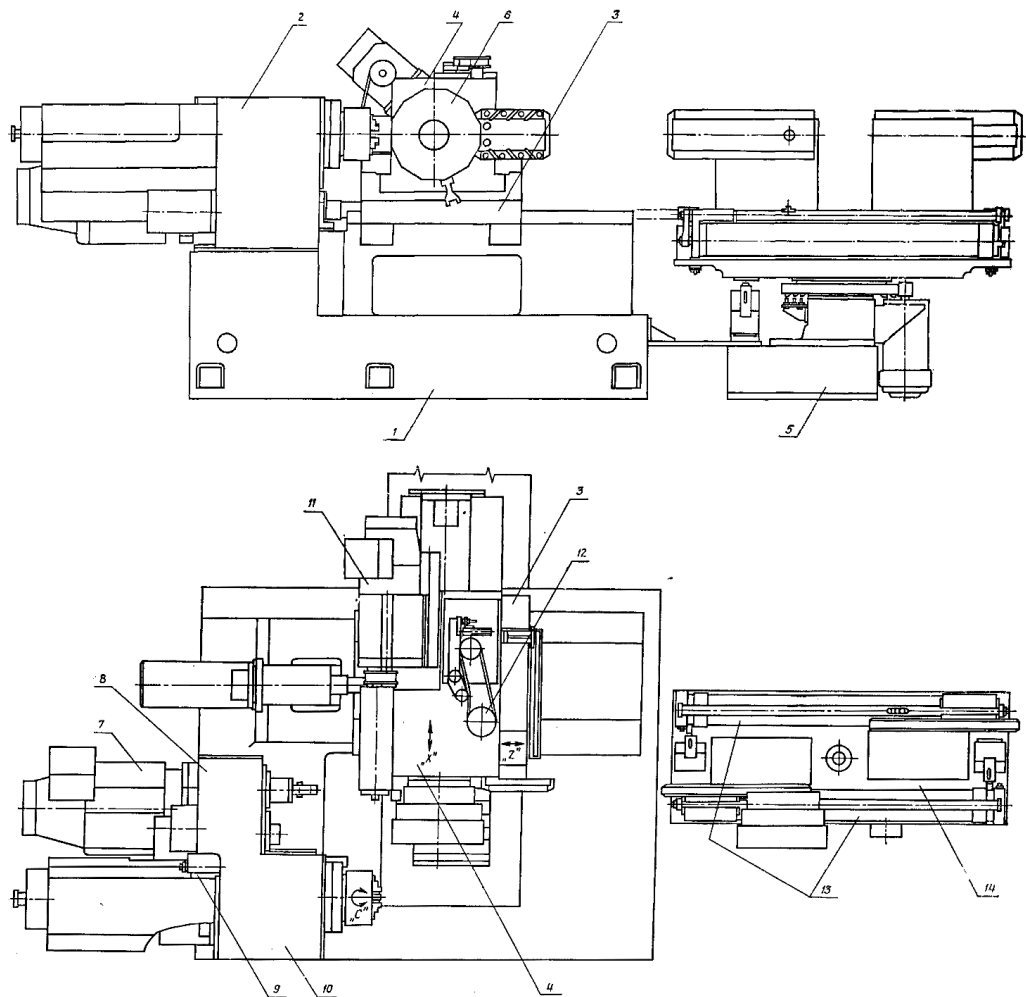


Рисунок 6.3 – Загальний вигляд спеціального токарно-багатоцільового патронного напівавтомата IPT180ПМФ4

Основними вузлами даного верстата, проєктованими за допомогою 3D графіки, є:

1. Станина (рис 6.4).
2. Шпиндельна бабка із коробкою швидкостей (рис 6.5).
3. Трикулачковий патрон (рис. 6.6).
4. Повздовжній-рухомий супорт (рис 6.7).
5. Поперечний-рухомий супорт (рис 6.8).
6. Інструментальний барабан (рис. 6.9).
7. Пристрій автоматичної заміни інструмента (рис. 6.10).
8. Поворотна платформа накопичувача (рис 6.11).

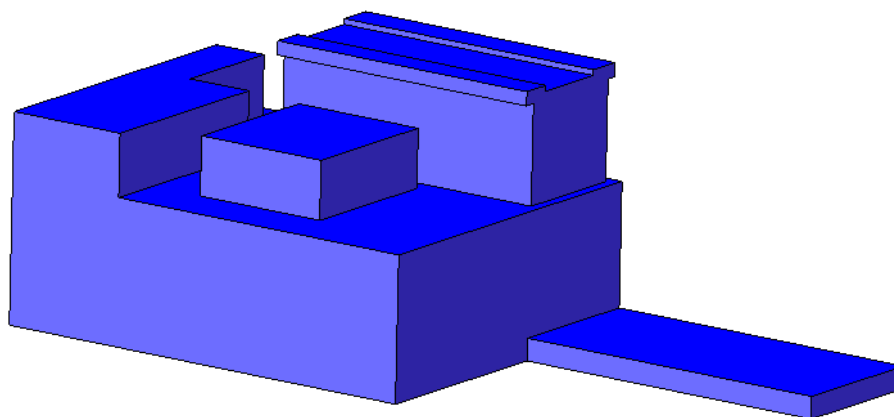


Рисунок 6.4 – Станина оброблювального центра IPT180ПМФ4

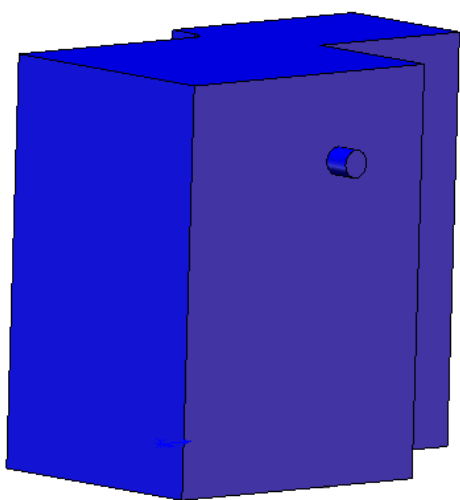


Рисунок 6.5 – Шпиндельна бабка із коробкою швидкостей

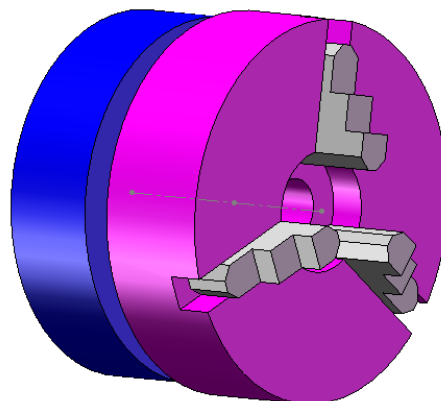


Рисунок 6.6 – Трикулачковий патрон із фланцем

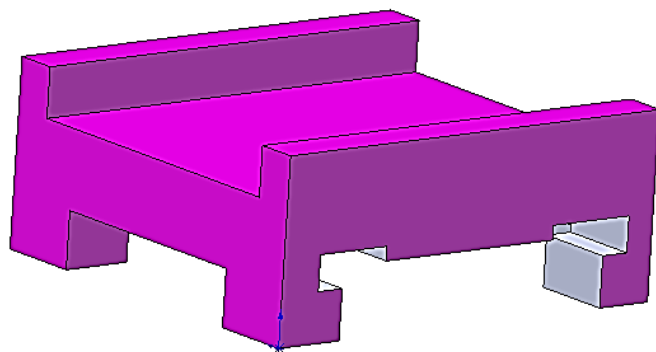


Рисунок 6.7 – Повздовжній-
рухомий супорт

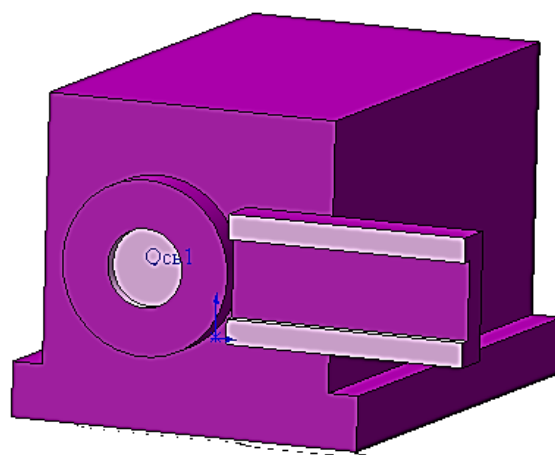


Рисунок 6.8 – Поперечний-
рухомий супорт

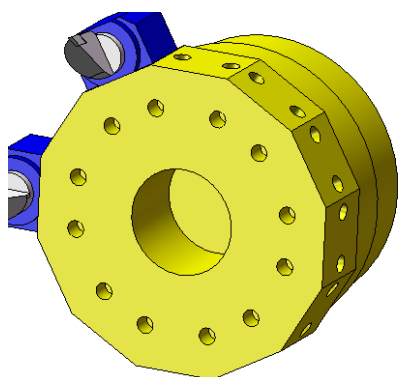


Рисунок 6.9 – Інструментальний
барабан

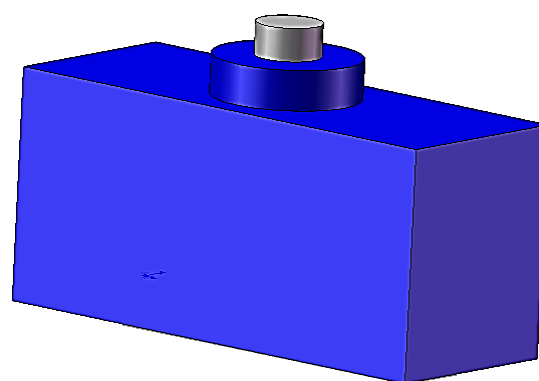


Рисунок 6.10 – Пристрій
автоматичної заміни інструмента

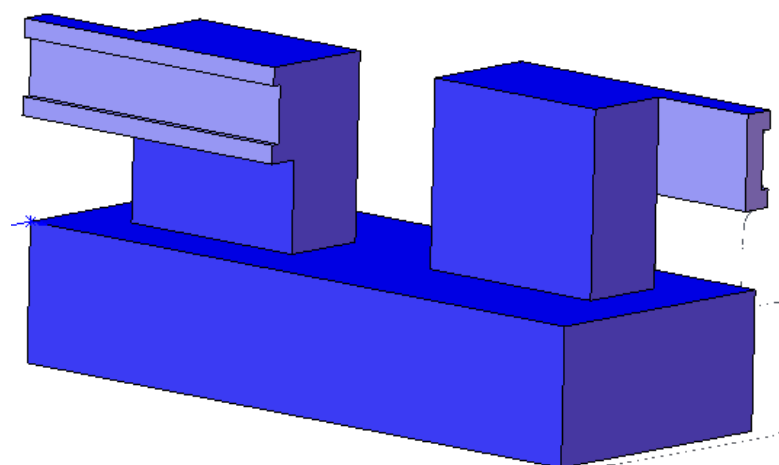


Рисунок 6.11 – Поворотна платформа накопичувач

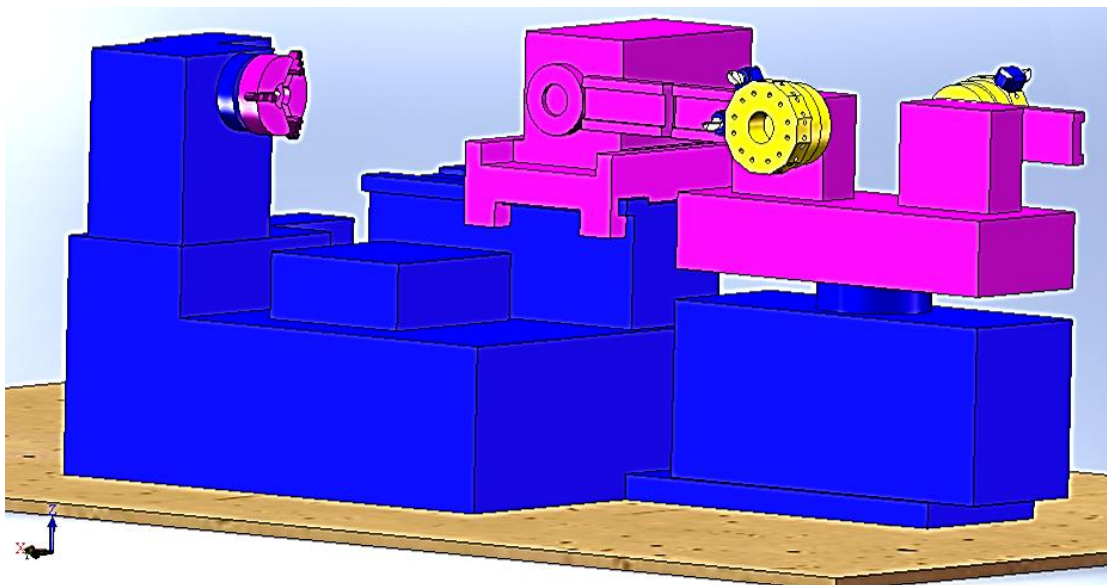


Рисунок 6.12 – Зовнішній вигляд функціональної моделі спеціального токарно-багатоцільового патронного напівавтомата IPT180ПМФ4

6.3 Розробка функціональної моделі накопичувача для деталей типу «Вал»

Автоматична зміна оброблюваних заготовок виконується промисловим роботом типу М10П62.01, вбудованим у верстат; ПР здійснює зняття заготовки з тактового столу-накопичувача (рис. 6.15) і установку її у патрон верстата, а також зняття обробленої на верстаті деталі і укладання її в тару на столі. Завантаження і розвантаження тактового столу може виконуватися автоматично під час роботи верстата.

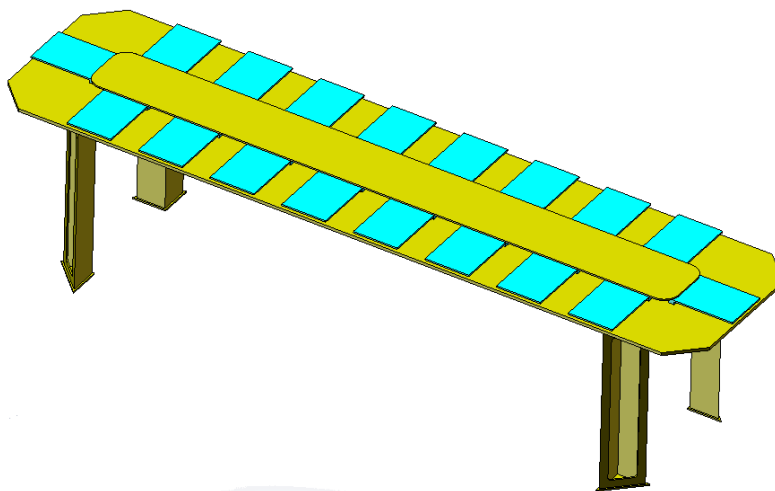


Рисунок 6.13 – Тактовий стіл-накопичувач

Стіл-накопичувач із тарою і із заготовкою вказаний на рис. 6.14 і 6.16.

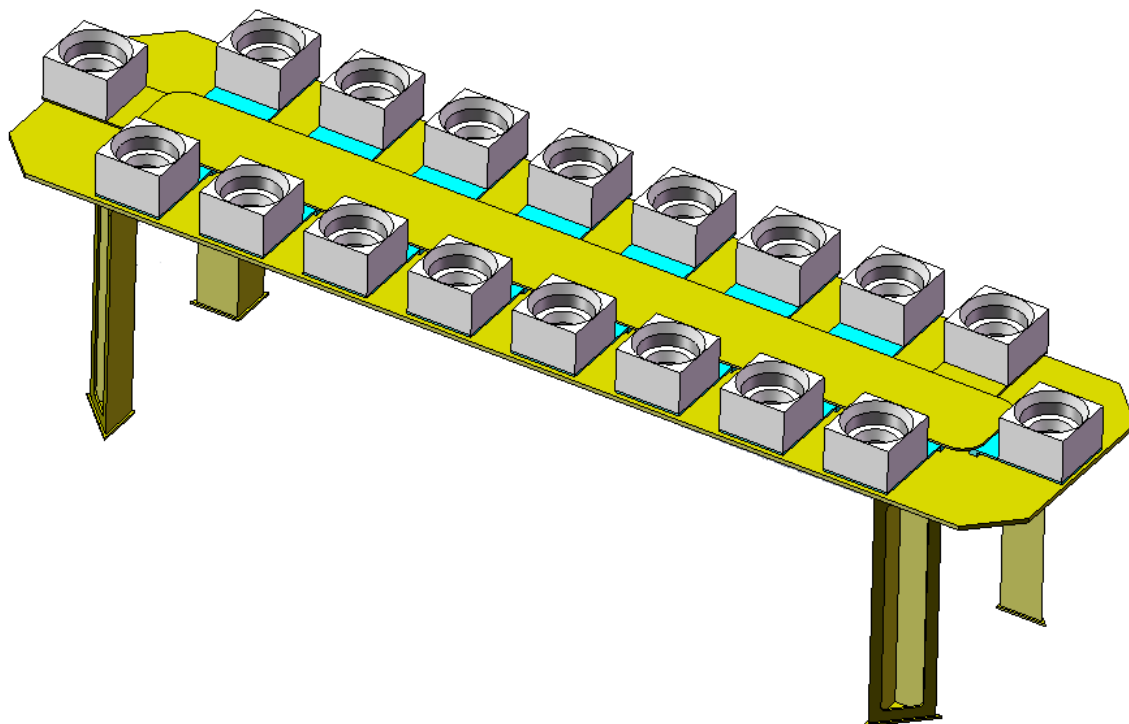


Рисунок 6.14 – Стіл-накопичувач із касетами

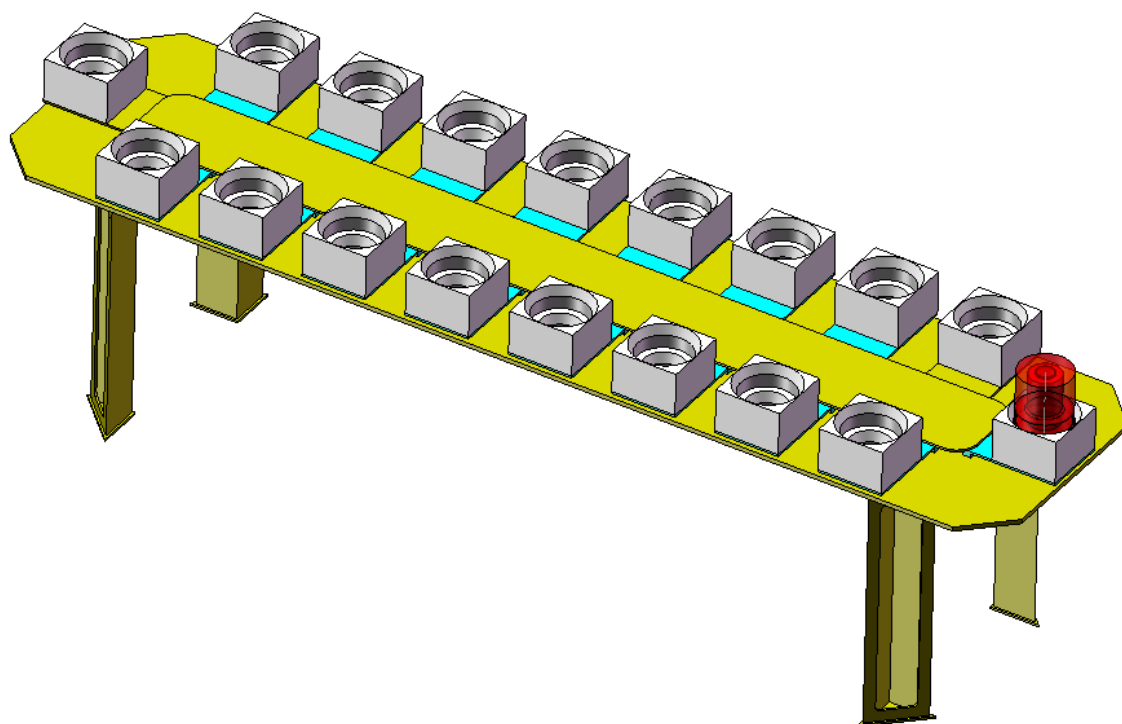


Рисунок 6.15 – Стіл-накопичувач із заготовкою у касеті

6.4 Розробка функціональної моделі маніпулятора для транспортування виробу «Вал» у зоні обробки й складування оброблювального центра ІРТ180ПМФ4

Найбільш ефективно застосування промислових роботів у складі гнучких виробничих модулів, ділянок і ліній у сполученні з автоматизованими верстатами середньої розмірної групи, що обробляють штучні заготівлі.

Основні моделі промислових роботів будуються з типових механічних модулів маніпулятора: несучої системи, агрегатів, що виконують перестановочні, установочні й рухи, що орієнтують, а також виконавчих захватних пристроїв. Додаткові механічні модулі ПР – завантажувальні столи, магазини змінних схватів, пристрої затискача змінних схватів й інші – призначені для проміжного накопичення й орієнтування заготовок та оброблених деталей, зміни схватів, а також для виконання інших допоміжних функцій. Технічний рівень різних моделей ПР із агрегатних модулів визначається вибором типу привода (гідравлічного, електрогідравлічного, електричного або пневматичного), а також пристрою програмного керування (циклового, числового позиційного або контурного).

Спеціалізовані ПР типу М10П призначені для обслуговування металоріжучих верстатів, наприклад, завантаження і розвантаження верстатів з ЧПК токарної групи. Особливістю ПР даного типу є забезпечення рухів робочого органу (схвата) маніпулятора в сферичній системі координат, а також конструктивне вбудовування безпосередньо в обслуговуване технологічне устаткування. Пристрій програмного управління ПР забезпечує позиціонування робочого органу маніпулятора по шести координатних осях, дві з яких є загальними для механізмів з чотирма ступенями рухливості [13].

Загальний вигляд і технічна характеристика ПР М10П.62.01 приведені на рис. 6.16. Промисловий робот складається із: підстави 1 вузла механічної руки 2, уніфікованих поворотних блоків 6 кисті руки, перехідної втулки 7 і змінних схватів 8, а також пристрою управління (на рисунку не показано). Підстава

включає механізм 3 повороту руки у вертикальній площині (рух B). Вузол 2 руки складається із: 1) механізму 4 горизонтального (рух Z) або вертикального (рух X) лінійного переміщення (найменування даного переміщення залежить від попередньої установки руки маніпулятора щодо координатних осей X і Z : горизонтально або вертикально); 2) механізму 5 повороту у вертикальній (рух A) або горизонтальній (C) площині.

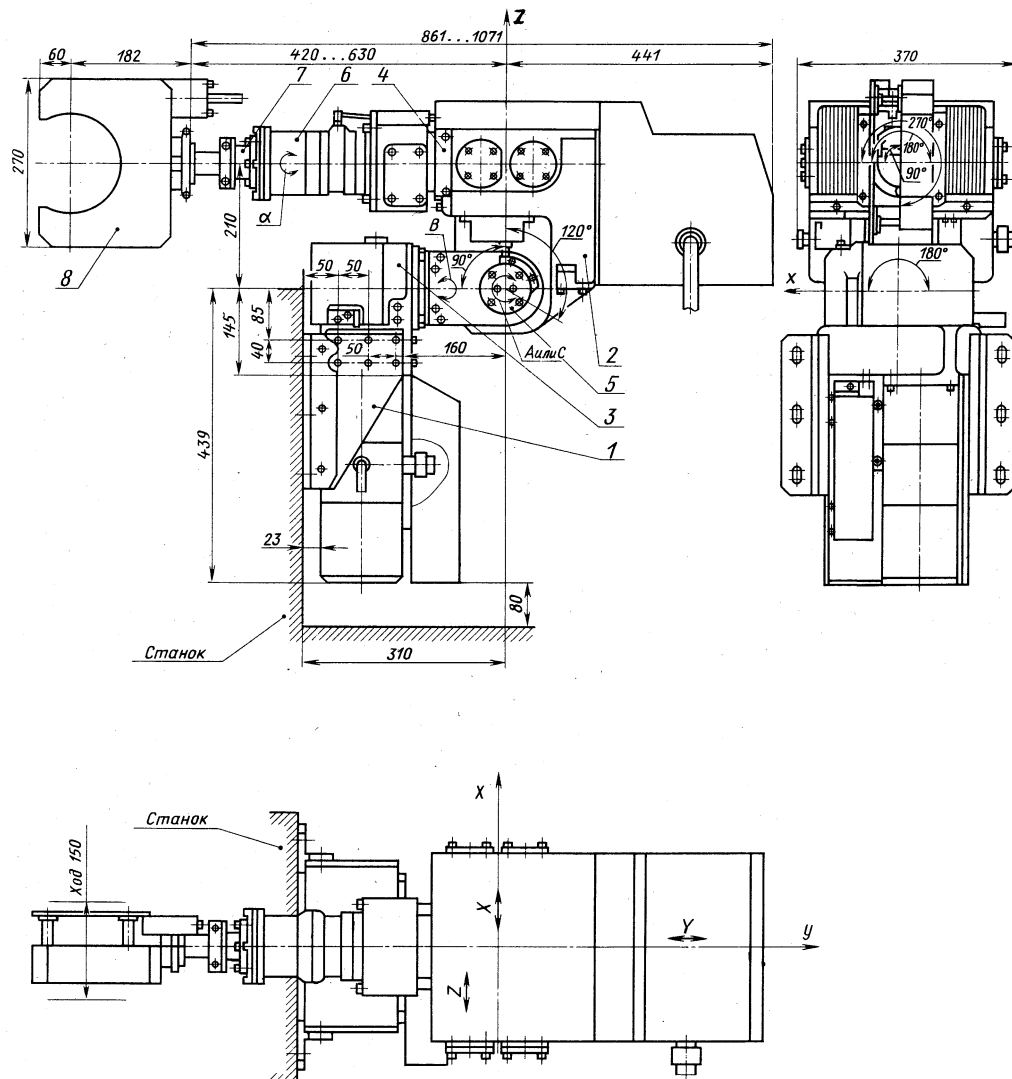


Рисунок 6.16 – Зовнішній вигляд промислового робота M10P.62.01

Технічна характеристика промислового робота M10P.62.01.

1. Вантажопідйомність, кг.....	20
2. Число ступенів рухливості.....	4-6
3. Максимальні лінійні переміщення X або Z , мм	150
4. Максимальне кутове переміщення, град.:	
A.....	90
B.....	120

- С180
 α 90 або 180
5. Діапазон швидкостей кутових переміщень, град/с:
 А, В і С1,36...120
 α 90
6. Діапазон швидкостей лінійних переміщень Х або Z0,008...0,5
7. Максимальна абсолютна похибка позиціонування, мм0,5
8. Найбільший виліт руки, мм630
9. Зусилля зтискання захватів, Н360...500
10. Діапазон розмірів завантажувальних деталей, мм:
 по зовнішньому діаметру20...150
 по внутрішньому діаметру38...168
11. Маса, кг110

Кінематична схема робота і пневматична схема блока повороту представлені на рис. 6.17.

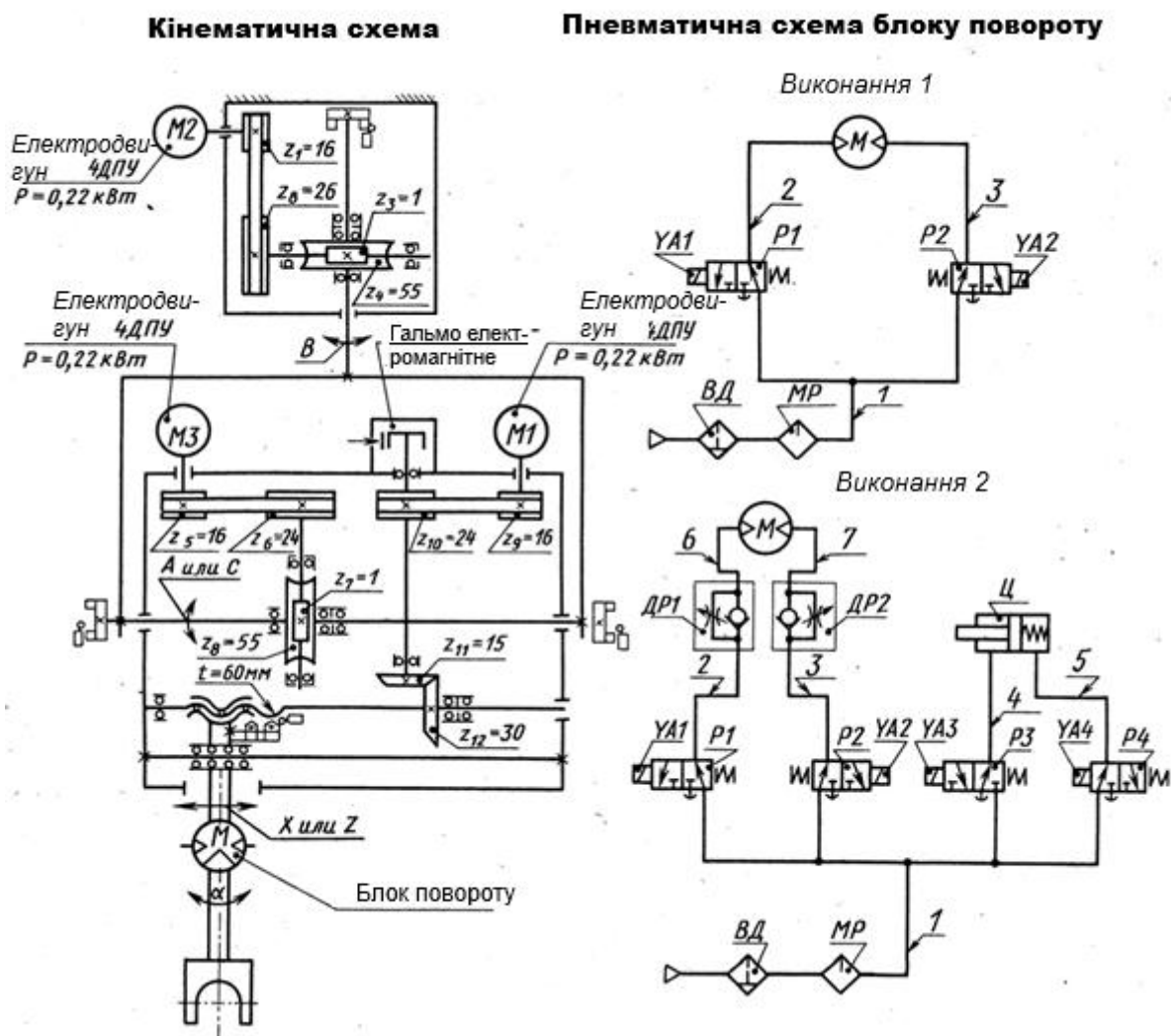


Рисунок 6.17 – Кінематична і пневматична схеми ПР М10П.62.01

Далі на підставі перерахованих вище даних й кінематичної схеми (рис. 6.17) будується функціональна тривимірна модель промислового робота (рис. 6.18) у програмному забезпеченні SolidWorks.

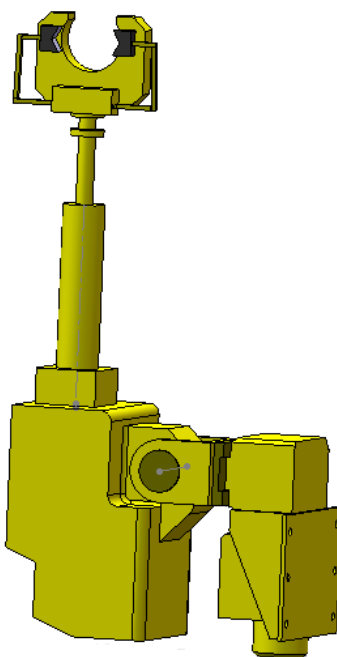


Рисунок 6.18 – Загальний вид функціональної моделі промислового робота

Основні вузли функціональної моделі промислового робота представлені на рис. 6.19: 1 – основа і електродвигун; 2 – плита; 3 – кронштейн; 4 – вість; 5 – механізм осьового переміщення; 6 – механізм повороту; 7 – кисть із затискаючими губками.

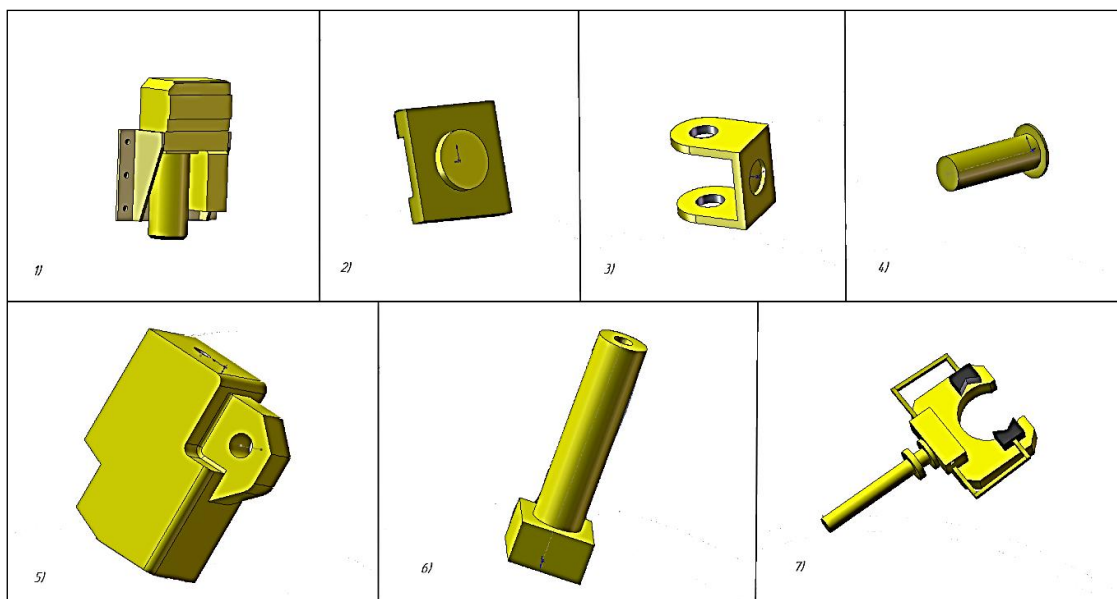


Рисунок 6.19 – Основні вузли функціональної моделі ПР

6.5 Розробка функціональної моделі ГВМ ІРТ180ПМФ4

Функціональна модель гнучкого виробничого модуля ІРТ180ПМФ4 складається безпосередньо із трьох окремих модулів, а саме (рис. 6.20): 1) спеціального токарно-багатоцільового патронного напівавтомата ІРТ180ПМФ4; 2) промислового робота моделі М10П.62.01; 3) тактового столу-накопичувача.

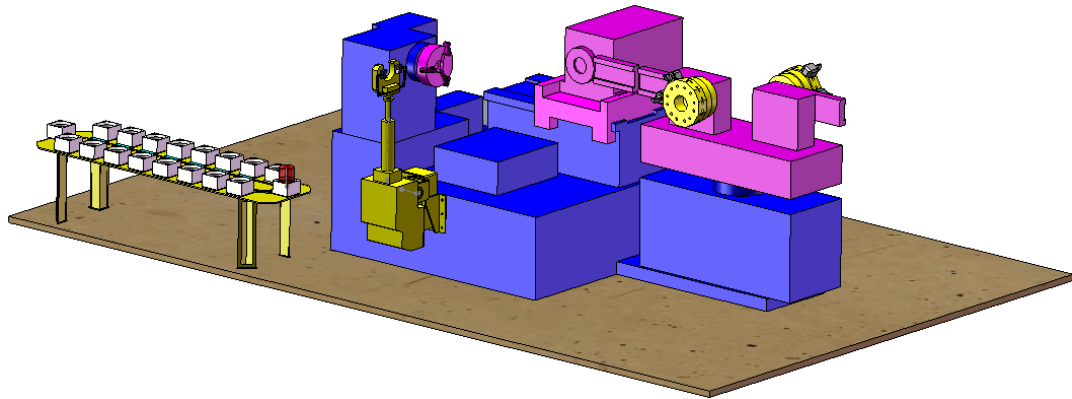


Рисунок 6.20 – Функціональна модель ГВМ ІРТ180ПМФ4

Верстат має прямолінійну станину 1, на якій жорстко закріплена коробка шпинделя 2. По сталевим загартованим направляючим паралельно осі шпинделя (вісь Z) переміщаються сани 3, на яких встановлений поперечно-рухомий (вісь X) повзун 4. Спільно сани і повзун утворюють двохкоординатний супорт верстата, на якому вмонтовується 12-позиційна револьверна головка 5 з горизонтальною віссю обертання. На повзуні є додатковий привід обертання свердлувально-фрезерних інструментальних блоків 6 (рис. 6.21) [12, с. 141].

Коробка шпинделя, окрім приводу головного руху, що забезпечує можливість токарної обробки, має привід кругової подачі і точного позиціонування шпинделя 7 по координаті C . Трикулачковий самоцентрувальний патрон 8 з швидкозмінними комплектами кулачків забезпечує швидку переналадку верстата.

Верстат має герметичну огорожу 9 робочої зони, що дозволяє вести обробку з рясною подачею ЗОТС (до 100 л/хв). Прибирання стружки здійснюється автоматично конвеєром 10, розташованим безпосередньо під зоною різання.

Автоматична зміна оброблюваних заготовок виконується промисловим роботом типу М10П62.01, вбудованим у верстат; ПР здійснює зняття заготовки із тактового столу-накопичувача і установку її у патрон верстата, а також зняття обробленої на верстаті деталі і укладання її в тару на столі. Завантаження і розвантаження тактового столу може виконуватися автоматично під час роботи верстата.

Верстат оснащується окремо стоячим пристроєм 13 для автоматичної зміни інструментальних барабанів на револьверній головці. Змінні барабани заздалегідь встановлюються на накопичувачі 14, на якому можливо виконувати їх переналадку під час роботи верстата. Автоматичне розмірне налаштування інструментів здійснюється безпосередньо на верстаті за допомогою вимірювальної контактної головки 15, яка під час обробки забирається в спеціальний кожух.

Для автоматичного контролю розмірів заготовки і обробленої на верстаті деталі в інструментальному барабані додатково встановлюється контактна вимірювальна головка. Система автоматичного вимірювання заготовок і деталей дозволяє вводити необхідну корекцію в управляючу програму для забезпечення заданої якості обробки [16-18].

Пульт 16 пристроїв ЧПК встановлюється на кронштейні 17 у передньої стінки верстата.

Принципова кінематична і пневматична схеми верстата мод. ІРТ180ПМФ4 показані на рис. 6.22.

Пневматична система верстата містить: вузол підготовки повітря; пневмопанелі (основну і допоміжні для пристроїв зміни інструментального барабана і затиску патрона); пневмогідророзводку (повітряні трубопроводи, шланги для подачі ЗОТС в робочу зону, трубопроводи для дозованого змащування направляючих і ходових гвинтів супорта).

Головний рух здійснюється електродвигуном Мх, крутний момент від валу передається до шпинделя через двоступінчасту коробку швидкостей і зубчасто-ремінну передачу.

Рухи подачі по координатних осях Х, Z здійснюються поперечно-подовжнім супортом з приводом від високомоментних електродвигунів Мх і Мг через зубчаті ремені.

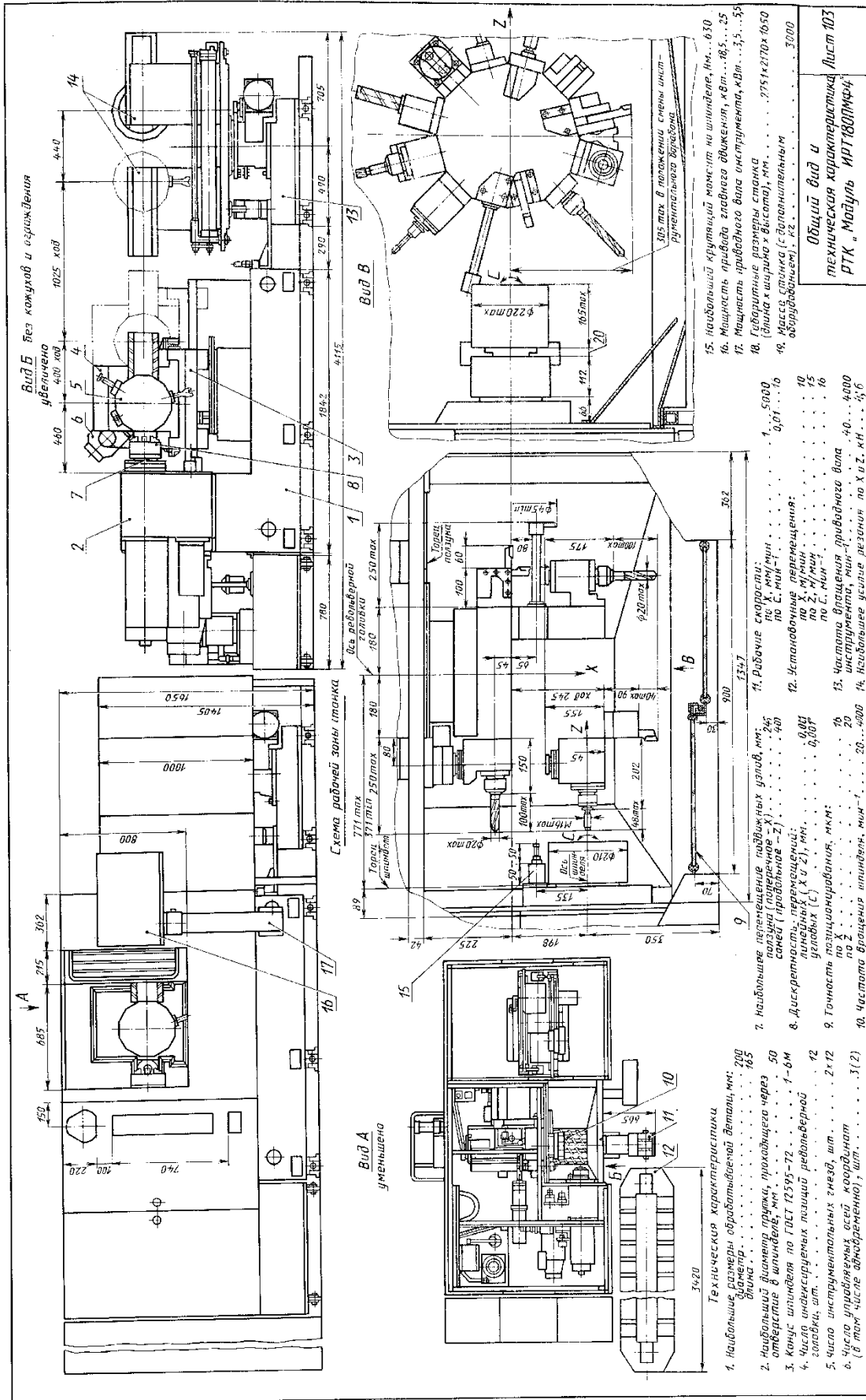


Рисунок 6.21 – Загальний вигляд і технічна характеристика РТК «Модуль ІРТ180ПМФ4»

Повітря, очищене фільтрами, поступає до розподільника, від якого прямує до револьверної головки, інструментального барабана і розподільювача мастила. Від розподільювача мастила через клапан наповнення повітря поступає до основної і додаткової панелей. Клапан наповнення служить для плавного збільшення тиску у пневмосистемі і складається з ходового клапана, дроселя із зворотним клапаном, ходового клапана з глушником і реле тиску. При спрацьовуванні ходового клапана з глушником пневмосистема верстата з'єднується з вузлом підготовки повітря через дросель. Досягши необхідного тиску спрацьовують реле тиску і ходовий клапан, що сполучає безпосередньо пневмосистему з вузлом підготовки повітря. Час наповнення регулюється дроселем. Від клапана наповнення повітря поступає до розподільної колодки, звідки по трубопроводах прямує до пневмо-панелей.

Пневмопанелі верстата включають ходові клапани для управління виконавчими пневмо-циліндрами або соплами для обдування повітрям базових поверхонь. Витрата повітря регулюється дроселями, встановленими паралельно з ходовими клапанами. Клапани можуть оснащуватися глушниками. Наявність тиску у вихідних магістралях клапанів контролюється реле тиску.

Принцип роботи механізмів верстата у складі РТК пояснює його кінематична схема.

Позиціонування шпинделя по кутовій координаті O з високою точністю і дискретністю $0,001^\circ$ здійснюється високомоментним електродвигуном M_c через редуктор і зубчаті передачі.

Віджимання і затиск патрона здійснюється також електродвигуном M_c , який в цьому випадку за допомогою зубчатої передачі, що вимикається від'єднаний від шпинделя, а іншою передачею, що вмикається приєднаний до корпусу з гайкою механізму затиску. Шпиндель при цьому автоматично фіксується в початковому кутовому положенні. Зусилля затиску патрона контролюється круговим датчиком, сполученим з тарованою пружиною в механізмі затиску за допомогою зубчасто-рейкового зачеплення.

Крутний момент інструментальному шпинделю із інструментом, що обертається, передається від електродвигуна M_2 через зубчатий ремінь, приводний вал і зубчасту муфту.

Віджимання, затиск і поворот револьверної головки виконуються високомоментним електродвигуном M_3 , сполученим з черв'яком редуктора через зубчатий ремінь. Із черв'ячним колесом жорстко пов'язана гайка гвинта, за допомогою якої проводиться віджимання і затиск револьверної головки із змінним інструментальним барабаном.

Зміна інструментальних барабанів здійснюється пневмоциліндрами, а поворот платформи пристрою зміни барабанів – високомоментним електродвигуном M_4 через редуктор і додаткову зубчасту передачу. Параметри елементів приводів і механізмів верстата дані безпосередньо на пневматичній схемі.

На рис. 6.23 показані загальний вид коробки шпинделя і конструкція пристрою шпинделя верстата IPT180ПМФ4.

Коробка шпинделя виконана у вигляді жорсткого литого корпусу 1 складної форми, який кріпиться на станині в передній частині верстата. У гільзі 2 корпусу вмонтовується пристрій шпинделя, що складається із шпинделя 3 на опорах кочення 4, 5 і пристрою 6 для їх натягнення. На задньому торці шпинделя встановлені зубчате колесо 7 і шків 8, які передають крутний момент від приводів кругової подачі (рух C) і головного руху відповідно. На передньому торці шпинделя встановлений затискний патрон 9, крутний момент до якого передається через шпонки 10.

До заднього торця шпинделя кріпиться механізм затиску патрона, який спирається додатково на підшипник 11, встановлений в корпусі 12. Механізм включення затиску патрона (рис. 6.24) вводить в зачеплення із зубчатим колесом 13 редуктора приводу кругової подачі пересувний блок 14. Крутний момент від двигуна через редуктор, зубчасту пару 13, 14 і шпонки 15 передається гільзі 16, з якою жорстко пов'язана гайка 17. Шпиндель 3 разом з трубою 18 при цьому фіксується в певному кутовому положенні (на рис. 6.23 фіксатор не показаний).

При обертанні гайка 17, нагвинчується на трубу 18, переміщаючи її назад. Кулачки патрона сходяться, стискаючи заготовку, після чого рух труби 18 припиняється. Гайка 17, продовжуючи обертатися, зміщується разом з гільзою 16, яка при цьому стискає пружини 19. Одночасно переміщається корпус 12, який пов'язаний з гільзою 16 через радіальний підшипник 11. На корпусі 12

кріпиться зубчата рейка, яка знаходиться в зачепленні з колесом, встановленим на вал фотоелектричного датчика (на рис. 6.23). Повному ходу пружини 19 кріпиться зубчата рейка, яка знаходиться в зачепленні з колесом, встановленим на вал фотоелектричного датчика (на рис. 6.23). Повному ходу пружини 19 відповідає певна кількість імпульсів датчика, що задається на пульті пристрою ЧПУ при наладці верстата. Таким чином задається необхідне зусилля (до 50 кН) затиску заготовки. При обробці датчиком заданого числа імпульсів формується команда на гальмування двигуна, який зупиняється у момент появи сигналу від кінцевого вимикача (поз. 35 рис. 6.24). Цьому сигналу відповідає положення напівмуфти блоку коліс 14 (рис. 6.23) проти зубчатого вінця колеса 20, а отже, – можливість перемикавання блоку 14. Зачеплення блоку 14 і колеса 20 запобігає мимовільному відгвинчуванню гайки 17 і ослаблення затиску заготовки в патроні. Розтиск патрона здійснюється аналогічно при реверсі електродвигуна.

Конструкція механізмів приводів головного руху і кутового позиціонування (рух С) шпинделя показана на рис 6.24.

Електродвигун 1 приводу головного руху пов'язаний з шпинделем через муфту 2 і двоступінчасту коробку із зубчатими парами 3, 4 і 5, 6 (або 3, 4 і 4, 7). На валу-шестерні 7 коробок встановлений шків 8 зубчасто-ремінної передачі, ведений шків якого встановлений на шпинделі (рис. 6.23). Перемикавання механічних ступенів коробки забезпечується переміщенням штока 9 пневмоциліндра 10, на якому закріплена вилка 11. Контроль переміщення здійснюється кінцевими вимикачами 12.

Відлік кутового положення шпинделя для різьбонарізання при токарній обробці проводиться за допомогою фотоелектричного імпульсного датчика 13, сполученого муфтою 14 з валом 7. Натягнення зубчатого ремня виконується роликком 15, встановленим на ексцентричному валу 16, який кріпиться до кронштейна 17.

У фрезерному режимі роботи шпиндель обертається електродвигуном 18 через редуктор із зубчатими колесами 19, 20 і 21, 22. Вал-шестерня 23 через пересувне колесо 24 з'єднується із зубчатим вінцем 25, виконаним спільно з веденим шківом зубчасто-ремінної передачі приводу головного руху, або через колесо 26 – з пересувним зубчатим блоком 27 механізму затиску патрона (див. також рис. 6.23).

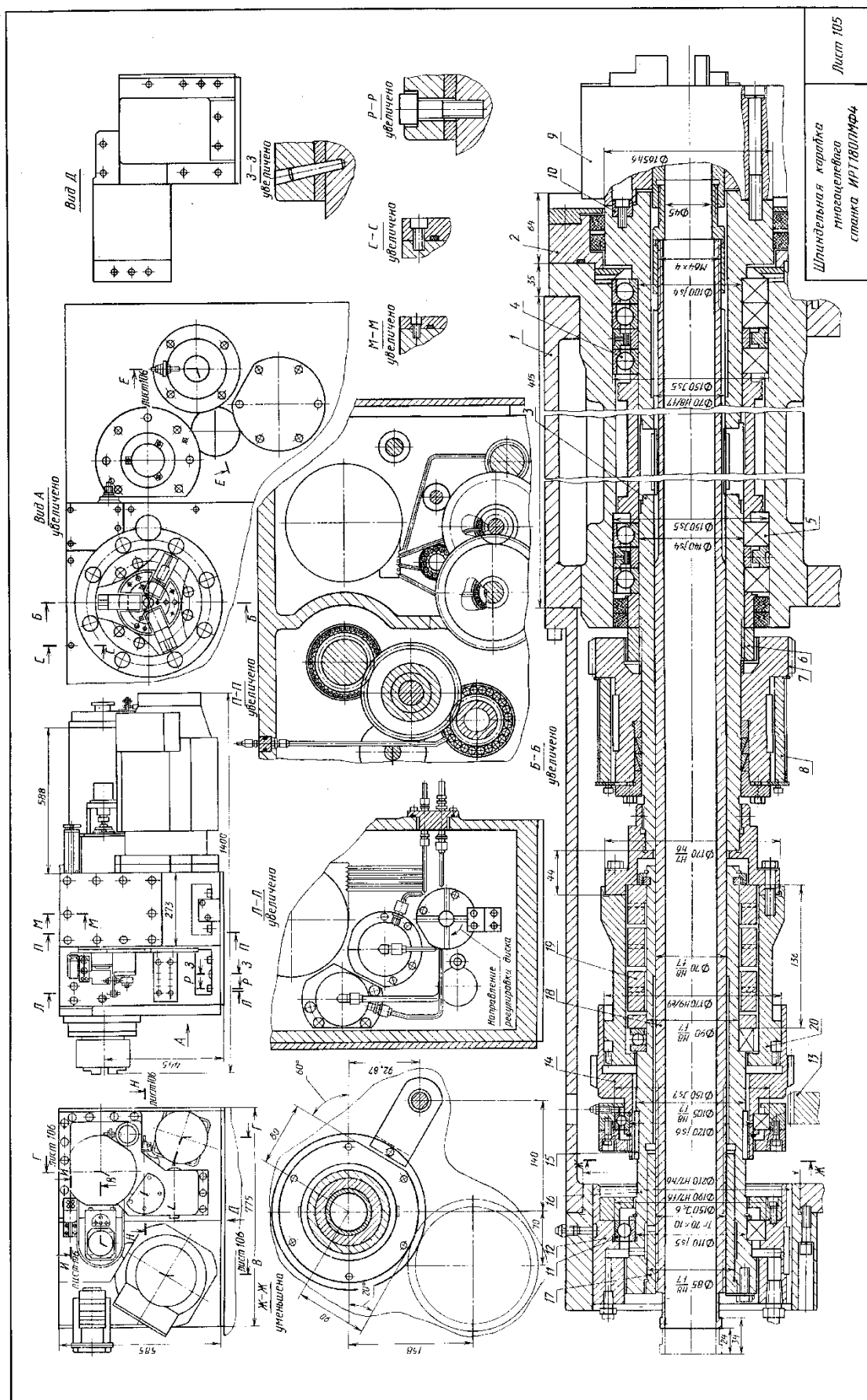


Рисунок 6.23 — Шпиндельная коробка многоцелевого верстага ИРТ 180ПМФ4

Кутова орієнтація шпинделя при переході з токарного режиму у фрезерний проводиться спочатку грубо по кінцевому вимикачу 28, а потім точно – фотоелектричним імпульсним датчиком 29, сполученим муфтою 30 з валом 7.

Зазори в зубчатих передачах редуктора вибираються проворотом насадних зубчатих вінців відносно основних вінців коліс 20 і 22 за допомогою ексцентриків 31.

Механізм 32 включення затиску патрона здійснює зчеплення блоку 27 з колесом 26 за допомогою пневмоциліндру 32, на штоку якого закріплена вилка 33. Стан даного механізму контролюється кінцевими вимикачами 34, а вимикач 35 фіксує початкове кутове положення шпинделя при відключенні механізму затиску патрона.

Поперечно-рухомий супорт (рис. 6.25) виконує рух подачі повзуна 1 по осі Х разом з револьверною головкою, на яку встановлюється змінний інструментальний барабан (на рис. 6.25 не показаний). Електродвигун 2 забезпечує обертання інструменту, встановленого в барабані.

Електродвигун 3 приводу подачі повзуна змонтований на кронштейні 4. Регулювання натягнення зубчатого ремня 5 здійснюється гвинтами 6, що переміщують кронштейн 4, який кріпиться до заднього торця подовжньо-рухомих саней 7.

Ходовий гвинт 8 приводу подачі повзуна, сполучений з двигуном ремнем 5, встановлюється в корпусі 9 на радіально-упорному роликовому підшипнику 10, який затягується гайкою. Другою опорою гвинта є кулькова гайка 11, змонтована в гільзі 12. Остання фланцем кріпиться до корпусу повзуна 1. Для збільшення жорсткості пари гвинт-гайка кочення виконана з попереднім натягом.

Контроль переміщення повзуна здійснюється оптичним лінійним датчиком.

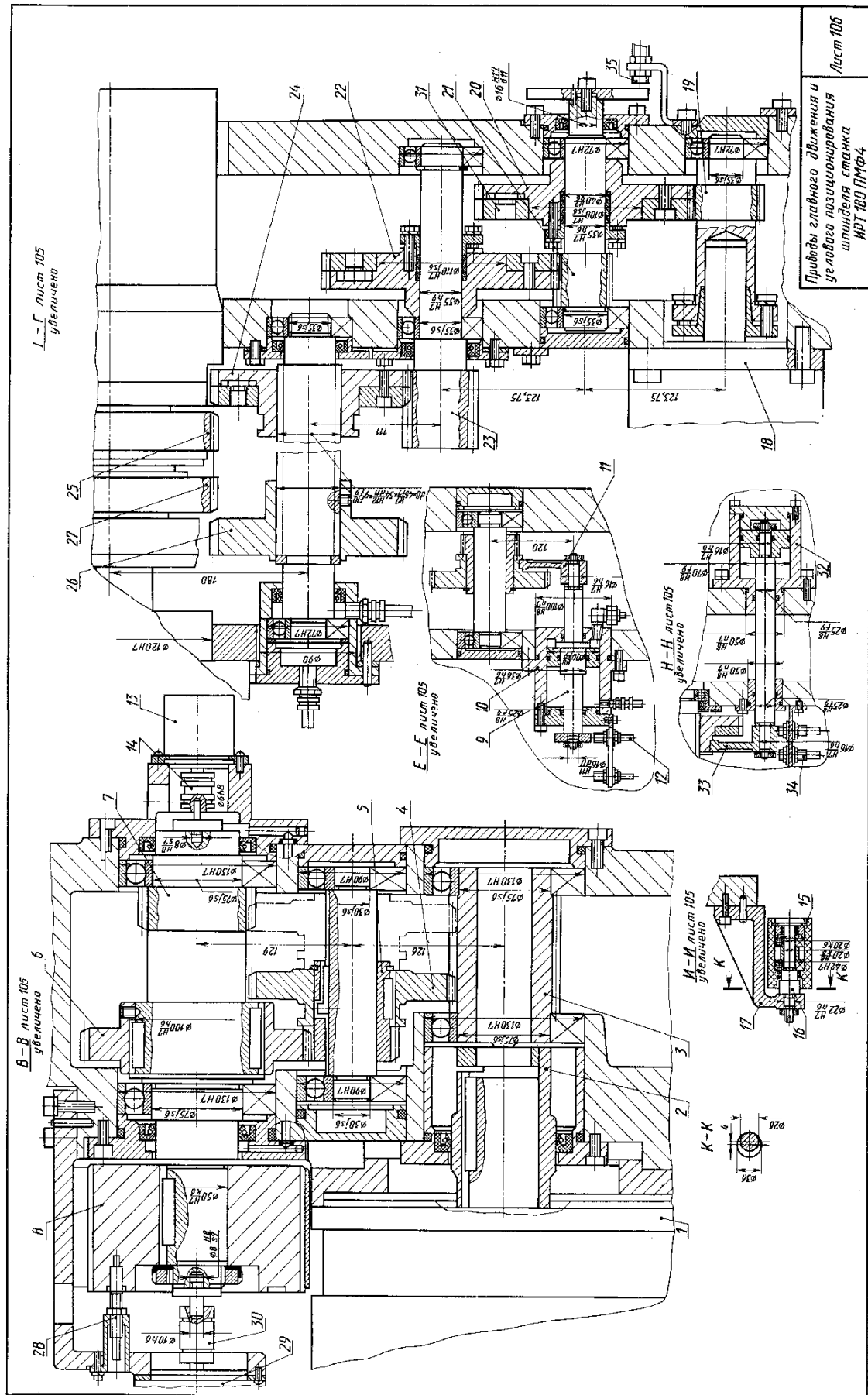


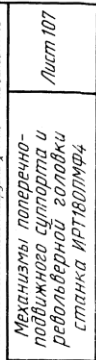
Рисунок 6.24 – Приводы головного руху і кутового позиціонування шпинделя верстата ПТ180ПМФ4

Розтискання револьверної головки здійснюється приводом з високомоментним електродвигуном, встановленим вертикально в корпусі 1. Двигун через зубчатий ремінь 18 і шків 19 сполучений з черв'яком 20, що знаходиться в зачепленні з черв'ячним колесом 21. При обертанні черв'ячного Револьверна головка, розміщена в корпусі повзуна 1, служить для закріплення змінного інструментального барабана, його повороту і фіксації в заданій позиції. Інструментальний барабан базується за допомогою двох пальців 13, а потім притискається пакетом тарілчастих пружин 17 і планшайбою 15, встановленою на осі 16, до напівмуфти 14. Колеса з внутрішньою різьбовою нарізкою гвинт 22 вигвинчується разом з напівмуфтою 14, віссю 16, планшайбою 15 і інструментальним барабаном, розчіпляючи зубчаті напівмуфти 14 і 23. Гвинт вигвинчується на 12 мм, що відповідає повороту черв'ячного колеса 21 на 90° . До досягнення цього положення фіксатор 24 упирається в торець фланця 25 і не може вийти із зачеплення з храпової муфтою 26, виключаючи поворот гвинта 22.

Контроль розтиску револьверної головки виконується кінцевим вимикачем командоапарата 27. Для плавного гальмування головки при розтиску електродвигун перемикається на малу швидкість по команді від кінцевого вимикача.

Поворот револьверної головки відбувається після розтиску при подальшому обертанні черв'ячного колеса 21 спільно з гвинтом 22, зуб на торці якого упирається у виступ на фланці 26. Фіксатор 24 при цьому має можливість вийти із зачеплення з храпової муфтою 26, оскільки виявляється проти впадини фланця 25, в яку він утоплюється.

Рахунок позицій револьверної головки при повороті здійснюється пристроєм ЧПК по сигналах, що поступають від кінцевого вимикача командоапарата 27. Необхідний кут повороту головки визначається як різниця між номером заданої позиції і значенням числа в лічильнику, що характеризує її поточне положення. У початковому положенні головки, яка знаходиться між 1-ю і 12-ю позиціями, лічильник встановлюється на нуль.



Затиск револьверної головки здійснюється після досягнення нею заданої позиції за рахунок реверсування електродвигуна. Храпова муфта 26 при цьому знов фіксує гвинт 22 від повороту. При зміні напрямку обертання черв'ячного колеса 21 гвинт вкручується, вводячи в зачеплення напівмуфти 14 і 23. По сигналу кінцевого вимикача частота обертання валу двигуна зменшується. При нерухомому черв'яку 20 і валу двигуна, що обертається, ремінь 18 натягується і через важіль впливає на кінцевий вимикач, який подає команду на зупинку двигуна (на рис. 6.25 важіль і кінцевий вимикач не показані). Тим самим забезпечується притиск напівмуфт 14 і 23 з постійним зусиллям.

Зміна інструментальних барабанів відбувається автоматично в початковому положенні револьверної головки; при цьому палець 28 розташовується проти упору 29. У цьому положенні при затиску напівмуфт 14 і 23 планшайба 15 залишається нерухомою, а пакет тарілчастих пружин 17 стискується. По команді кінцевого вимикача електродвигун приводу револьверної головки відключається.

Переміщення напівмуфти 14 при нерухомій планшайбі 15 приводить до відведення інструментального барабана від пальців 13, що забезпечує можливість його зміни за рахунок переміщення по направляючих 30.

Загальний вид пристрою автоматичної зміни барабанів приведений на рис. 6.26, а конструкція механізму лінійного переміщення даного пристрою – на рис. 6.27.

Пристрій зміни інструментальних барабанів з двопозиційним накопичувачем встановлений на окремій підставці 1, яка виставляється відносно станини 2 верстату, фіксується кронштейном 3 і кріпиться до фундаменту болтами (рис. 6.26). При роботі верстата один інструментальний барабан 4 знаходиться в робочій позиції на револьверній головці 5, а інший (поз. б) – у накопичувачі, де оператор може проводити заміну інструментальних блоків. При зміні барабан 4 переміщається штангою 7 за кронштейн 8 пневмоциліндром 9 на вільну позицію накопичувача.

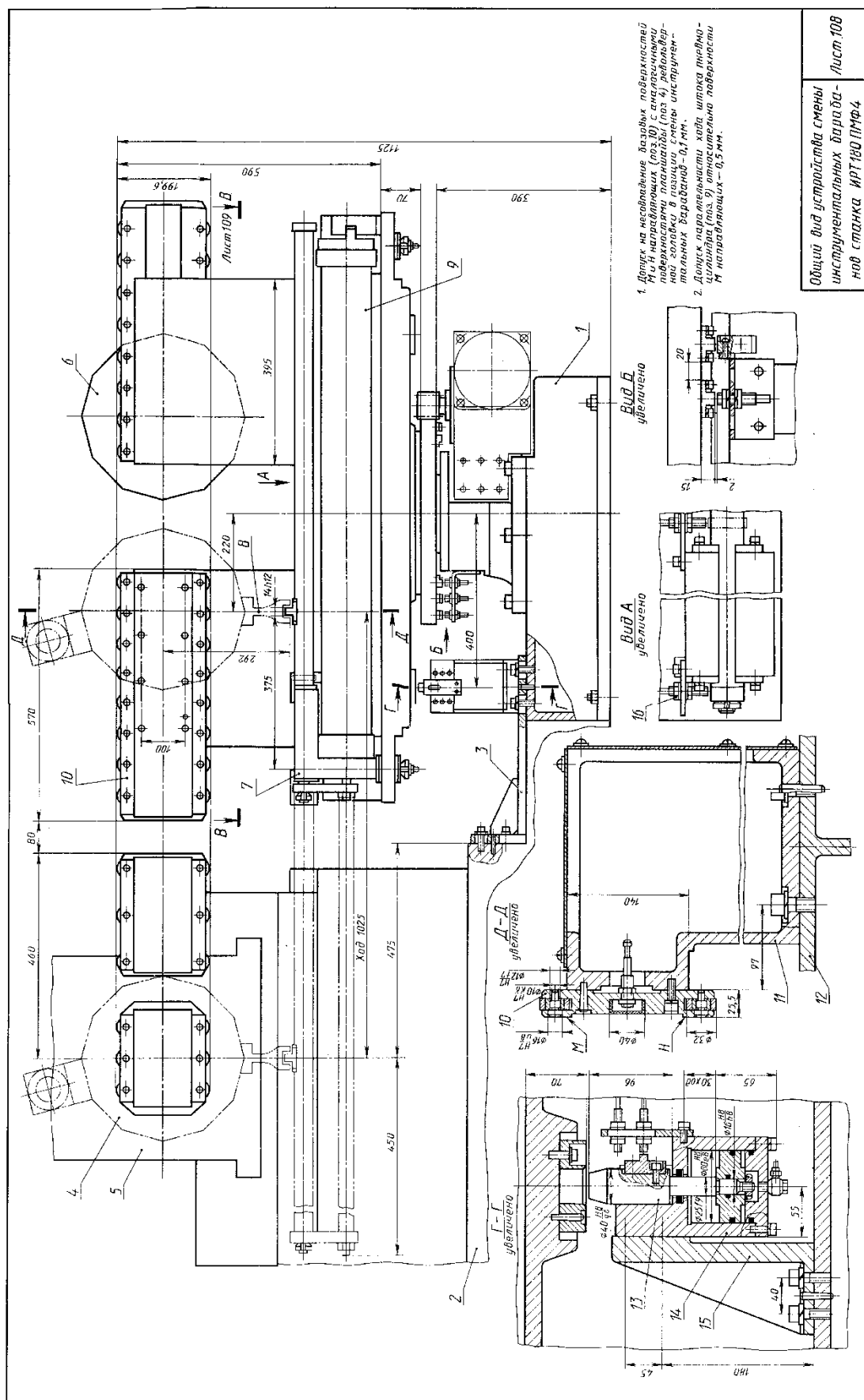


Рисунок 6.26 – Загальний вид пристрою зміни інструментальних барабанів верстата ІРТ180ПМФ4



Рисунок 6.27 – Механізм переміщення пристрою зміни інструментальних барабанів верстата ІРТ180ПМФ4

Інструментальні барабани 4 і 6 розміщуються в накопичувачі на Т-подібних направляючих 10, прикручених до стійок 11, які встановлені на поворотній плиті 12. При зупинці в заданій позиції плита 12 фіксується штоком 13 пневмоциліндра 14, який встановлений на кронштейні 15, жорстко скріпленням з підставою. Крайні положення штока 13 контролюються кінцевими вимикачами 16.

Пневмоциліндр 1 (рис. 6.27) здійснює лінійне переміщення барабанів, через кронштейн 2 сполучений із штангою 3. Остання має можливість переміщатися в опорі 4. Зчеплення шпонки 5 штанг з кронштейном барабана (див. поз. 8 на рис. 6.26) здійснюється штоком 6 пневмоциліндра 7, жорстко встановленого на плиті 8. При русі штока 6 передня опора 4 пневмоциліндра 1 разом з штангою 3 повертається навколо вертикальної осі А. Зчеплення і розчеплення штанги 3 з барабаном контролюється кінцевими вимикачами 9, а наявність барабана в накопичувачі – кінцевим вимикачем 10.

Поворот плити 5 на 180° (вліво і вправо) здійснюється електродвигуном 11 через редуктор 12 і зубчасту передачу 13, 14. Установ поворотної плити в задану позицію проводиться по командах кінцевих вимикачів 15 з попереднім зниженням швидкості обертання валу електродвигуна 11.

Рекомендації по техніці безпеки. Для забезпечення безпеки праці напівавтомат мають бути виготовлені відповідно до вимог ГОСТ 12.2.009-80.

6.6 Висновки

У даному розділі було виконано функціональне моделювання системи виготовлення деталі «Вал» на ГПМ IPT180ПМФ4. Елементами системи є устаткування, оснащення, які беруть участь у процесі обробки деталі: безпосередньо спеціальний токарно-багатоцільовий патронний напівавтомат IPT180ПМФ4, промисловий робот моделі M10П.62.01, тактового столу-накопичувача. Кожний окремий функціональний модуль системи був змодельований у програмі SolidWork, а далі вони були об'єднані у функціональну систему. Наведено опис роботи окремих механізмів модулів функціональної системи.

7. РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ГВМ ІРТ180ПМФ4

7.1 Розробка імітаційної моделі обробки деталі типу «Вал» на ГВМ ІРТ180ПМФ4

В даний час розробляються програмні пакети, за допомогою яких можливо розміщувати фрагменти на різних шарах, а потім пошарово візуалізувати цю «багатошарову» модель, в нашому випадку з окремо узятих модулів верстата, а якщо мова йде про деталі, то із припусків на попередній і подальших обробках. Вбудована командна мова дозволяє написати командні файли для управління процесом візуалізації. В результаті на базі синтезованої тривимірної моделі можна отримувати програми моделювання етапів видалення шарів металу, на поверхні заготовки, з подальшим переходом до отримання деталі. Моделювання обробки в тривимірному середовищі дозволяє заздалегідь визначити можливі варіанти обробки даного типорозміру деталей, вибору найбільш сприятливого для даного типорозміру деталей інструменту і відповідно призначити режими різання. Тільки використання тривимірної багатошарової моделі дозволяє швидко і якісно підібрати необхідні типорозміри модулів необхідних для обробки даного типу деталей, оскільки це дуже легко зробити простою заміною або додаванням до моделі з наявної бібліотеки тривимірних моделей необхідного модуля.

Застосування тривимірного моделювання дозволило проводити вимірювання всіх необхідних довжин, кутів і діаметрів для проектування ділянки цеху з елементами даного типу устаткування в початковому стані і при просторових трансформаціях, що має істотне значення при оцінці проєктованих конструктивних особливостей ділянки, у визначенні оптимального способу [2,19,20,40,48,53].

Для створення імітаційної моделі необхідно у програмі «ГПМ 3D» зібрати у єдиний гнучкий виробничий модуль розроблені раніше функціональні модулі верстата, накопичувача, робота і заготовки (рис. 7.1).

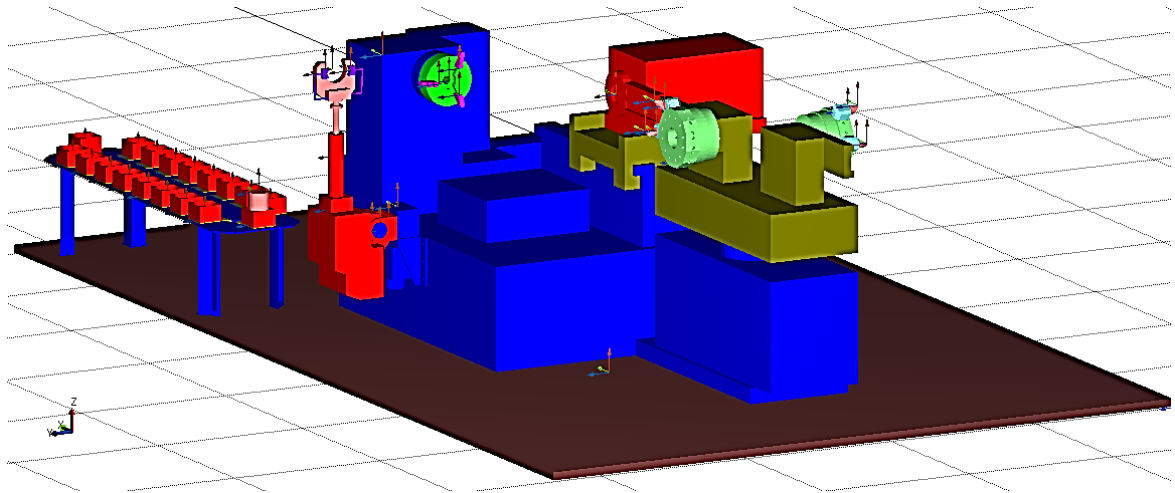


Рисунок 7.1 – Імітаційна модель ГПМ IPT180ПМФ4

В імітаційному моделюванні на підставі тривимірних моделей задається послідовність обробки деталі (рис. 7.2-7.3). Послідовність обробки деталі наступна [57]:

- 1) захват маніпулятором заготовки із касети тактового столу-накопичувача;
- 2) установка заготовки у трюхкулачковому патроні верстата;
- 3) обробка деталі із правої сторони спочатку начорно, а потім начисто;
- 4) переустановлення деталі роботом обробленою стороною у патрон;
- 5) чорнова і чистова обробка деталі з іншої сторони;
- 6) зняття обробленої деталі із патрона верстата;
- 7) переміщення і укладка готової деталі в касету стола накопичувача.

Таким чином за допомогою програми «ГПМ 3D», був змодельований алгоритм обробки деталі типу «Вал» на гнучкому виробничому модулі.

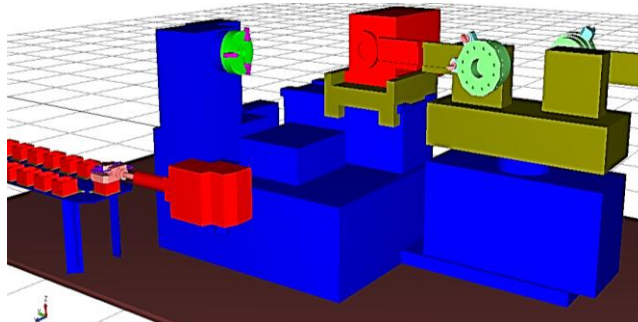


Рисунок 7.4 – Захват заготовки маніпулятором із касети

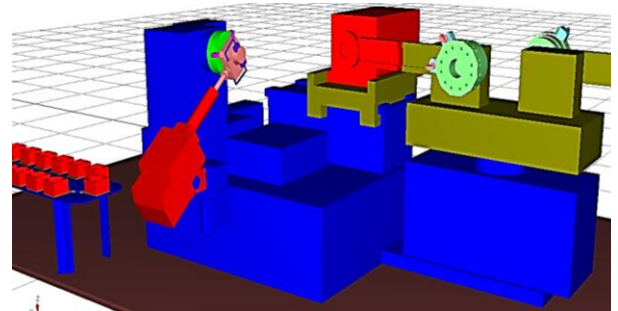


Рисунок 7.5 – Установка деталі у патрон верстата

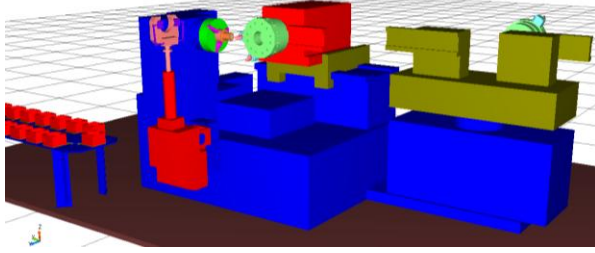


Рисунок 7.6 – Обробка деталі типу «Вал»

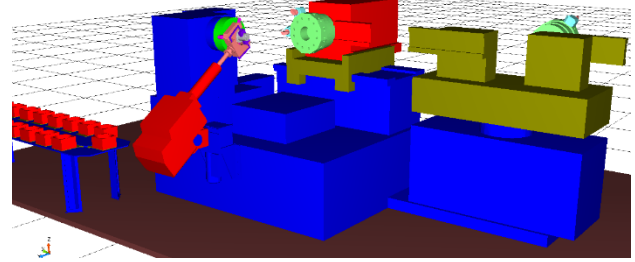


Рисунок 7.7 – Зняття обробленої деталі із верстата

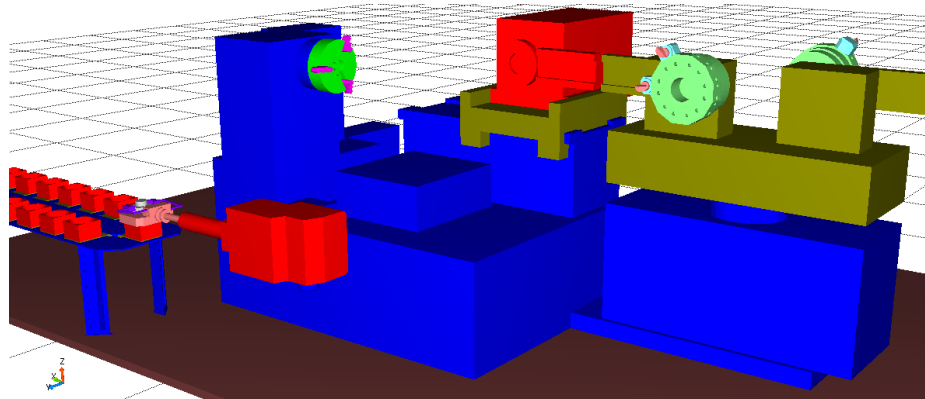


Рисунок 7.8 – Укладка деталі в касету тактового столу

7.2 Нормування процесу обробки виробу «Вал» на оброблювальному центрі IPT180ПМФ4

Оскільки обробка деталі виконується на ГВМ, відповідно всі допоміжні дії будуть виконуватися автоматично, без участі людини. Відповідно, норма часу буде складатися тільки зі штучного часу, оскільки відсутні витрати в часі на налагодження верстата. А штучний час буде складатися тільки з основного й допоміжного часу – буде відсутній час організаційного обслуговування, на технічне обслуговування й час на відпочинок для робітника, оскільки при виконанні операцій на ГВМ усе виконується автоматично [37,38,41].

У системі «ГПМ 3D» була розроблена імітаційна модель обробки виробу «Вал» на ГВМ IPT180 ПМФ4, у якій складалася програма по переміщенню всіх вузлів системи в заданий термін на необхідні відстані. За допомогою цієї програми можна визначити загальний допоміжний час (рис. 7.9), що буде витрачатися на зняття заготовки з накопичувача, переміщення

заготовки за допомогою маніпулятора, установка заготовки і зняття готової деталі із трьохкулачкового патрона і т.д.

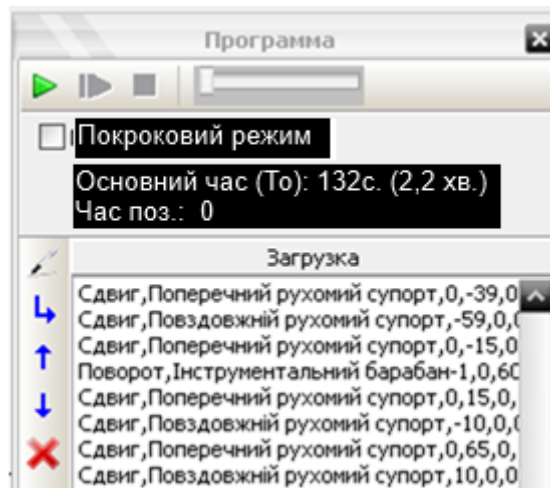


Рисунок 7.9 – Загальний допоміжний час для обробки деталі «Вал» на ГВМ IPT180ПМФ4

Основний час визначається за допомогою системи SolidCAM, у якій розроблялася програма керування ГПМ IPT180ПМФ4 (рис. 7.10, 7.11).

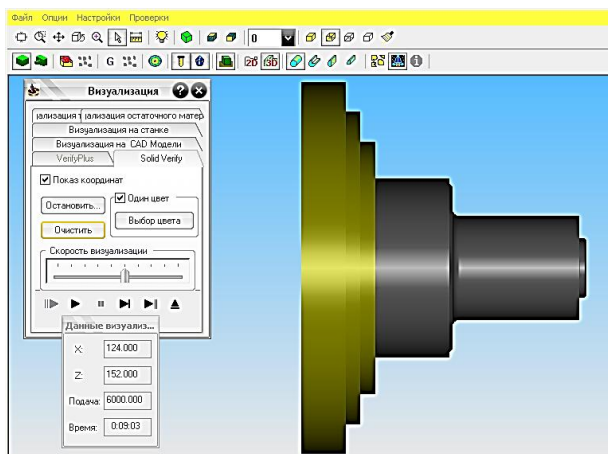


Рисунок 7.10 – Визначення основного часу обробки керуючої програми верстатом IPT180ПМФ4 у системі SolidCAM для операції 015

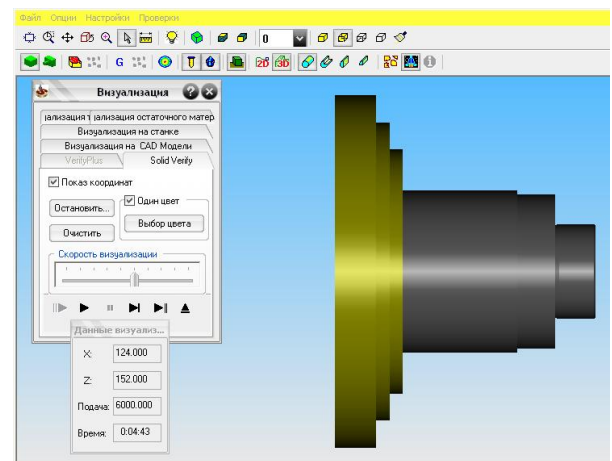


Рисунок 7.11 – Визначення основного часу обробки керуючої програми верстатом IPT180ПМФ4 у системі SolidCAM для операції 020

Так, загальний нормативний час для обробки деталі «Вал», буде розраховуватися по формулі:

$$N_{\text{час.заг.}} = \sum T_{\text{шт}} = \sum T_o + \sum T_{\text{доп}}, \quad (7.1)$$

де $N_{\text{час.заг.}}$ – загальна норма часу на обробку деталі;

$\Sigma T_{\text{шт}}$ – сумарний штучний час;

ΣT_o – сумарний основний час обробки деталі;

$\Sigma T_{\text{доп}}$ – сумарний допоміжний час.

$$N_{\text{час.заг.}} = 9,03 + 4,43 + 2,2 = 15,66 \text{ хв.}$$

7.3 Висновки

У даному розділі було виконано імітаційне моделювання системи виготовлення деталі «Вал» на ГВМ IPT180ПМФ4. Елементами системи є устаткування, оснащення, які беруть участь у процесі обробки деталі: безпосередньо верстат IPT180ПМФ4, промисловий робот моделі M10П.62.02, а також тактовий стіл-накопичувач. Кожний з компонентів системи був окремо змодельований у програмі SolidWork, потім вони були об'єднані у систему.

Далі, за допомогою програми «ГПМ 3D», була розроблена імітаційна модель обробки деталі «Вал». На підставі розробленого циклу програми було проведено нормування часу обробки деталі.

8. ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГВМ ІРТ180ПМФ4 ПРИ ОБРОБЦІ ДЕТАЛІ «ВАЛ»

8.1 Аналіз технологічних характеристик ГВМ ІРТ180ПМФ4

При токарній обробці деталей необхідно зважати на жорсткість верстата (в основному супорта, передньої бабки), пристосування, різця або іншого ріжучого інструменту, а також оброблюваної деталі або, як то кажуть, з жорсткістю пружної системи верстат – пристосування – інструмент – деталь, а ще коротше – з жорсткістю системи ВПД [7,8,13,40].

Відхилення (віджимання), що виходять унаслідок недостатньої жорсткості окремих складових системи ВПД, завжди мають місце, причому величини кожного з них в окремих випадках різні. Якщо величина всіх відхилень нікчемна, форма деталі, а також розміри оброблюваних поверхонь і жорсткість їх виходять відповідними вимогам, що пред'являються до них. Якщо жорсткість декілька або хоч би однією з складових даної системи недостатня, виходять незадовільні результати обробки і виникають вібрації, що перешкоджають нормальному різанню; верстат, як то кажуть, «дробить». Очевидно, що при невеликій силі різання недостатня жорсткість системи ВПД позначається в меншій мірі, чим при великому навантаженні.

Численними дослідженнями встановлено, що жорсткість верстата залежить не стільки від жорсткості його деталей, скільки від ретельності збірки і регулювання його вузлів. Наприклад, деталі супорта деяких верстатів, самі по собі досить жорсткі, при недостатньо якісній збірці утворюють нежорстку складальну одиницю – супорт. Недостатня жорсткість супорта може бути слідством і інших причин: неправильного регулювання клинів, розташованих між направляючими подовжніх і поперечних санчат супорта; непрямолінійності унаслідок зносу цих направляючих і так далі. В результаті дії всіх цих причин відбувається так зване віджимання супорта, а отже, і різця.

Приблизно ті ж причини можуть викликати і недостатню жорсткість пристосування – трьох-, чотирьох- або двохкулачкового патрона або

спеціального пристосування. На їх жорсткість також впливають якість збірки і знос.

Віджимання ріжучого інструменту в різних випадках обробки деталей на верстатах також може бути більш менш значним і по різному відбивається на формі і розмірах оброблюваних деталей. Причини віджимання різця – вибір малого перетину при великій довжині його частини, що звіщується, недостатньо міцне закріплення і так далі.

Жорсткість деталі обумовлюється її розмірами і конструктивними особливостями. Проте існує ряд способів, що забезпечують можливість різко підвищити жорсткість оброблюваної деталі в процесі обробки. Приклади таких способів – використання заднього центру при обробці навіть не дуже довгих деталей, застосування люнетів при обточуванні дуже довгих і тонких деталей і так далі.

Але так, як модель нашого верстата не дозволяє підвищити жорсткість деталі вказаними способами, то для того щоб переконатися що деталь має необхідну жорсткість при закріпленні і обробці на ГВМ IPT180ПМФ4 проведемо розрахунки на жорсткість твердо тільної тривимірної моделі деталі у програмі COSMOS із ланки програмного забезпечення SolidWorks [5].

До деталі під час проведення розрахунків прикладається попередньо розрахована сила різання $P_z=1759$ Н, і крутний момент $M=1056$ Н·м. Результати розрахунків у вигляді епюр наведені на рис. 8.1 – 8.3.

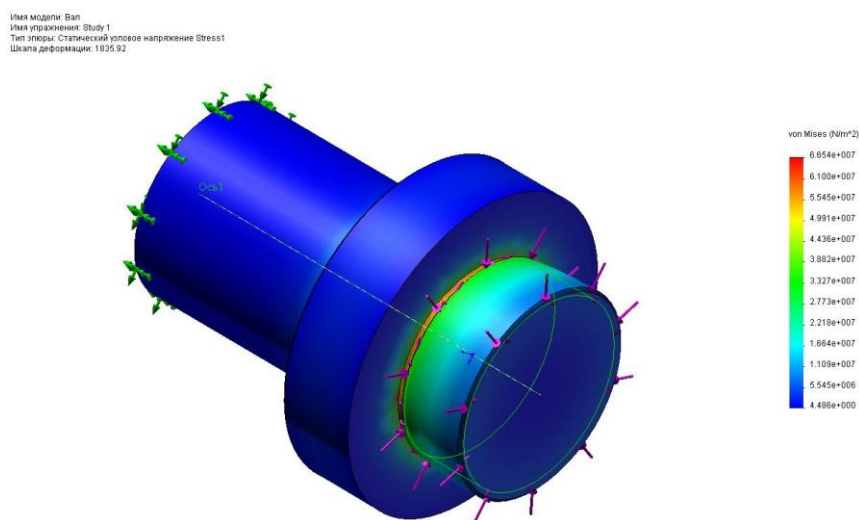


Рисунок 8.1 – Епюра напруження

Ім'я моделі: Вал
Ім'я управління: Study 1
Тип з'ясу: Статическа деформація Strain1
Шкала деформації: 1.935.92

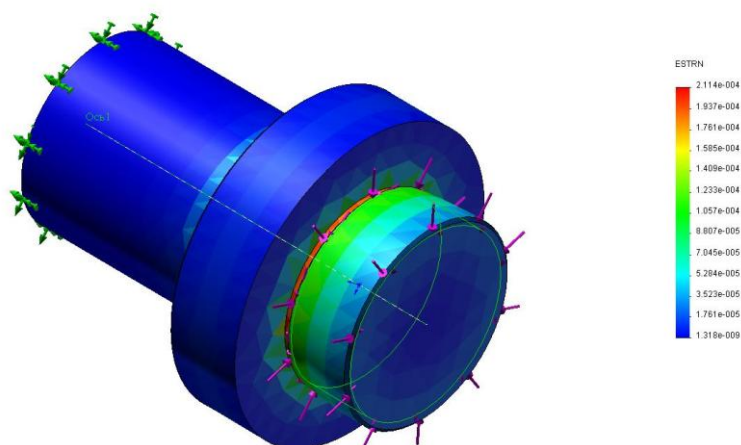


Рисунок 8.2 – Епюра деформації

Ім'я моделі: Вал
Ім'я управління: Study 1
Тип з'ясу: Статическое перемещение Displacement1
Шкала деформации: 1.935.92

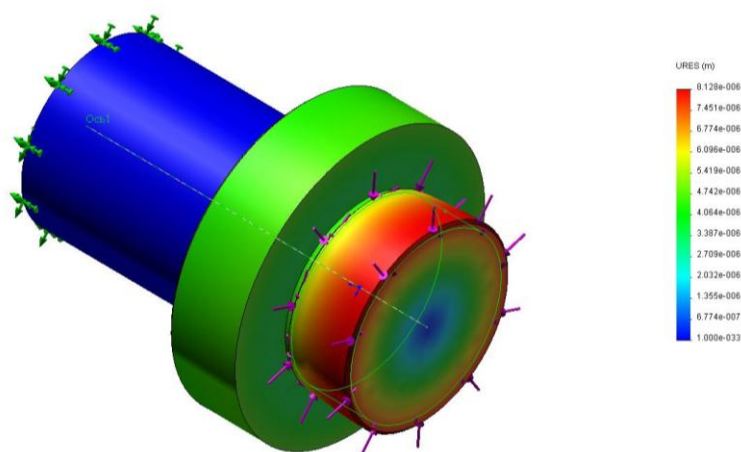


Рисунок 8.3 – Епюра переміщення

Із розрахованих даних видно, що розраховані параметри знаходяться далеко від межі допусків заданих конструктором для деталі даного типу. Тому ми можемо сказати, що обробка деталі на ГВМ IPT180ПМФ4 з точки ЗОТСу жорсткості деталі є доцільною. Звіт розрахунків деталі на жорсткість знаходиться у додатках Д.

В процесі обробки на одному і тому ж верстаті однієї і тієї ж деталі жорсткість системи ВПД може змінюватися. В процесі обробки сили різання непостійні зважаючи на змінний (наприклад, унаслідок змінної глибини різання при обдиранні відливання) перетин стружки, що знімається, і нерівномірної твердості матеріалу оброблюваної деталі. Вони збільшуються також у міру

затуплення різця. Очевидно, що із збільшенням сил різання збільшується віджимання супорта. При нерівномірному зносі, наприклад направляючих поперечних санчат супорта, величина віджимання буде різною при різних положеннях цих санчат.

Недостатня жорсткість передньої бабки більшою мірою помітна в кінці обробки валу. Недостатня жорсткість різця особливо відчувається в моменти виникнення найбільших зусиль різання.

8.2 Аналіз точності і податливості основних вузлів верстата

Вібрації, що виникають при обробці деталей на токарних верстатах, приводять до порушення правильності роботи верстата, до передчасного зносу інструменту, до підвищення шорсткості обробленої поверхні і отриманні на ній хвиль з великим кроком (хвилястість).

Вібрації виникають унаслідок однієї або декількох причин; найголовніші з них перераховані нижче [5,40].

1. Коливання, що передаються від інших вібруючих верстатів і машин через ґрунт, металеві конструкції міжповерхових перекриттів і так далі. Методи боротьби з такими вібраціями: посилення фундаментів і перекриттів, установка пружних прокладок і тому подібне.

2. Коливання, що викликаються незбалансованністю (неврівноваженістю) частин верстата, патрона або оброблюваної деталі. Засіб боротьби з вібраціями такого типу – балансування частин, що обертаються, як самого верстата і патрона, так і балансування закріпленої на верстаті заготовки, якщо вона створює неуврівноваженість всієї системи, що обертається, за допомогою додаткових вантажів.

3. Коливання, що викликаються дефектами передач верстатів. Неправильно нарізані або погано зібрані зубчаті передачі у верстаті викликають виникнення періодичних сил, що передаються на підшипники і направляючі верстата, а тому можуть за відомих умов бути причиною появи вібрацій. Таким же чином діють неякісні зшивання ременів. Засоби боротьби з

вібраціями цього роду полягають в усуненні дефектів, подібних перерахованим.

4. Коливання, що викликаються переривистим характером процесу різання. У багатьох випадках метод обробки сам по собі обумовлює коливання сил різання, наприклад коли оброблювана поверхня має перерви. Наслідком роботи по такій поверхні найчастіше є окремі поштовхи, але при регулярному чергуванні оброблюваних ділянок і перерв можливе виникнення вібрацій. Вплив уривчастості оброблюваної поверхні на виникнення вібрацій повинен усуватися у кожному конкретному випадку шляхом штучного збільшення жорсткості оброблюваної деталі.

5. Власні коливання при обточуванні, розточуванні і так далі. При обточуванні урівноваженої деталі, при роботі на цілком справному верстаті можуть виникати сильні вібрації, причому навіть при найуважнішому розгляді явища не вдається виявити присутності яких-небудь зовнішніх причин, зокрема перерахованих вище. Такі вібрації називаються власними коливаннями (вібраціями) процесу різання.

Частота (число коливань в секунду) в основному залежить від жорсткості системи ВПД. Чим жорсткіше система, тим вище частота коливань, тобто менше вібрації.

Інтенсивність (сила) вібрацій, вимірювана висотою хвиль (нерівностей) на обробленій поверхні, залежить від ряду причин.

1. Підвищення швидкості різання спочатку викликає інтенсивність вібрацій, що досягають найбільшого значення при швидкості, що зазвичай знаходиться у межах 80–150 м/хв., а потім при подальшому збільшенні швидкості вібрації убувають. Отже, умови швидкісного різання сприятливіші з погляду попередження виникнення вібрацій.

2. Збільшення ширини зрізу (глибини різання при звичайному подовжньому обточуванні) викликає посилення (інтенсивність) вібрацій.

3. Збільшення товщини зрізу (подачі) надає протилежна дія. При збільшенні товщини стружки інтенсивність коливань декілька зменшується.

Проте вплив зміни товщини зрізу значно слабкіший за вплив зміни його ширини.

4. Різці з малими кутами в плані, що дозволяють працювати з великими подачами при підвищених швидкостях різання, часто не можуть застосовуватися тільки унаслідок вібрацій, що виникають при їх використанні.

5. Із зростанням переднього кута (тобто при зменшенні кута різання) інтенсивність вібрацій зменшується. Різці з негативними передніми кутами більш схильні викликати вібрації, чим різці з позитивними кутами.

Засоби боротьби з вібраціями.

Власні коливання (вібрації) в процесі різання на токарному верстаті можна попередити наступними способами.

1. Підвищенням жорсткості складових системи ВПД: наприклад, зменшенням вільоту різця, затягуванням клинів поперечного супорта, при роботі на налагодженому верстаті без поперечної подачі, затиском каретки, при роботі тільки з поперечною подачею, накладенням вантажу на поперечний супорт і ін.

2. Вибором раціональних режимів різання, різанням на високих швидкостях (або, що менш бажано, на низьких) або збільшенням подачі.

3. Раціональним вибором різця і правильним його заточуванням: застосуванням великих кутів в плані, збільшенням переднього кута або введенням фаски по передній грані при негативних передніх кутах, а також спеціальним заточуванням різця (введенням фасок, галтелей і т. ін.).

Різці з противібраційною фаскою слід встановлювати на висоті центральної лінії верстата.

4. Ретельним балансуванням пристосування із затиснутою в нім деталлю.

Нерідко, особливо в умовах роботи на швидкостях 120 – 150 м/хв., ніякі з вказаних вище засобів не приводять до знищення вібрацій. У таких випадках слід удаватися до застосування спеціальних приладів – віброгасників.

Розрахунок податливості твердотільної тривимірної моделі шпиндельного вузла верстата IPT180ПМФ4 (рис. 8.4) проведемо у програмі

COSMOS. Звіт розрахунку податливості шпиндельного вузла приведений у додатках. Графічне зображення епюр розрахунку податливості зображене на рис. 8.5 – 8.8.

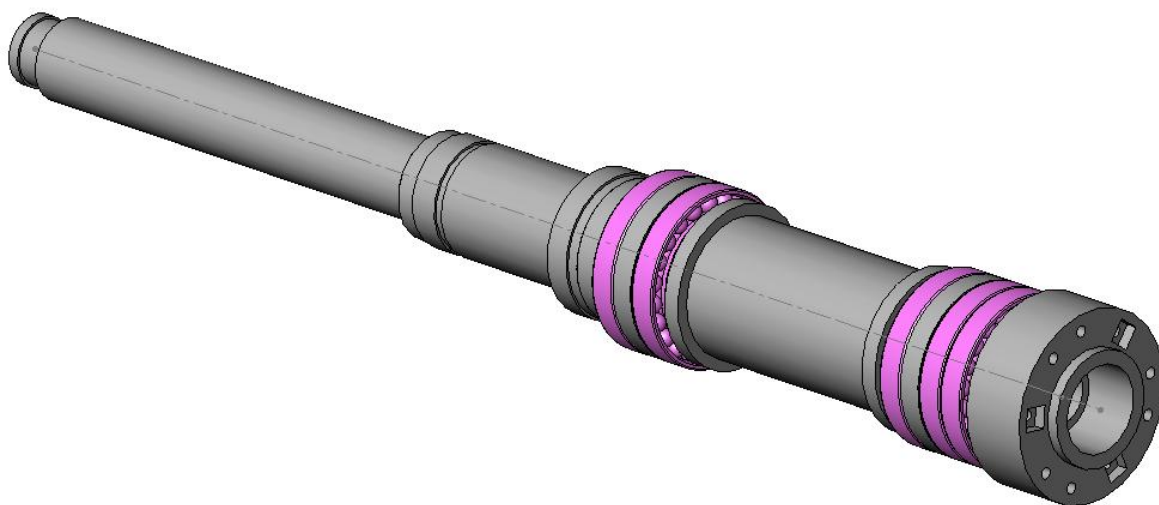


Рисунок 8.4 – Твердотільна тривимірна модель шпиндельного вузла верстата IPT180ПМФ4

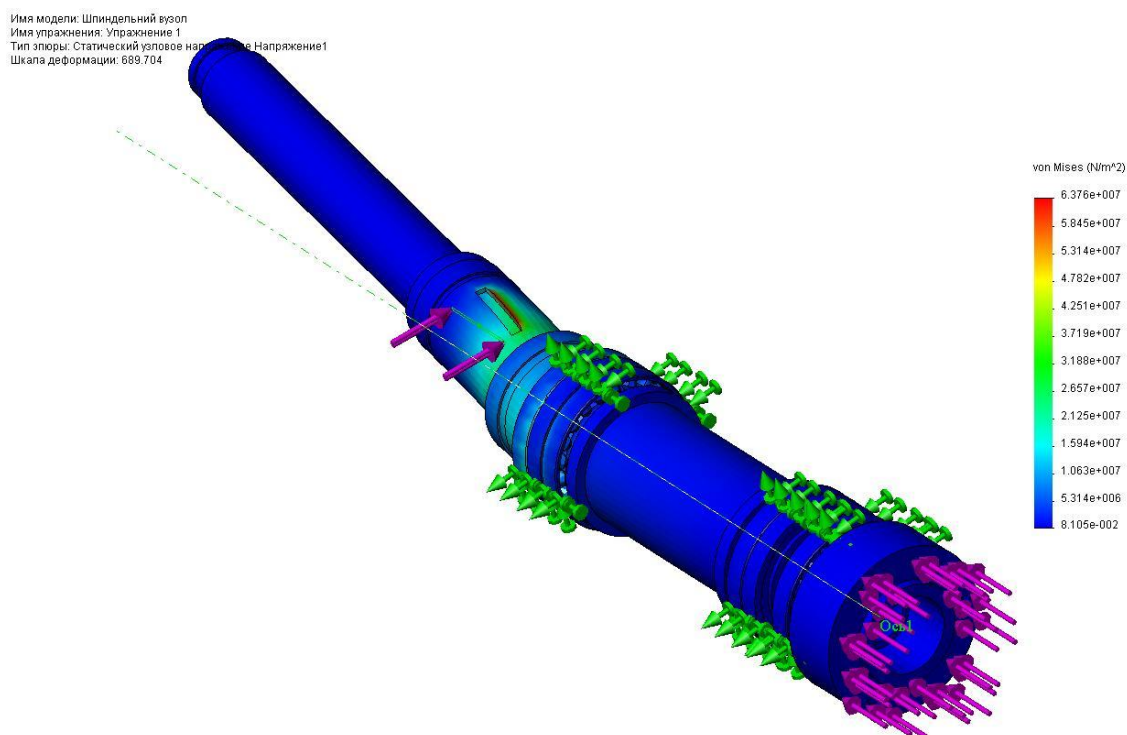


Рисунок 8.5 – Епюра напруження

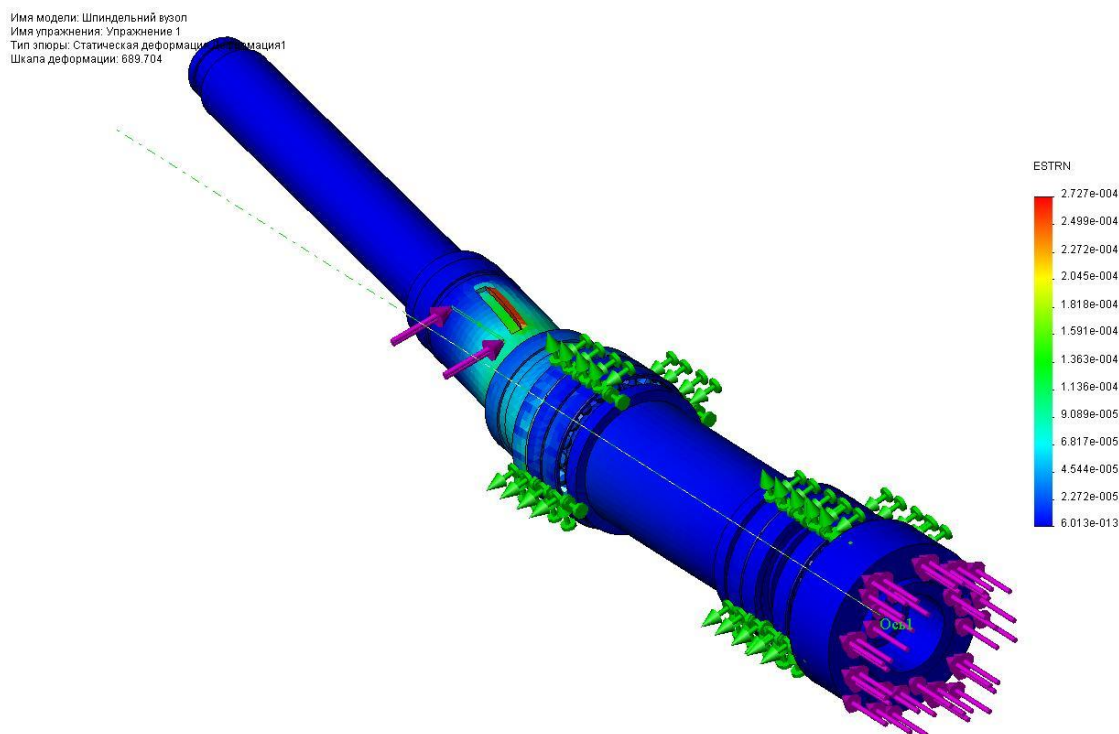


Рисунок 8.6 – Епюра деформацій

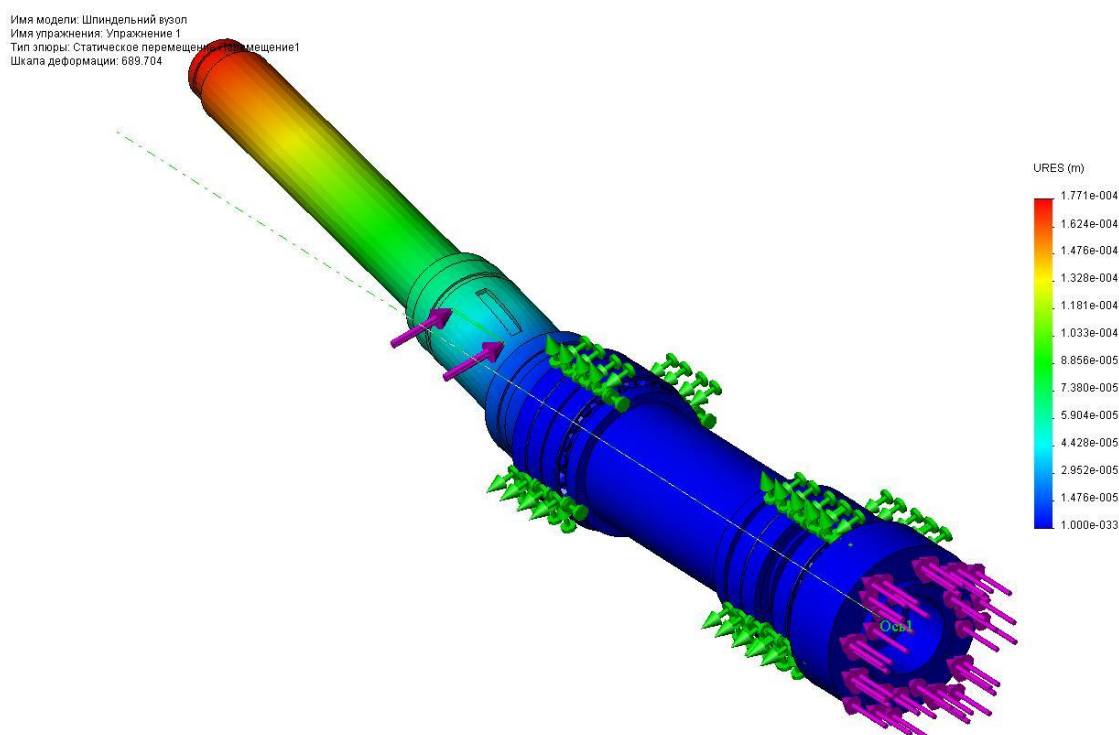


Рисунок 8.7 – Епюра переміщення

Із приведених епюр видно, що при крутному моменті $M=1056$ Н·м і прикладеною силою різання $P_z=1759$ Н максимальні напруження складають

$6,376 \cdot 10^{0,07} \text{ Н/м}^2$, максимальні деформації шпиндельного вузла, які виникають під час обробки деталі складають $2,727 \cdot 10^{-0,04}$, а максимальне переміщення шпинделя відносно вузла під час обточування деталі «Вал» дорівнює $1,771 \cdot 10^{-0,04}$ мкм. Звіт розрахунків податливості шпиндельного вузла знаходиться у додатку

Таким чином, із розрахунків податливості шпиндельного вузла верстата ІРТ180ПМФ4 видно, що приведені дані вписуються у параметри точності обробки деталі «Вал». Це свідчить про те, що на даному ГВМ у складі із верстатом ІРТ180ПМФ4, промисловим роботом М10П.62.01 і тактовим столом-накопичувачем можна оброблювати деталь типу «Вал» із заданим класом точності і шорсткості.

8.3 Висновки

У даному розділі був проведений аналіз технологічних характеристик ГВМ ІРТ180ПМФ4. Проведений аналіз точності і податливості основних вузлів верстата. Проведено розрахунки на жорсткість і податливість твердотільної тривимірної моделі деталі і шпиндельного вузла верстата ІРТ180ПМФ4 у програмі COSMOS із ланки програмного забезпечення SolidWorks.

На підставі зроблених розрахунків був зроблений висновок, що на ГВМ у складі із верстатом ІРТ180ПМФ4, промисловим роботом М10П.62.01 і тактовим столом-накопичувачем можна оброблювати деталь типу «Вал» із заданим класом точності і шорсткості.

9. РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ «ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ І ПРОДУКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «ВАЛ» НА ГПМ IPT180 ПМФ4»

9.1 Постановка цілей факультативного заняття з теми «Дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180 ПМФ4»

В таблиці 9.1 наведено оперативні цілі з теми.

Таблиця 9.1- 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	Ознайомлення з основними характеристиками ГПМ IPT180 ПМФ4	Формування знань про конструкцію, функціональні можливості та технологічні особливості верстата	Демонстрація верстата, навчальні матеріали, інтерактивні презентації	Здобувачі освіти можуть описати будову та призначення верстата, основні параметри обробки
2	Вивчення технологічних режимів обробки валів	Розвиток навичок аналізу впливу параметрів різання на продуктивність і надійність процесу	Практичні заняття на ГПМ, імітаційне моделювання, розрахунки режимів	Студенти вміють визначати оптимальні режими обробки для конкретних умов та вимог
3	Ознайомлення з методами контролю продуктивності та надійності обробки	Формування аналітичних та експериментальних компетентностей	Виконання лабораторних та практичних дослідів, використання систем контролю та вимірювального обладнання	Здобувачі освіти здатні проводити вимірювання параметрів обробки, аналізувати результати та робити висновки
4	Розвиток навичок оптимізації технологічних процесів	Формування вміння приймати обґрунтовані рішення щодо підвищення ефективності та якості обробки	Практичні кейси, моделювання різних режимів обробки, групові обговорення	Студенти можуть запропонувати і реалізувати оптимальні варіанти обробки валів для підвищення продуктивності та надійності
5	Формування компетентностей роботи з цифровими технологіями та імітаційним моделюванням	Підвищення рівня цифрової грамотності та здатності до прогнозування результатів обробки	Використання програмного забезпечення для моделювання, інтегровані завдання	Здобувачі освіти здатні застосовувати імітаційне моделювання для оцінки та оптимізації процесів обробки

9.2 Перелік літературних джерел з теми

1. Іваненко, П. С. Сучасні технології механічної обробки металів: навчальний посібник. – Київ: Наукова думка, 2020. – 312 с.
2. Ковальчук, В. М. Автоматизовані верстати та системи числового програмного керування: теорія та практика. – Харків: Машинобудування, 2019. – 276 с.
3. Петренко, О. І. Професійна підготовка інженерів машинобудівних підприємств у цифровому виробництві. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2021. – 198 с.
4. Сидоренко, М. А. Імітаційне моделювання технологічних процесів обробки деталей. – Одеса: Техніка, 2022. – 245 с..

9.3 Конструювання дидактичних матеріалів з теми «Дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180 ПМФ4»

Конструювання дидактичних матеріалів для професійної підготовки фахівців машинобудівних підприємств є одним із ключових аспектів ефективного навчального процесу. Дидактичні матеріали повинні не лише відображати сучасні технології обробки деталей, але й сприяти формуванню практичних навичок та аналітичних компетентностей, необхідних для оцінювання продуктивності та надійності процесів [39,51].

У контексті дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на верстаті ГПМ IPT180 ПМФ4 дидактичні матеріали доцільно структурувати за трьома основними напрямками: теоретичним, практичним та аналітичним.

1. Теоретичний блок включає навчальні тексти, схеми, таблиці та графіки, які пояснюють конструктивні особливості верстата, принципи його роботи, параметри обробки та вплив режимів різання на продуктивність і надійність. Основна мета цього блоку – сформувати у здобувачів освіти системне розуміння

технологічного процесу обробки валів, механізмів регулювання та контролю параметрів, а також факторів, що впливають на стабільність і точність обробки.

2. Практичний блок містить робочі завдання та лабораторні інструкції для відпрацювання навичок на ГПМ IPT180 ПМФ9. До таких матеріалів відносяться:

- покрокові інструкції з налаштування верстата та вибору режимів різання;
- вправи з проведення експериментальних досліджень продуктивності та надійності обробки;
- завдання з документування результатів та порівняння фактичних показників із розрахунковими.

Практичний блок спрямований на формування у студентів умінь працювати з сучасним обладнанням, оцінювати ефективність технологічних рішень та своєчасно коригувати режими обробки для досягнення оптимальної продуктивності.

3. Аналітичний блок передбачає використання імітаційного моделювання та цифрових інструментів для прогнозування результатів обробки. До цього блоку можна включити:

- завдання з моделювання процесів різання та оцінювання їх впливу на ресурс верстата та довговічність валів;
- вправи з аналізу статистичних даних та графіків надійності;
- кейси з оптимізації режимів обробки для зменшення браку, простоїв та енергозатрат.

Конструювання дидактичних матеріалів у такій структурі дозволяє забезпечити комплексне формування компетентностей: від розуміння теоретичних основ до проведення експериментів і прийняття обґрунтованих технологічних рішень. Такий підхід відповідає сучасним вимогам виробництва та сприяє підготовці фахівців, здатних ефективно працювати з високотехнологічними верстатами та системами автоматизованої обробки.

Важливим елементом є інтеграція цифрових технологій та методів імітаційного моделювання у всі блоки навчального матеріалу. Це дозволяє не лише відпрацьовувати практичні навички, але й розвивати аналітичне мислення та здатність прогнозувати результати виробничих процесів. Крім того, дидактичні матеріали повинні мати адаптивний характер, забезпечуючи можливість індивідуального підходу до засвоєння матеріалу та контролю результатів навчання.

Таким чином, конструювання дидактичних матеріалів з теми «Дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу „Вал“ на ГПМ IPT180 ПМФ4» передбачає системний, багаторівневий підхід, який забезпечує ефективне поєднання теоретичних знань, практичних навичок та аналітичних компетентностей, необхідних сучасному фахівцеві машинобудівного виробництва [47].

9.4 Аналіз базових умов навчання з теми «Дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180 ПМФ4»

В таблиці 9.2 приведено вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань.

Таблиця 9.2- 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 дій
1	2	3
Дисципліна: Матеріалознавство Тема: Фізико-механічні властивості металів та їх вплив на процес обробки	Метод – усне опитування. Форма – фронтальна. Засіб – контрольні питання. Які фізико-механічні властивості матеріалів впливають на точність та швидкість обробки валів? Поясніть, як твердість та пластичність матеріалу визначають вибір режими різання.	Інтерактивні методи, такі як групові обговорення, кейс-стаді, робота в малих групах та рольові ігри, дозволяють

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
	Які особливості структури металу можуть призвести до підвищеного зносу різального інструменту? Назвіть методи контролю якості металу перед обробкою.	студентам актуалізувати раніше отримані знання та застосувати їх у практичних умовах.
Дисципліна: Технологія машинобудування Тема: Основні методи механічної обробки валів на верстатах з ЧПК	Перелічіть основні види механічної обробки валів та їх призначення. Як режим різання впливає на продуктивність і надійність обробки? Поясніть, чому точність обробки валів важлива для роботи агрегатів. Вкажіть основні фактори, що впливають на якість поверхні після обробки.	
Дисципліна: Деталі машин Тема: Особливості конструкції валів та вимоги до точності	1. Які основні типи валів використовуються в машинобудуванні? 2. Назвіть параметри, що визначають геометричну точність валу. 3. Як форма і розміри валу впливають на надійність механізму? 4. Поясніть роль балансування валів у роботі високошвидкісних агрегатів.	Наприклад, аналіз технологічних проблем на прикладі обробки валів дає можливість відпрацювати навички вибору оптимальних режимів різання та оцінки продуктивності процесів.
Дисципліна: Основи автоматизації та ЧПК Тема: Принципи налаштування ГПМ IPT180 ПМФ4 та оптимізації режимів різання	Які основні функції верстата ГПМ IPT180 ПМФ4 забезпечують високу точність обробки? Опишіть порядок налаштування режимів різання для валів із різних матеріалів. Які параметри обробки необхідно контролювати під час роботи на ЧПК-верстаті? Як цифрові технології допомагають підвищити продуктивність і надійність обробки?	
Дисципліна: Інженерна механіка та динаміка машин Тема: Вплив геометрії валів та режимів обробки на роботу агрегатів	1. Які навантаження діють на вал під час роботи механізму? 2. Як вібрації впливають на точність обробки валів? 3. Поясніть, чому правильне розташування опор і підшипників важливе для довговічності валу. 4. Як конструктивні особливості валу впливають на вибір режимів різання?	
Дисципліна: Імітаційне моделювання технологічних процесів Тема: Моделювання	1. Що таке імітаційне моделювання технологічних процесів? 2. Як за допомогою моделювання можна передбачити дефекти обробки? 3. Вкажіть основні параметри для оптимізації процесу обробки валів у моделі.	

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
процесів різання для прогнозування продуктивності та надійності	4. Як результати моделювання можуть впливати на вибір реальних режимів обробки?	
Дисципліна: Контроль якості та надійності деталей Тема: Методи вимірювання геометричних параметрів валів та оцінки точності	1. Які основні методи контролю геометричних розмірів валів застосовуються у виробництві? 2. Поясніть, як оцінюється надійність обробленого валу. 3. Які параметри поверхні впливають на довговічність деталі? 4. Наведіть приклади способів зменшення браку та підвищення точності обробки.	

9.5 Проєктування мотиваційних технологій навчання з теми «Дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180 ПМФ4»

На рис. 9.3 представимо характеристику мотиваційних технологій навчання.

Таблиця 9.3 - Визначення способів реалізації мотивації

Способи реалізації мотивації	Внутрішня мотивація
1	2
Вступна мотивація	Доброго дня, шановні здобувачі освіти! Сучасне машинобудівне виробництво характеризується високими вимогами до точності, продуктивності та надійності обробки деталей. Вали є одними з ключових елементів багатьох механізмів, від якості яких безпосередньо залежить ефективність роботи агрегатів, їх довговічність та безпека експлуатації. Недостатня точність обробки або нестабільність технологічного процесу може призводити до підвищеного зносу деталей, простоїв устаткування та економічних втрат для підприємств. У цьому контексті дослідження продуктивності та надійності обробки валів на сучасних верстатах, таких як ГПМ IPT180 ПМФ4, набуває особливої важливості. Верстат з числовим програмним керуванням дозволяє виконувати високоточну обробку деталей з різних матеріалів, однак для досягнення максимальних результатів необхідні глибокі знання операторів і інженерів щодо оптимальних режимів різання, контролю параметрів обробки та прогнозування їх впливу на якість виробів.

Способи реалізації мотивації	Внутрішня мотивація
1	2
	Мотивація даного дослідження полягає у створенні науково обґрунтованої системи підготовки фахівців, здатних аналізувати та оптимізувати технологічні процеси. Це включає розвиток компетентностей з вимірювання та оцінки продуктивності, вивчення факторів, що впливають на надійність обробки, а також застосування методів імітаційного моделювання для прогнозування результатів. Такий підхід дозволяє забезпечити високу якість виробів, скоротити виробничі витрати та підвищити конкурентоспроможність підприємств. Крім того, дослідження є важливим у професійній підготовці інженерів нового покоління, які повинні володіти не лише практичними навичками роботи з високотехнологічним обладнанням, а й аналітичним мисленням, здатністю приймати обґрунтовані рішення та адаптуватися до умов цифрового виробництва. У результаті студенти та молоді спеціалісти набувають реального досвіду у вирішенні практичних задач оптимізації обробки валів, що безпосередньо впливає на ефективність та безпеку виробничих процесів. Таким чином, мотивацією для проведення дослідження є не лише науковий інтерес до підвищення продуктивності та надійності технологічних процесів, але й прагнення забезпечити практичну підготовку фахівців, здатних ефективно працювати в умовах сучасного машинобудівного виробництва та сприяти розвитку інноваційних виробничих рішень.

9.6 Проєктування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті з теми «Дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180 ПМФ4»

Вибір методів, форм та засобів формування ООД наведено в таблиці 9.4

Таблиця 9.4 - Способи формування ООД на факультативному занятті

Рівень засвоєння (Блум)	Форми організації навчання	Методи навчання	Засоби навчання
1	2	3	4
Запам'ятовування / Знання	Лекція, демонстрація	Пояснювальний, наочний	Слайди, схеми будови ГПМ IPT180 ПМФ4, відео демонстрації процесу обробки валів
Розуміння / Пояснення	Семінар, групове обговорення	Інтерактивний, проблемно-орієнтований	Методичні матеріали, навчальні таблиці режимів різання, схеми потоків процесів
Застосування / Виконання	Практичне заняття,	Репродуктивний, практичний	Верстат ГПМ IPT180 ПМФ4, інструменти для

Рівень засвоєння (Блум)	Форми організації навчання	Методи навчання	Засоби навчання
1	2	3	4
	лабораторна робота		обробки валів, цифрові вимірювальні прилади
Аналіз Дослідження	/ Лабораторні досліди, кейс- стаді	Дослідницький, аналітичний	Програмне забезпечення для імітаційного моделювання, таблиці контролю параметрів обробки
Синтез Створення	/ Проектна робота, груповий проект	Проектно- орієнтований, креативний	Комп'ютерні моделі процесів, інструменти для оптимізації режимів різання, шаблони для звітів
Оцінювання Аргументація	/ Захист лабораторних та проектних робіт	Рефлексивний, дискусійний	Критерії оцінки якості обробки валів, стандарти продуктивності та надійності, журнали вимірювань

9.7 Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті з теми «Дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180 ПМФ4»

Вибір методів, форм та засобів формування виконавчих дій наведено в таблиці 9.5.

Таблиця 9.5 - Способи формування виконавчих дій з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу	Форми, методи, засоби
1	2
I, II, III, IV	Вправа 1. Ознайомлення з верстатом та його параметрами Мета: Ознайомити студентів із конструкцією та функціональними можливостями ГПМ IPT180 ПМФ9. Завдання: 1. Вивчити основні вузли верстата, його органи керування та цифрові інтерфейси. 2. Ознайомитися з інструкцією з безпеки та правилами роботи на верстаті. 3. Визначити основні параметри обробки валів: швидкість обертання шпинделя, подачу, глибину різання. Очікуваний результат: Студенти повинні вміти описати будову верстата, основні режими обробки та безпечно користуватися обладнанням.

Рівні засвоєння навчального матеріалу	Форми, методи, засоби
	Вправа 2. Визначення оптимальних режимів різання Мета: Розвинути навички підбору технологічних параметрів для підвищення продуктивності та надійності обробки. Завдання: 1. Виконати обробку валу при різних режимах різання (швидкість, подача, глибина різання). 2. Виміряти час обробки, точність розмірів та якість поверхні. 3. Порівняти результати та визначити оптимальні режими для мінімізації браку та підвищення продуктивності. Очікуваний результат: Студенти вміють підбирати режими різання, оцінювати їх вплив на якість обробки та продуктивність.
	Вправа 3. Контроль геометричних параметрів та надійності валів Мета: Навчити студентів оцінювати точність та надійність оброблених деталей. Завдання: 1. Використовуючи штангенциркуль, мікрометр та інші вимірювальні інструменти, виміряти діаметри, довжину та геометричну точність валу. 2. Провести аналіз відхилень від нормативних значень. Визначити ймовірні причини браку та запропонувати способи їх усунення. Очікуваний результат: Студенти можуть контролювати геометричні параметри, оцінювати надійність обробки та робити висновки щодо покращення технології.
	Вправа 4. Імітаційне моделювання процесів обробки Мета: Освоїти методи цифрового моделювання та прогнозування результатів обробки. Завдання: 1. Створити модель обробки валу у програмному середовищі для імітаційного моделювання. 2. Визначити вплив різних режимів різання на продуктивність та надійність процесу. 3. Оптимізувати режими обробки з урахуванням мінімізації зносу інструменту та енергоспоживання. Очікуваний результат: Студенти здатні прогнозувати результати обробки, визначати оптимальні режими та аргументовано обґрунтовувати технологічні рішення.
	Вправа 5. Аналіз та оцінка ефективності технологічного процесу Мета: Розвивати аналітичні компетентності та вміння робити обґрунтовані висновки щодо продуктивності та надійності. Завдання: 1. Проаналізувати результати практичних обробок та моделювань. 2. Порівняти отримані показники продуктивності та точності з нормативними значеннями. 3. Скласти звіт із пропозиціями щодо оптимізації технологічного процесу. Очікуваний результат: Студенти можуть проводити комплексний аналіз процесів обробки, оцінювати їх ефективність і пропонувати покращення для підвищення продуктивності та надійності.

9.8 Проектування контрольних дій з теми «Дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180 ПМФ4»

Вибір методів, форм та засобів формування контрольних дій наведено в таблиці 9.6.

Таблиця 9.6 - Засоби контролю з теми факультативного заняття

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми, методи, засоби
1	2
ІІІ рівень	Контрольні питання. 1. Які основні конструктивні елементи верстата ГПМ IPT180 ПМФ4 і яку функцію вони виконують під час обробки валів? 2. Поясніть вплив режимів різання (швидкість, подача, глибина різання) на продуктивність обробки валів. 3. Назвіть методи контролю геометричних параметрів обробленого валу та оцінки його точності. 4. Які фактори визначають надійність обробки валів і як їх враховують у технологічному процесі? 5. Опишіть етапи проведення дослідження продуктивності на верстаті ГПМ IPT180 ПМФ9. 6. Як цифрові технології та імітаційне моделювання сприяють підвищенню ефективності та надійності обробки валів? 7. Назвіть типові дефекти, що можуть виникати при механічній обробці валів, і запропонуйте способи їх усунення. 8. Поясніть, як проводиться оцінка оптимальності технологічного процесу та підбір режимів різання. 9. Які вимірювальні інструменти використовуються для контролю валів і які параметри вони дозволяють визначати? 10. Опишіть алгоритм складання звіту за результатами дослідження продуктивності та надійності обробки валів.

9.9 Розробка сценарію факультативного заняття з теми «Дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180 ПМФ4»

Сценарій заняття, його структура й зміст структурних елементів представлені у вигляді табл. 9.7.

Таблиця 9.7 - Сценарій заняття з теми заняття

№ з/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	2	3
1	Організаційний момент	Привітання студентів, перевірка присутніх. Створення робочої атмосфери та налаштування на продуктивну діяльність. Пояснення важливості дотримання правил безпеки та технологічної дисципліни під час роботи на верстаті ГПМ IPT180 ПМФ9.
2	Повідомлення теми і мети заняття	Тема: «Дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180 ПМФ4». Мета: сформувати у студентів теоретичні знання та практичні навички оцінки продуктивності та надійності обробки, використання цифрового моделювання та імітаційних технологій для оптимізації технологічного процесу.
3	Мотивація навчальної діяльності	Обговорення актуальності теми: підвищення ефективності виробництва, зменшення браку та простоїв, підвищення точності та довговічності валів. Демонстрація прикладів застосування імітаційного моделювання для прогнозування результатів обробки деталей.
4	Актуалізація базових знань	Усне опитування студентів щодо: • Властивостей матеріалів для валів; • Принципів роботи верстата ГПМ IPT180 ПМФ4; • Впливу режимів різання на продуктивність та надійність; • Основ імітаційного моделювання. Методи: дискусія, усне опитування. Форма: фронтальна. Засоби: схеми верстата, креслення деталей, контрольні питання.
5	Формування нового навчального досвіду (ООД)	Демонстрація процесу імітаційного моделювання обробки валу на ГПМ IPT180 ПМФ9. Студенти аналізують симуляцію, виявляють критичні зони обробки, обговорюють можливі проблеми та способи підвищення надійності. Методи: пояснення, демонстрація, лекція-дискусія, мозковий штурм.
6	Формування вмінь та дій (ВД)	Практичні вправи: 1. Аналіз цифрової моделі валу та визначення критичних зон навантаження; 2. Розробка послідовності обробки та підбір режимів різання; 3. Імітаційне моделювання обробки у CAD/CAM-системі; 9. Оптимізація параметрів обробки для підвищення надійності; 5. Підготовка рекомендацій щодо підвищення продуктивності та зменшення браку.
7	Формування компетентності (КД)	Обговорення результатів практичних робіт та контрольні питання: • Вплив режимів різання на продуктивність і точність; • Методи підвищення надійності обробки валів; • Використання цифрового моделювання для оптимізації процесів; • Оцінка результатів симуляцій та практичних розрахунків.

№ з/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	2	3
8	Підбиття підсумків, видача домашнього завдання	Підсумок заняття: значення імітаційного моделювання для підвищення продуктивності та надійності обробки валів, оптимізація режимів різання та застосування цифрових технологій. Домашнє завдання: підготувати звіт із цифрового моделювання обробки валу, включаючи аналіз критичних зон, оптимальні режими обробки та пропозиції щодо підвищення надійності процесу.

9.10 Висновки до методичного розділу роботи

Розроблено дидактичний проєкт факультативного заняття на тему «Дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180 ПМФ4» дозволяє комплексно поєднати теоретичні знання та практичні навички студентів, спрямовані на підвищення професійної компетентності в умовах сучасного машинобудівного виробництва. Такий підхід забезпечує ефективне засвоєння навчального матеріалу, формує вміння аналізувати технологічні процеси, оцінювати продуктивність та надійність обробки валів, а також застосовувати цифрові технології для оптимізації режимів різання.

Структура заняття, яка передбачає організаційний момент, мотивацію навчальної діяльності, актуалізацію базових знань, формування нового навчального досвіду, практичні вправи та підбиття підсумків, дозволяє студентам послідовно переходити від засвоєння теоретичних основ до практичного застосування знань та аналізу результатів обробки деталей.

Включення елементів імітаційного моделювання та цифрового прогнозування продуктивності і надійності обробки сприяє розвитку аналітичного мислення, здатності прогнозувати результати технологічних процесів і приймати обґрунтовані рішення щодо їх оптимізації.

Практичні вправи, орієнтовані на аналіз критичних зон обробки, підбір режимів різання та оптимізацію параметрів процесу, дозволяють студентам

закріплювати набуті знання, формувати навички експериментальної роботи і підвищувати рівень професійної підготовки.

Застосування комплексного підходу, що поєднує традиційні методи навчання з цифровими технологіями та імітаційним моделюванням, сприяє формуванню компетентностей нового покоління інженерів, включаючи аналітичні, експериментальні та проектні навички, що підвищує їхню конкурентоспроможність і забезпечує здатність ефективно працювати на сучасних машинобудівних підприємствах.

Таким чином, реалізація дидактичного проєкту факультативного заняття дозволяє створити умови для послідовного та системного розвитку знань і практичних навичок студентів, спрямованих на підвищення продуктивності та надійності технологічних процесів обробки валів на ГПМ IPT180 ПМФ9.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Виконане дослідження дозволило всебічно проаналізувати та вдосконалити технологічний процес виготовлення деталей типу «Вал» у гнучкому виробничому модулі IPT180ПМФ4, спираючись на комплекс технічних, конструкторсько-технологічних та аналітичних методів. Реалізація поставлених завдань дала змогу сформулювати цілісне уявлення про функціонування сучасного автоматизованого виробничого середовища й визначити ключові технічні фактори, що впливають на продуктивність, точність та надійність обробки.

2. У процесі конструкторсько-технологічного аналізу системи виготовлення деталі «Вал» встановлено, що застосування ЧПК-обладнання та автоматизованих технологічних систем значно скорочує допоміжний час, зменшує кількість операцій ручного налаштування та підвищує стабільність технологічних параметрів. Аналіз показав переваги автоматичного базування й переналаштування, що особливо важливо в умовах дрібносерійного виробництва, де зміна типорозмірів деталей відбувається часто, а гнучкість обладнання визначає загальну ефективність виробничої системи.

3. Розроблений груповий технологічний процес дав змогу стандартизувати маршрути обробки різних деталей валоподібної форми, скоротити номенклатуру оснащення та інструменту, оптимізувати використання робочих ресурсів і підвищити уніфікацію операцій. Створена керуюча програма для вертикального оброблювального центру IPT180ПМФ4 відображає можливості сучасного САМ-програмування: автоматичну генерацію траєкторій, оптимізацію проходів, зменшення холостих переміщень та адаптацію режимів різання під конкретні конструктивні особливості деталі.

4. Виконані розрахунки режимів різання із застосуванням програмного пакета CoroGuide забезпечили обґрунтований вибір оптимальних параметрів різання для конкретних умов обробки, враховуючи тип інструменту, властивості матеріалу та конструктивні обмеження верстата. Це дозволило підвищити продуктивність процесу та забезпечити стабільне

досягнення заданих показників точності та чистоти поверхні.

5. Створення детальної 3D-моделі ГВМ IPT180ПМФ4 у SolidWorks і подальше формування імітаційної моделі обробки у 3D GPM надали можливість проаналізувати компоновку елементів модуля, перевірити кінематичні й просторові взаємодії, оцінити безпечність операцій завантаження та розвантаження заготовок, а також спрогнозувати «вузькі місця» системи. Моделювання дозволило провести віртуальні випробування технологічного процесу без ризику простоїв обладнання чи виникнення аварійних ситуацій.

6. Дослідження у системі COSMOS Works надало дані щодо жорсткості й стійкості конструкції модулю під час реальних навантажень, дозволивши оцінити вплив вібрацій, сил різання та конструктивних особливостей вузлів на кінцеву точність обробки. Це сприяло підтвердженню надійності обраної технологічної схеми й дало змогу встановити оптимальні режими з урахуванням механічних характеристик обладнання.

7. Комплексна оцінка продуктивності й надійності ГВМ IPT180ПМФ4 показала, що використання гнучкого виробничого модуля дозволяє зменшити переналагодження, стабілізувати технологічні параметри, забезпечити високу повторюваність результатів та ефективно працювати з широкою номенклатурою валоподібних деталей. Імітаційні моделі продемонстрували можливість прогнозування часу обробки, визначення раціонального завантаження верстата та покращення планування виробництва.

8. Загалом проведена робота підтвердила, що інтеграція CAD-, CAM-, CAE- та імітаційних технологій у технологічну підготовку виробництва значно підвищує ефективність обробки деталей типу «Вал» та забезпечує високий рівень надійності й якості у гнучких автоматизованих виробничих системах. Результати дослідження формують технічне підґрунтя для подальшого вдосконалення процесів обробки та впровадження інтегрованих цифрових рішень на сучасних машинобудівних підприємствах.

9. Розроблений дидактичний проєкт факультативного заняття з теми дослідження продуктивності та надійності обробки валів на ГПМ IPT180

ПМФ4 демонструє важливість інтеграції сучасних цифрових технологій та імітаційного моделювання в освітній процес. Такий підхід забезпечує формування у студентів професійних компетентностей, необхідних для роботи в умовах сучасного машинобудівного виробництва: аналітичних, експериментальних, проєктних та технологічних.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що комплексне поєднання сучасних виробничих технологій та інноваційних освітніх методик сприяє підвищенню ефективності обробки деталей типу «Вал» та забезпечує підготовку висококваліфікованих інженерних кадрів, здатних працювати в умовах цифровізованого виробництва.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>
2. 3D GPM – User Documentation. – NIST Manufacturing Engineering Lab, 2020. – 150 p.
3. Altintas, Y. Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. — 2nd ed. — Cambridge University Press, 2012. — 366 p.
4. Boothroyd, G., Knight, W. A. Fundamentals of Machining and Machine Tools. — 3rd ed. — CRC Press, 2019. — 615 p.
5. Cook R. Finite Element Modeling for Stress Analysis (COSMOS / SimulationWorks). – Wiley, 2021. – 384 p.
6. CoroGuide – Tool Selection and Cutting Data Handbook. – Sandvik Coromant, 2022. – 450 p.
7. FlexSim Simulation Software. *Discrete Event Modeling for Manufacturing Systems*. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.flexsim.com>
8. Ghosh, S., Mallik, S. Finite Element Analysis of Machining Processes. — Springer, 2015. — 284 p.
9. Groover, M. P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. — 7th ed. — Hoboken, NJ: Wiley, 2020. — 1048 p.
10. ISCAR Tools. *Product Catalog and Technical Data for Metalworking*. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.iscar.com>
11. ISO 230-1:2012. Test code for machine tools — Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or quasi-static conditions. — Geneva: ISO, 2012. — 42 p.
12. Kalpakjian, S., Schmid, S. R. Manufacturing Processes for Engineering Materials. — 7th ed. — Pearson Education, 2021. — 984 p.
13. Planchard D., Planchard M. Engineering Design with SOLIDWORKS 2023. – SDC Publications, 2023. – 832 p.

14. Sandvik Coromant Knowledge Center. *Metal Cutting Data Handbook*. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.sandvik.coromant.com>
15. Shpitalnik V. *Practical CNC Programming with SolidCAM*. — Springer, 2020. — 265 p.
16. Siemens NX CAM Documentation. *Programming and Simulation for CNC Machining Centers*. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://support.sw.siemens.com>
17. Siemens SINUMERIK Operate: Program Guide. — Siemens AG, 2020. — 540 p.
18. Sinumerik 840D sl / 828D. *Programming Manual – Turning / Milling*. — Siemens AG, 2021. — 780 p.
19. SolidCAM 2022 User Guide. — SolidCAM Ltd., 2022. — 1240 p.
20. SolidWorks 2022: Посібник користувача. — Dassault Systèmes, 2022. — 1456 с.
21. Thusty, J. *Manufacturing Processes and Equipment*. — Prentice Hall, 2000. — 989 p.
22. Tönshoff, H. K., Denkena, B. *Basics of Cutting and Abrasive Processes*. — Springer, 2013. — 410 p.
23. Weck, M. *Handbook of Machine Tools. Vol. 4: Metrology, Control, Inspection, and Test*. — Wiley, 2003. — 455 p.
24. Xometry Europe. *Standard Tolerances in Manufacturing: ISO 2768 & ISO 286*. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://xometry.pro/en-eu/articles/standard-tolerances-manufacturing>
25. Бабій, В. І., Головка, Л. В. *Основи технології машинобудування*. — К.: Вища школа, 2019. — 376 с.
26. 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
27. *Довідник технолога-машинобудівника*. / За ред. Кузнецова В. М. — К.: Техніка, 2012. — 816 с.

28. ДСТУ 3981-2000. Оснащення технологічне. Терміни та визначення. — Київ: Держстандарт України, 2000. — 20 с.
29. ДСТУ EN ISO 9001:2018. Системи управління якістю. Вимоги. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2018. — 33 с.
30. ДСТУ ISO 2768-1:2006. Допуски загальні. Частина 1. Допуски лінійних та кутових розмірів без індивідуальних допусків. — Київ: Держспоживстандарт України, 2006. — 18 с.
31. ДСТУ ISO 286-2:2016. Допуски та посадки. Частина 2. Стандартні допуски і посадки для валів та отворів. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. — 32 с.
32. Єгоров А. В. Верстати з ЧПУ і системи керування: навчальний посібник. — К.: Вид-во «Каравела», 2020. — 304 с.
33. Каталог фірми Sandvik Coromant. *Металообробка. Інструментальні рішення для токарних і фрезерних операцій*. — Sandvik AB, 2023. — 540 с.
34. Климчук, А. А. Технологія машинобудування: Підручник. — Львів: Новий Світ – 2000, 2020. — 420 с.
35. 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.
36. 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.
37. Козак, Л. І., Лісовий, В. В. Автоматизоване проектування технологічних процесів обробки деталей. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. — 265 с.
38. Костюк, О. В. Моделювання та оптимізація технологічних процесів у машинобудуванні. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2021. — 184 с.
39. 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. Стрельніков, М. В. Стрельніков. – Полтава : АСМІ, 2020. – 303 с.

40. Левченко, В. С., Черненко, С. М. Розрахунок технологічних систем на жорсткість та точність. — К.: Політехніка, 2018. — 228 с.

41. Мельник Ю. С. Комп'ютеризовані технології механічної обробки: SolidCAM, EdgeCAM, MasterCAM. – Львів: НУ «ЛП», 2021. – 284 с.

42. 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 : Компрінт, 2024. – 224 с.

43. 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: УІПА, 2024. – 82 с.

44. Нестеренко, А. І. Металорізальні верстати і автоматизовані комплекси. — К.: Вища школа, 2015. — 340 с.

45. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>

46. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» першого (бакалаврського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

47. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» другого (магістерського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

48. Рамазанов С. М., Твердохлебов В. М. Комп'ютерне проєктування в середовищі SolidWorks: навчальний посібник. – К.: Кондор, 2019. – 312 с.

49. Рудь, Ю. А., Поліщук, О. В. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. — К.: НАУ, 2017. — 318 с.

50. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>
51. 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.
52. Стеценко В. В. Програмування металорізальних верстатів з ЧПК: Sinumerik, Fanuc, Heidenhain. – К.: Ліра-К, 2018. – 368 с.
53. Тимофєєв В. А. Основи 3D-моделювання в SOLIDWORKS. – Харків: ХНАДУ, 2020. – 248 с.
54. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>
55. Фесенко А. В. «Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 – Прикладна механіка, 133 – Галузеве машинобудування». Харків: НТУ «ХПІ», 2022. — 421 с.
56. Шевченко, В. М., Трохимчук, В. М. Технологічні процеси обробки деталей на верстатах з ЧПК. — Харків: ХНУРЕ, 2018. — 252 с.
57. Шелковий О. М., Феденюк Д. В., Летюк В. І., Міроненко С. О., Іщенко М. Г. Алгоритм пошуку в умовах серійного виробництва варіантів структури технологічного процесу механообробки на заданій множині технологічного обладнання. — Харків: Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні, 2023, № 2 (8), с. 39–49

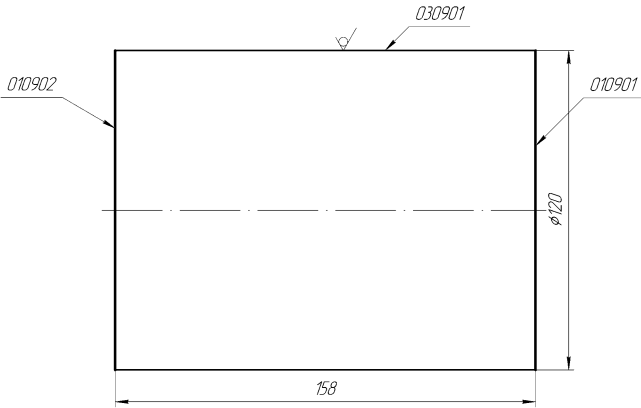
ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

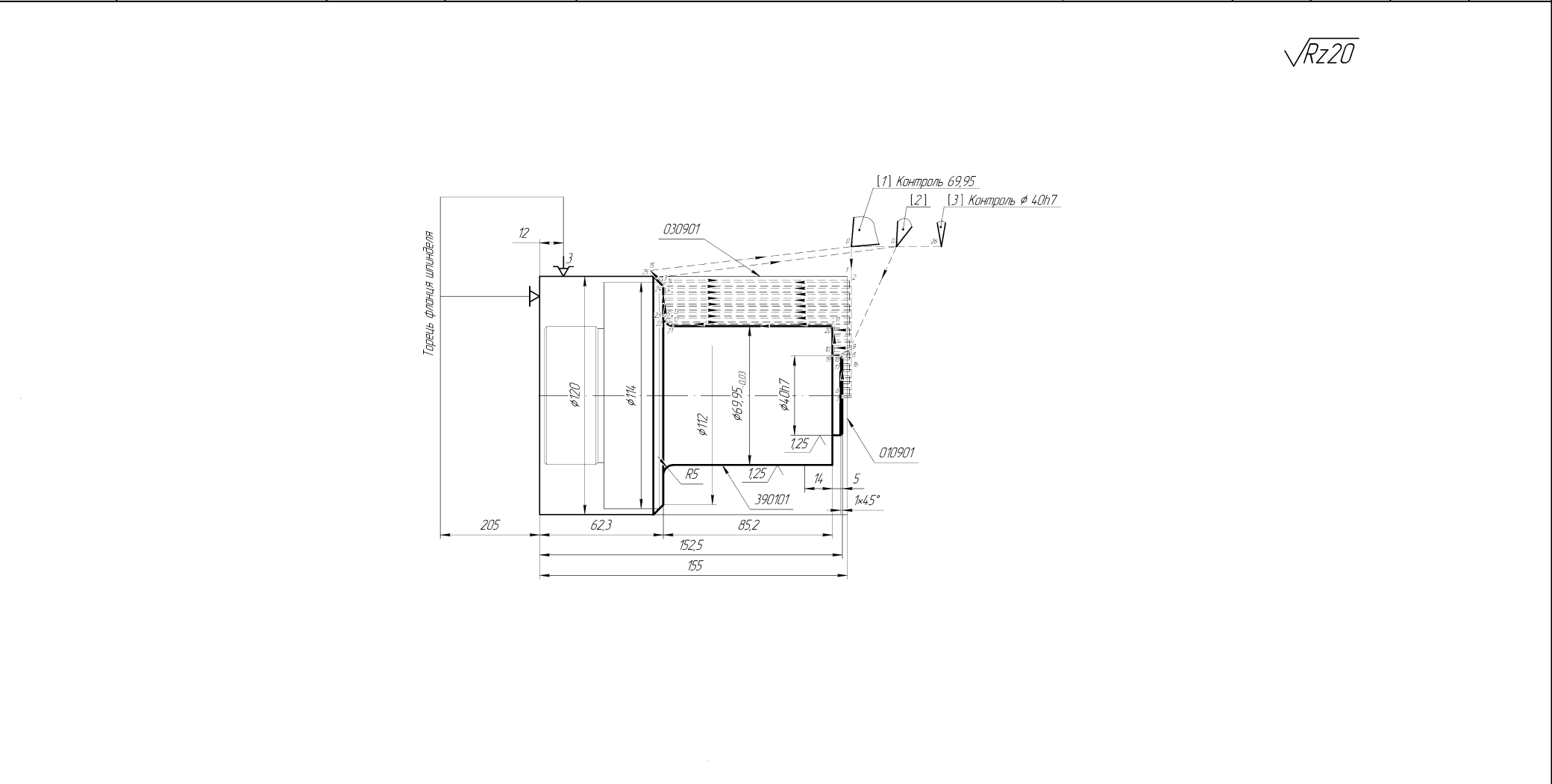
Технологічний процес обробки деталі «Вал»

ГОСТ 3.1105-84										Форма 7		САПР	
Дубл.													
Взам.													
Подл.													
SolidCAM										1		1	
Разраб.	Сосновський М.І.			ННІ УІПА									
Проверил	Кондратюк О.Л.			2491-III.0.00.00.0									
Нормир.													
Утвердил	Кондратюк О.Л.									Цех	УЧ	РМ	Опер.
Н.контр.	Подоляк О.С,			Вал						15	1	1	005

(√)√Rz40

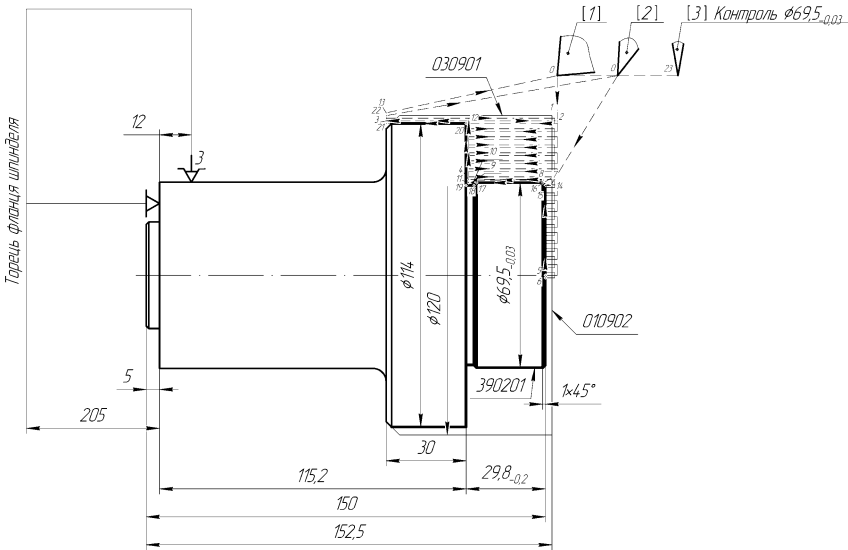


				ГОСТ 3.1105-84					Форма 7		САПР	
Дубл.												
Взам.												
Подл.												
ТехноПро									1		1	
Разраб.	Сосновський М.І.			ННІ УІПА								
Проверил	Кондратюк О.Л.			.2491-III.0.00.00.0								
Нормир.												
Утвердил	Кондратюк О.Л.							Цех		уч	РМ	Опер.
Н.контр.	Подоляк О.С,			Вал				10		5	5	015



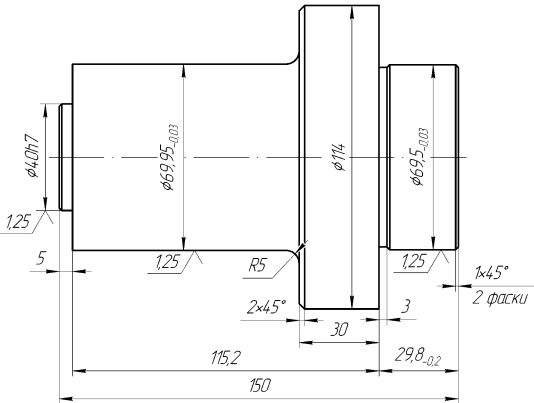
					ГОСТ 3.1105-84			Форма 7		САПР	
Дубл.											
Взам.											
Подл.											
ТехноПро										1	1
Разраб.	Сосновський М.І.				ННІ УІПА						
Проверил	Кондратюк О.Л.				2491-III.0.00.00.0						
Нормир.											
Утвердил	Кондратюк О.Л.							Цех	УЧ	РМ	Опер.
Н.контр.	Подоляк О.С,				Вал			10	5	5	020

$\sqrt{Rz20}$



										ГОСТ 3.1105-84			Форма 7		САПР					
Дубл.																				
Взам.																				
Подл.																				
ТехноПро															1		1			
Разраб.	Сосновський М.І.				ННІ УІПА					2491-III.0.00.00.0										
Проверил	Кондратюк О.Л.																			
Нормир.																				
Утвердил	Кондратюк О.Л.																			
Н.контр.	Подоляк О.С,				Вал												Цех	УЧ	РМ	Опер.
																	10	5	8	025

$\sqrt{Rz20}$



										ГОСТ 3.1404-86 Форма 3 САПР																							
Дубл.																																	
Взам.																																	
Підл.																																	
SolidCAM										1		1																					
Розроб. Сосновський М. УІПА																																	
Перевірив Кондратюк О.Л. 2491-III.0.00.00.0																																	
Нормір.																																	
Метролог Цех УЧ РМ Опер.																																	
Н.контр. Подоляк О.С. Вал 010																																	
Назва операції										матеріал		твердість		ЄВ		МД		Профіль та розміри		МОЗ		КВІД											
Транспортування										45 ГОСТ 1050-88		НВ 179 ... 229		мм		7,34		Φ120 L = 158 мм		13,76													
Обладнання, влаштування ЧПУ										Позначення програми		Те		Тв		ТЗЗ		ТШТ		СОЖ													
										P		PI		D чи B		L		T		i		S		N		V		Про		То/хв		Тв/хв	
Т ПР. Тиски 7200-0203 125 ГОСТ 14904-80; Тара																																	
Окуляри захисні																																	
3 Рукавиці х/б ГОСТ 124010-75																																	
О 1 Встановити пруток у лещата. 0,5																																	
Т ПР. Тиски 7200-0203 125 ГОСТ 14904-80																																	
3 Рукавиці х/б ГОСТ 124010-75																																	
Р																																	
2 Відрізати заготовку (1 заготовка на 1 деталь). 2,15																																	
ТРІ. Коло відрізне 400х2, 5х51 14A2 Б ГОСТ 21963-82; СІ. Штангенциркуль ШЦ-I-400-0,1-1 ГОСТ 166-89; ПР. Тиски 7200-0203 125 ГОСТ 14904-80																																	
О 3 Укласти заготовку в тару. 0,1																																	
3 Рукавиці х/б ГОСТ 124010-75																																	
О 4 Контроль лінійного розміру. 0,122																																	
Т СІ. Штангенциркуль ШЦ-I-250-0,1-1 ГОСТ 166-89																																	
ОК																																	

ГОСТ 3.1404-86 Форма 3 САПР									
Дубл.									
Взам.									
Підл.									
SolidCAM		1		1					
Розроб.	Сосновський М. УІПА								
Перевірив	Кондратюк О.Л.	2491-III.0.00.00.0							
Нормір.									
Метролог	Шех УЧ РМ Опер.								
Н.контр.	Шодоляк О.С. Вал	10 5 5 015							
Назва операції матеріал твердість ЄВ МД Профіль та розміри МОЗ КВІД									
Токарна 45 ГОСТ 1050-88 НВ 179 ... 229 мм 7,34 Φ120 L = 158 мм 13,76									
Обладнання, влаштування ЧПУ Позначення програми Те Тв ТЗЗ ТШТ СОЖ									
Токарно-багатоцільовий патронний 0,16 МР-2У напівавтомат IPT180ПМФ4 Р ПІ D чи B L T i									
S N V Про То/хв Тв/хв									
	Т ПР. Патрон D200 7100-0007 ГОСТ 2675-80								
	О Відрізати деталь у розмір мм								
	О 1 Встановити заготовлю у трикулачковому патроні, закріпити 0,93								
	Т ПР. Патрон D200 7100-0007 ГОСТ 2675-80								
	О 2 Точити деталь на чорно з припуском 1 мм по контуру. 8,26								
	TPI. Coromant Capto SCLCR/R								
	Р 3 1 0,4 1000								
	О 3 Точити деталь по контуру начисто. 0,36								
	TPI. Coromant Capto SVJBR/R								
	Р 1 60 0,2 1000								
	О 4 Контроль.								
	Про 5 Б. Перевстановити та закріпити 0,33								
	Т ПР. Патрон D200 7100-0007 ГОСТ 2675-80								
OK									

										ГОСТ 3.1404-86 Форма 3 САПР						
Дубл.																
Взам.																
Підл.																
SolidCAM				2		1										
Розроб. Сосновський М. УІПА																
Перевірів Кондратюк О.Л. 2491-III.0.00.00.0																
Нормір.																
Метролог Цех УЧ РМ Опер.																
Н.контр. Подоляк О.С. Вал 10 5 8 025																
Назва операції матеріал твердість ЄВ МД Профіль та розміри МОЗ КВІД																
Контрольна 45 ГОСТ 1050-88 НВ 179 ... 229 мм 7,34 Ø120 L = 158 мм 13,76																
Обладнання, влаштування ЧПУ Позначення програми Те Тв ТЗЗ ТШТ СОЖ																
Стіл контрольний 0 0,01 Р ПІ D чи B L T i S N V Про То/хв Тв/хв																
Т ПР. Патрон D200 7100-0007 ГОСТ 2675-80																
	О 1 Точити деталь на чорно з припуском 1 мм по контуру. 4,1															
	TPI. Coromant Capto SCLCR/R															
	Р 3 1 0,4 1000															
	О 2 Точити деталь по контуру начисто. 0,33															
	TPI. Coromant Capto SVJBR/R															
	Р 1 60 0,2 1000															
	Про 3 Контроль.															
	Про 4 Зняти деталь після обробки 0,93															
	Т ПР. Патрон D200 7100-0007 ГОСТ 2675-80															
	О 1 Контролювати всі розміри відповідно до креслення. 0,5															
	Т СІ. Штангенциркуль ШЦ-I-200-0,05 ГОСТ 166-89															
ОК																

ГОСТ 3.1404-86 Форма 2а САПР												
Дубл.												
Взам.												
Підл.												
SolidCAM				2								
								МШ-14В.2491-III.0.00.00.0 Опер.				
								Вал 025				
P	II	D	чи B	L	T	i	S	N	V	Про	To/хв	Тв/хв
01	A 15 1 1 005 Заготівельна IBT 59-85											
02												
03	B Абразивно-відрізний 0,05											
04												
05	A 010 Транспортування											
06												
07	A 10 5 5 015 Токарна											
08												
09	B Токарно-багатоцільовий патронний напівавтомат 0,16											
10	B IPT180ПМФ4											
11												
12	A 10 5 5 020 Токарна											
13												
14	B Токарно-багатоцільовий патронний напівавтомат 0,09											
15	B IPT180ПМФ4											
16												
17	A 10 5 8 025 Контрольна IPT N 15 / 4											
18												
19	B Стіл контрольний 0,01											
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
OK												

Додаток Б

Звіт розрахунку технологічного процесу у програмі SolidCAM

№	Операція	Перехід	Рядок	Помилка №	Повідомлення
1	010 Токарна	001 Встановити заготівлю в трикулачковий патрон, закріпити	1	0	Обчислено: A1; Опр = "
2	010 Токарна	001 Встановити заготівлю в трикулачковий патрон, закріпити	4	0	Обчислено: A1; Опр = 'Патрон 3-х кулачковий'
3	010 Токарна	001 Встановити заготівлю в трикулачковий патрон, закріпити	13	0	Обчислено: Тв; Норма = 0
4	010 Токарна	001 Встановити заготівлю в трикулачковий патрон, закріпити	14	0	Обчислено: Тв; Норма = 3.6
5	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	1	0	Обчислено: D; Режим = 0
6	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	2	0	Обчислено: Storona; Режим = 90
7	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	8	0	Обчислено: PD; Режим = 0
8	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	9	0	Обчислено: DL; Хар = 0
9	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	11	0	Обчислено: t; Режим = 0
10	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	14	0	Обчислено: i; Режим = 1
11	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	16	0	Обчислено: W; Режим = 3
12	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	17	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: Помилка у виразі або не знайдено таблицю: Таблиця (S, Подача при підрізання торця
					чорнове точення, Trez >= 0 AND Material = [Турем\$;Хар] AND D >= [D])
13	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	18	0	Обчислено: S1; Режим = 0
14	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	21	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: Помилка у виразі або не знайдено таблицю: Таблиця (V, Швидкість різання прох_подр_раст різців, t >= ABS(0) AND s >= 0.4 AND GRUPM = [Турем\$;Хар] AND
15	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	22	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: OKR((1000 * 0) / (3.14 * (0)))
16	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	23	0	Обчислено: N1; Режим = 0
17	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	26	0	Обчислено: V; Режим = 0
18	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	27	0	Обчислено: То; Норма = 0.008
19	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	28	0	Обчислено: Тв; Норма = 0.2
20	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	1	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: Помилка у виразі або не знайдено таблицю: Таблиця (ЧТС, Тарифна сітка, КодПроф
№	Операція	Перехід	Рядок	Помилка №	Повідомлення
21	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	2	0	Обчислено: Ст_раб; Опр = 0
22	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	3	0	Обчислено: Ст_раб; Хар = 0
23	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	4	0	Розраховано: Расх_эл; Пер=0
24	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	5	0	Обчислено: Ст_ел; Пер = 0
25	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	6	0	Обчислено: Ст_ел; Опр = 0
26	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	7	0	Обчислено: Ст_эл; Хар = 0

27 010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	1	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: $\text{clng}(1000 * 0 / (3.14 * 0))$
28 010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	2	0	Обчислено: P; Режим = 0
29 010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	3	0	Обчислено: P; Режим = 60
30 010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	4	0	Обчислено: i; Режим = 60
31 010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	7	0	Обчислено: t; Режим = 1
32 010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	8	0	Обчислено: L; Режим = 0
33 010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	9	0	Обчислено: To; Норма = 0
34 010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	10	0	Обчислено: Tв; Норма = 3
35 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	1	0	Обчислено: D; Режим = 0
36 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	2	0	Обчислено: Storona; Режим = 90
37 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	8	0	Обчислено: PD; Режим = 0
38 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	9	0	Обчислено: DL; Хар = 0
39 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	11	0	Обчислено: t; Режим = 0
40 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	14	0	Обчислено: i; Режим = 1
41 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	16	0	Обчислено: W; Режим = 3
42 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	17	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: Помилка у виразі або не знайдено таблицю: Таблиця (S, Подача при підрізанні торця
43 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	18	0	чорнове точення, Trez >= 0 AND Material = [Typem\$;Хар] AND D >= [D]) Обчислено: S1; Режим = 0
44 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	21	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: Помилка у виразі або не знайдено таблицю: Таблиця (V, Швидкість різання прох_подр_раст різців, t >= ABS(0) AND s >= 0.4 AND GRUPM = [Typem\$;Хар] AND
NN Операція	Перехід	Рядок	Помилка №	Повідомлення
45 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	22	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: $\text{OKR}((1000 * 0) / (3.14 * (0)))$
46 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	23	0	Обчислено: N1; Режим = 0
47 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	26	0	Обчислено: V; Режим = 0
48 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	27	0	Обчислено: To; Норма = 0.008
49 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	28	0	Обчислено: Tв; Норма = 0.2
50 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	1	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: Помилка у виразі або не знайдено таблицю: Таблиця (ЧТС, Тарифна сітка, КодПроф
51 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	2	0	Обчислено: Ст_раб; Опр = 0
52 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	3	0	Обчислено: Ст_раб; Хар = 0
53 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	4	0	Розраховано: Расх_эл; Пер=0
54 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	5	0	Обчислено: Ст_ел; Пер = 0
55 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	6	0	Обчислено: Ст_ел; Опр = 0
56 015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	7	0	Обчислено: Ст_эл; Хар = 0
57 015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	1	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: $\text{clng}(1000 * 0 / (3.14 * 0))$

0))

58	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	2	0	Обчислено: Р; Режим = 0
59	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	3	0	Обчислено: Р; Режим = 60
60	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	4	0	Обчислено: і; Режим = 60
61	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	7	0	Обчислено: t; Режим = 1
62	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	8	0	Обчислено: L; Режим = 0
63	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	9	0	Обчислено: То; Норма = 0
64	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	10	0	Обчислено: Тв; Норма = 3
65	005 Заготівельна	001 Встановити пруток в	1	0	Обчислено: М; Режим = 7.34
66	005 Заготівельна	001 Встановити пруток в	4	0	Обчислено: Тв1_t; Режим = 0.123
67	005 Заготівельна	001 Встановити пруток в	5	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: Не знайдено
значення					
68	005 Заготівельна	001 Встановити пруток в	6	0	за умовою: М >= 7.34, у таблиці: Установка в лещатах кожної наступної деталі понад одну_18909
69	005 Заготівельна	001 Встановити пруток в	8	0	Обчислено: КD; Режим = 1
70	005 Заготівельна	001 Встановити пруток в	10	0	Обчислено: Тв1; Режим = 0.123

NN Операція**Перехід****РядокПомилка № Повідомлення**

71	005 Заготівельна	001 Встановити пруток в	11	0	Обчислено: Тв; Режим = 0.246
72	005 Заготівельна	001 Встановити пруток в	12	0	Обчислено: Тв; Норма = 0.623
73	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	1	0	Обчислено: TipInstr; Пер="
74	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	2	0	Обчислено: TipInstr; Пер='Коло вулканітовий'
75	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	12	0	Обчислено: Dinstr; Пер = 0
76	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	13	0	Обчислено: Dinstr; Пер = 300
77	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	19	0	Обчислено: Dzag; Пер = 120
78	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	20	0	Розраховано: Lzag; Пер=158
79	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	21	0	Обчислено: Zinstr; Пер = 0
80	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	26	0	Розраховано: Sm; Пер=0
81	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	29	0	Розраховано: Sm; Пер=0
82	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	31	0	Обчислено: Хто; Пер = 1
83	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	32	0	Обчислено: NMM; Хар = 0
84	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	33	0	Обчислено: NMM; Хар = 2
85	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	38	0	Обчислено: MM; Хар = "
86	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	39	0	Обчислено: MM; Хар = '45'
87	005 Заготівельна	002 Відрізати заготівлю	42	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: Не знайдено

значення

за умовою: MARKA = '45' AND Hbmin <= val('HB 179...229') AND Hbmax >= val('HB 179 ... 229 '), в таблиці: Коефіцієнти на відрізок заготовок ПІЛАБР

Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: Не знайдено

значення

за умовою: Rinstr = 'Коло вулканітове' AND DPILmin<=300 AND DPILmax>=300

AND

Dzmin<=120 AND Dzmax>=120 AND

Stm<=0,

у таблиці: Час відрізання заготовки ПІЛАБР

89	005 Заготівельна	004 Контроль лінійного розміру.	1	0	Обчислено: TipParam; Пер="
90	005 Заготівельна	004 Контроль лінійного розміру.	2	0	Обчислено: А; Опр = 0
91	005 Заготівельна	004 Контроль лінійного розміру.	3	0	Обчислено: А; Опр = 1
92	005 Заготівельна	004 Контроль лінійного розміру.	4	0	Обчислено: TipParam; Пер='діаметр'
93	005 Заготівельна	004 Контроль лінійного розміру.	5	0	Розраховано: Gі; Пер=69.95
94	005 Заготівельна	004 Контроль лінійного розміру.	6	0	Обчислено: То; Норма = 0.046
95	010 Токарна	001 Встановити заготівлю в трикулачковий патрон, закріпити	1	0	Обчислено: Dobr; Пер = 0
96	010 Токарна	001 Встановити заготівлю в	2	0	Обчислено: Lobr; Пер = 0

97	010 Токарна	трикулачковий патрон, закріпити 001 Встановити заготівлю в трикулачковий патрон, закріпити	3	0	Обчислено: Тв; Норма = 0
NN Операція					
98	010 Токарна	Перехід 001 Встановити заготівлю в трикулачковий патрон, закріпити	5	0	РядокПомилка № Повідомлення Обчислено: Dobr; Пер = 120
99	010 Токарна	001 Встановити заготівлю в трикулачковий патрон, закріпити	8	0	Обчислено: Lobr; Пер = 158
100	010 Токарна	001 Встановити заготівлю в трикулачковий патрон, закріпити	10	0	Обчислено: А; Опр = 6
101	010 Токарна	001 Встановити заготівлю в трикулачковий патрон, закріпити	12	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: Не знайдено
значення		закріпити			за умовою: SPOS='Патрон 3-х кулачковий' AND Dmin <= 120 AND Dmax >= 120 AND Lmin <= 158 AND Lmax >=
158,					
у таблиці: Допоміжний час на установку ТОКРІВ					
102	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <А> мм за	1	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: clng(1000 * 0/(3.14 *
0))					
103	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <А> мм за	2	0	Обчислено: То; Норма = 0.0075
104	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <А> мм за	3	0	Обчислено: Р; Режим = 0
105	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <А> мм за	4	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: 0/0
106	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <А> мм за	7	0	Обчислено: То; Норма = 0.0075
107	010 Токарна	002 Точити деталь начорно з припуском <А> мм за	8	0	Обчислено: Тв; Норма = 3
108	010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	1	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: clng(1000 * 0/(3.14 *
0))					
109	010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	2	0	Обчислено: Р; Режим = 0
110	010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	3	0	Обчислено: Р; Режим = 60
111	010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	4	0	Обчислено: і; Режим = 60
112	010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	7	0	Обчислено: т; Режим = 1
113	010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	8	0	Обчислено: L; Режим = 0
114	010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	9	0	Обчислено: То; Норма = 0
115	010 Токарна	003 Точити деталь за контуром начисто.	10	0	Обчислено: Тв; Норма = 3
116	010 Токарна	005 Б. Перевстановити та закріпити	1	0	Обчислено: Dobr; Пер = 0
117	010 Токарна	005 Б. Перевстановити та закріпити	2	0	Обчислено: Lobr; Пер = 0
118	010 Токарна	005 Б. Перевстановити та закріпити	3	0	Обчислено: Тв; Норма = 0
119	010 Токарна	005 Б. Перевстановити та закріпити	5	0	Обчислено: Dobr; Пер = 120
120	010 Токарна	005 Б. Перевстановити та закріпити	8	0	Обчислено: Lobr; Пер = 158
121	010 Токарна	005 Б. Перевстановити та закріпити	10	0	Обчислено: А; Опр = 6
NN Операція					
122	010 Токарна	Перехід 005 Б. Перевстановити та закріпити	12	0	РядокПомилка № Повідомлення Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: Не знайдено
значення					за умовою: SPOS='Патрон 3-х кулачковий' AND Dmin <= 120 AND Dmax >= 120 AND Lmin <= 158 AND Lmax >=
158,					
у таблиці: Допоміжний час на установку ТОКРІВ					
123	015 Токарна	001 Точити деталь начорно з	1	0	Помилка в Умові: Помилка у правій

0))		припуском <A> мм за			частини обчислення: $\text{clng}(1000 * 0 / (3.14 * 0))$
124	015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	2	0	Обчислено: То; Норма = 0.0075
125	015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	3	0	Обчислено: Р; Режим = 0
126	015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	4	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: 0/0
127	015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	7	0	Обчислено: То; Норма = 0.0075
128	015 Токарна	001 Точити деталь начорно з припуском <A> мм за	8	0	Обчислено: Тв; Норма = 3
129	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	1	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: $\text{clng}(1000 * 0 / (3.14 * 0))$
0))					
130	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	2	0	Обчислено: Р; Режим = 0
131	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	3	0	Обчислено: Р; Режим = 60
132	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	4	0	Обчислено: і; Режим = 60
133	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	7	0	Обчислено: t; Режим = 1
134	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	8	0	Обчислено: L; Режим = 0
135	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	9	0	Обчислено: То; Норма = 0
136	015 Токарна	002 Точити деталь за контуром начисто.	10	0	Обчислено: Тв; Норма = 3
137	015 Токарна	004 Зняти деталь після обробки	1	0	Обчислено: Dobr; Пер = 0
138	015 Токарна	004 Зняти деталь після обробки	2	0	Обчислено: Lobr; Пер = 0
139	015 Токарна	004 Зняти деталь після обробки	3	0	Обчислено: Тв; Норма = 0
140	015 Токарна	004 Зняти деталь після обробки	5	0	Обчислено: Dobr; Пер = 120
141	015 Токарна	004 Зняти деталь після обробки	8	0	Обчислено: Lobr; Пер = 158
142	015 Токарна	004 Зняти деталь після обробки	10	0	Обчислено: А; Опр = 6
143	015 Токарна	004 Зняти деталь після обробки	12	0	Помилка в Умові: Помилка у правій частини обчислення: Не знайдено
значення					за умовою: SPOS='Патрон 3-х кулачковий' AND Dmin <= 120 AND Dmax >= 120 AND Lmin <= 158 AND Lmax >= 158,
158,					у таблиці: Допоміжний час на установку ТОКРІВ
144	020 Контрольна	001 Контролювати всі розміри відповідно до креслення.	1	0	Обчислено: TipParam;Пер="
NN Операція		Перехід	РядокПомилка №		Повідомлення
145	020 Контрольна	001 Контролювати всі розміри відповідно до креслення.	2	0	Обчислено: А; Опр = 0
146	020 Контрольна	001 Контролювати всі розміри відповідно до креслення.	3	0	Обчислено: А; Опр = 1
147	020 Контрольна	001 Контролювати всі розміри відповідно до креслення.	4	0	Обчислено: TipParam;Пер='діаметр'
148	020 Контрольна	001 Контролювати всі розміри відповідно до креслення.	5	0	Розраховано: Gl;Пер=69.5
149	020 Контрольна	001 Контролювати всі розміри відповідно до креслення.	6	0	Обчислено: То; Норма = 0.046
150			0	0	Відсутня обробка елемента:

Додаток В

Результати розрахунків режимів різання у програмному забезпеченні

CoroGuide

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО РЕЖИМАМ РІЗАННЯ

Точення форма пластини: C, D, S, T, V, W

CNMM 16 06 12-PR 4015

МАТЕРІАЛ ДЕТАЛІ

Національний стандарт	ISO
Позначення	Ст45
СМС = 05.11 Нелегована сталь: Незагартована	C = 0.25 - 0.55%
Твердість	230 HB:

ІНСТРУМЕНТ

Кут у плані	95°
-------------	-----

ПЛАСТИНА

Сплав пластини	4015
Радіус пластини (re):	1,2 мм

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО РЕЖИМАМ РІЗАННЯ

Швидкість різання (vc)	235 m/min
Глибина різання (ap):	4 мм
Подання (fn):	0,40 mm/r

ТРАЄКТОРІЯ ІНСТРУМЕНТА

Оброблювані діаметри (Dm1, Dm2):	120-10 мм
Осьова глибина різання (lz):	0 mm

ОБМЕЖЕННЯ ОПЕРАЦІЯ/ВЕРСТАТ

Максимальна кількість обертів шпинделя (n_max):	10000 об/хв
---	-------------

ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТУ

Швидкість різання (vc)	235 m/min
Оберти шпинделя (n)	623 - 7480 об/хв
Потужність (Pc):	15 kW

Продуктивність

Швидкість знімання металу (Q):	376 cm ³ /min
Час на прохід (Tc):	0,12 min
Стійкість:	15,0 min
Кількість проходів (n _{ap}):	126

Шорсткість поверхні

Макс. Висота профілю (Rt):	16,7 μm
Шорсткість (Ra):	3,62 μm
Середньоквадратична шорсткість (RMS):	3,95 μm

ДОДАТОК Е

Аналіз напружень шпіндельного вузла у програмі COSMOS

Не слід засновувати ваші проектні розв'язки винятково на даних, представлених у цьому звіті. Використовуйте цю інформацію разом з експериментальними даними й практичним досвідом. Випробування в умовах експлуатації обов'язкові для твердження остаточного проекту. Cosmosworks допомагає зменшити час просування на ринок шляхом зниження, але не скасування випробувань в умовах експлуатації.

Матеріали

№.	Ім'я деталі	Матеріал	Маса	Обсяг
1	Втулка-1	Легована сталь	0.851884 kg	0.000110634 m3
2	Гайка регулювальна-1	Легована сталь	0.981351 kg	0.000127448 m3
3	ПІДШИПНИК ДЕРЖСТАНДАРТ 831-75-3	Легована сталь	1.24589 kg	0.000161804 m3
4	ПІДШИПНИК ДЕРЖСТАНДАРТ 831-75-4	Легована сталь	0 kg	0 m3
5	ПІДШИПНИК ДЕРЖСТАНДАРТ 831-75-5	Легована сталь	1.24589 kg	0.000161804 m3
6	ПІДШИПНИК ДЕРЖСТАНДАРТ 831-75-6	Легована сталь	1.24589 kg	0.000161804 m3
7	ПІДШИПНИК ДЕРЖСТАНДАРТ 831-75-7	Легована сталь	1.24589 kg	0.000161804 m3
8	Передній торець-1	Легована сталь	14.5165 kg	0.00188526 m3
9	Розпір для підшипників-1	Легована сталь	7.86184 kg	0.00102102 m3
10	Розпір-1	Легована сталь	1.1987 kg	0.000155676 m3
11	Розпір-2	Легована сталь	1.1987 kg	0.000155676 m3
12	Труба-1	Легована сталь	15.767 kg	0.00204767 m3
13	Шпіндель-1	Легована сталь	9.62163 kg	0.00124956 m3

Інформація про навантаження й обмеження

Обмеження				
Обмеження-4	<ПІДШИПНИК ДЕРЖСТАНДАРТ 831-75-7, ПІДШИПНИК ДЕРЖСТАНДАРТ 831- 75-5, ПІДШИПНИК ДЕРЖСТАНДАРТ	вкл	5	Грані в зафіксованому стані.

831-75-8, ДЕРЖСТАНДАРТ ПІДШИПНИК ДЕРЖСТАНДАРТ 831-75-3, ПІДШИПНИК ДЕРЖСТАНДАРТ 831-75-6>	ПІДШИПНИК 831-75-3, ПІДШИПНИК ДЕРЖСТАНДАРТ 831-75-6>
Опис:	

Навантаження

Сила-1 <Передній торець-1>	вкл 1 Грані додаток нормальної сили 1056 N використовуючи рівномірний розподіл	Послідовне навантаження
Опис:		
Сила-2 <Шпindel-1>	вкл 1 Грані застосування обертаючого моменту 1056 N-m щодо обраної вихідної крапки Вісь1 використовуючи рівномірний розподіл	Послідовне навантаження
Опис:		

Інформація про сітку

Тип сітки:	Сітка на твердому тілі
Використовувана розбивка:	Стандартний
Автоматичне ущільнення сітки:	Викл
Згладжування поверхні:	Викл
Перевірка Якобіана:	4 Points
Розмір елемента:	8 mm
Допуск:	0.4 mm
Якість:	Низьке
Кількість елементів:	154315
Кількість вузлів:	35889
Час для завершення сітки (годинник;хвилини;секунди):	00:01:21
Ім'я комп'ютера:	МАКС-ПК

Інформація про вирішальну програму

Якість:	Низьке
Тип вирішальної програми:	Авто
Параметр:	Включити теплові ефекти
Термальний параметр:	Вихідна температура
Термальний параметр:	Довідкова температура при нульовій деформації: 298 Kelvin
Параметр зазору/контакту:	Включити тертя з коефіцієнтом тертя: 0.05

Керування сіткою

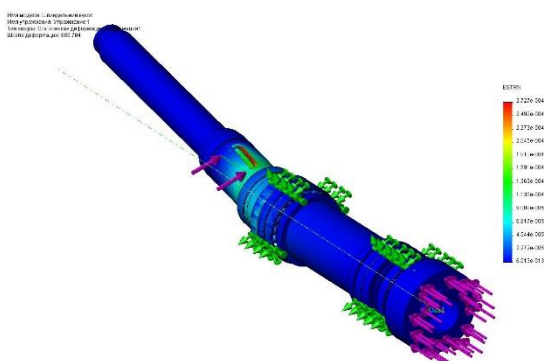
Control-1 торець-1>	<Передній	Керування сіткою на 1 Грані з вихідним елементом 6 mm, 3 шарами й нормою 1.5.
---	---------------------	---

Результати за замовчуванням

Ім'я	Тип	Мін	Місце	Макс	Місце
Напруга1	VON: Напруга Von Mises	0.0810459 N/m2 Вузол: 32851	(-31.76 mm, 21.8288 mm, 536.364 mm)	6.37624e+007 N/m2 Вузол: 33642	(-49.0459 mm, 96.4734 mm, -11.8671 mm)
Переміщення1	URES:Результуюче переміщення	0 m Вузол: 1635	(-81.5459 mm, 113.686 mm, -553.667 mm)	0.000177127 m Вузол: 27182	(-44.0459 mm, 78.7345 mm, 575.133 mm)
Деформація1	ESTRN: Еквівалентна деформація	6.01255e-013 Елемент: 94779	(-23.3054 mm, 28.1019 mm, 532.233 mm)	0.000272664 Елемент: 143467	(-50.6961 mm, 94.3135 mm, -31.1318 mm)

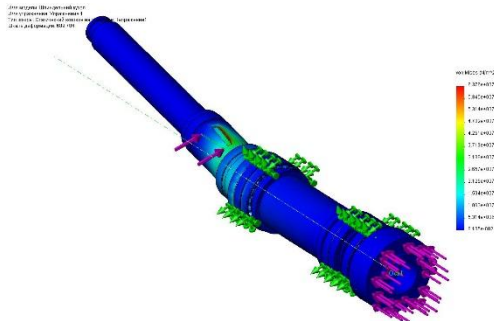
Шпіндельний вузол-вправа напруга-напруга1

JPEG



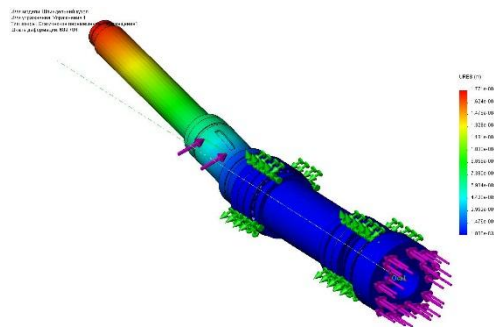
Шпиндельний вузол-вправа переміщення-переміщення1

JPEG



Шпиндельний вузол-вправа деформація-деформація1

JPEG



Ім'я властивості	Значення	Одиниці виміру	Тип значення
Модуль пружності	2.1e+011	N/m2	Постійний
Коефіцієнт Пуассона	0.28	NA	Постійний
Модуль зрушення	7.9e+010	N/m2	Постійний
Масова щільність	7700	kg/m3	Постійний
Межа міцності при розтяганні	7.2383e+008	N/m2	Постійний
Границя текучості	6.2042e+008	N/m2	Постійний
Коефіцієнт теплового розширення	1.3e-005	/Kelvin	Постійний
Теплопровідність	50	W/(m.K)	Постійний
Питома теплоємність	460	J/(kg.K)	Постійний

ДОДАТОК Е1

Аналіз напружень деталі «Вал» у програмі COSMOS

Не слід засновувати ваші проектні розв'язки винятково на даних, представлених у цьому звіті. Використовуйте цю інформацію разом з експериментальними даними й практичним досвідом. Випробування в умовах експлуатації обов'язкові для затвердження остаточного проекту. Cosmosworks допомагає зменшити час просування на ринок шляхом зниження, але не скасування випробувань в умовах експлуатації.

Матеріали

No.	Ім'я деталі	Матеріал	Маса	Обсяг
1	Val	<u>1023 Carbon Steel Sheet (SS)</u>	5.83226 kg	0.000742207 m3

Інформація про навантаження й обмеження

Обмеження		
Restraint-1 <Вал>	вкл 2 Грані в зафіксованому стані.	
Опис:		
Навантаження		
Force-1 <Вал>	вкл 1 Грані додаток нормальної чинності 1760 N використовуючи рівномірний розподіл	Послідовне навантаження
Опис:		
Force-2 <Вал>	вкл 1 Грані застосування обертаючого моменту 1056 N-m щодо обраної вихідної крапки Вісь1 використовуючи рівномірний розподіл	Послідовне навантаження
Опис:		
Інформація про сітку		
Тип сітки:	Сітка на твердім тілі	
Використовувана розбивка:	Стандартний	
Автоматичне ущільнення сітки:	Вykl	
Згладжування поверхні:	Вкл	

Перевірка Якобіана:	4 Points
Розмір елемента:	9.0562 mm
Допуск:	0.45281 mm
Якість:	Висока
Кількість елементів:	8298
Кількість вузлів:	12785
Час для завершення сітки (годинник;хвилини;секунди):	00:00:17
Ім'я комп'ютера:	МАКС-ПК
Інформація про вирішальну програму	
Якість:	Висока
Тип вирішальної програми:	Ffeplus
Параметр:	Включити теплові ефекти
Термальний параметр:	Вихідна температура
Термальний параметр:	Довідкова температура при нульовій деформації: 298 Kelvin

Контакт

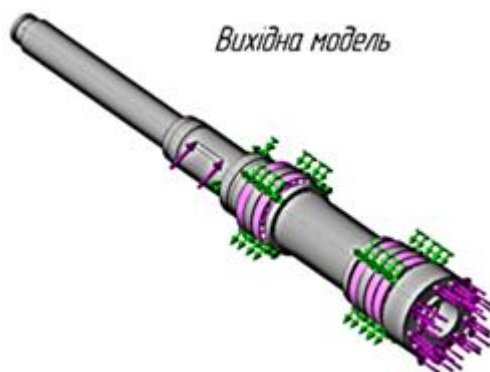
Стан контакту: Дотичні грані - Зв'язані

Результати

Ім'я	Тип	Мін	Місце	Макс	Місце
Stress1	VON: Напруга Von Mises	4.48563 N/m2 Вузол: 10857	(34.975 mm, -3.05761e-006 mm, 114.3 mm)	6.65441e+007 N/m2 Вузол: 12238	(23.8649 mm, -23.8649 mm, -1 mm)
Displacement1	URES:Результуюче переміщення	0 m Вузол: 184	(17.4875 mm, -30.2892 mm, 33.8 mm)	8.12841e-006 m Вузол: 85	(8.99396 mm, 33.5659 mm, -28.8 mm)
Strain1	ESTRN: Еквівалентна деформація	1.31795e-009 Елемент: 7495	(0.796708 mm, 0.324304 mm, 114.308 mm)	0.000211362 Елемент: 6107	(26.5399 mm, -18.8621 mm, 0.10693 mm)

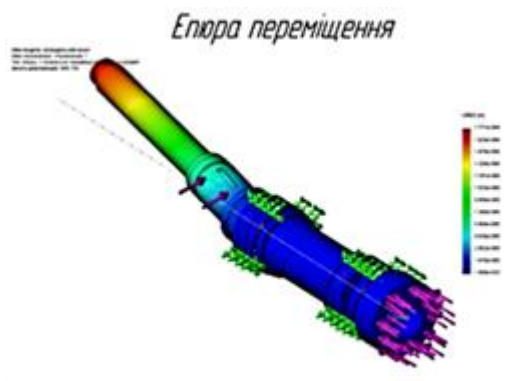
Вал-Study напруга-stress1

JPEG



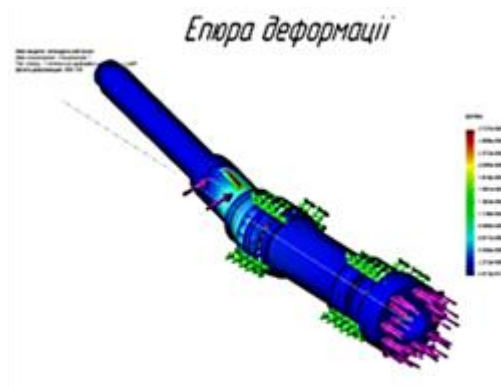
Вал-Study переміщення-displacement1

JPEG



Вал-Study деформація-strain1

JPEG



Додаток

Ім'я матеріалу:	1023 Carbon Steel Sheet (SS)
Опис:	
Джерело матеріалу:	Бібліотечні файли
Ім'я бібліотеки матеріалів:	cosmos materials
Тип моделі матеріалу:	Лінійний Пружний Ізотропний

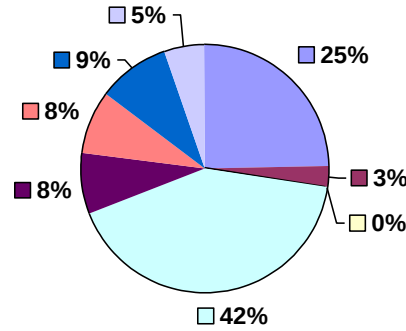
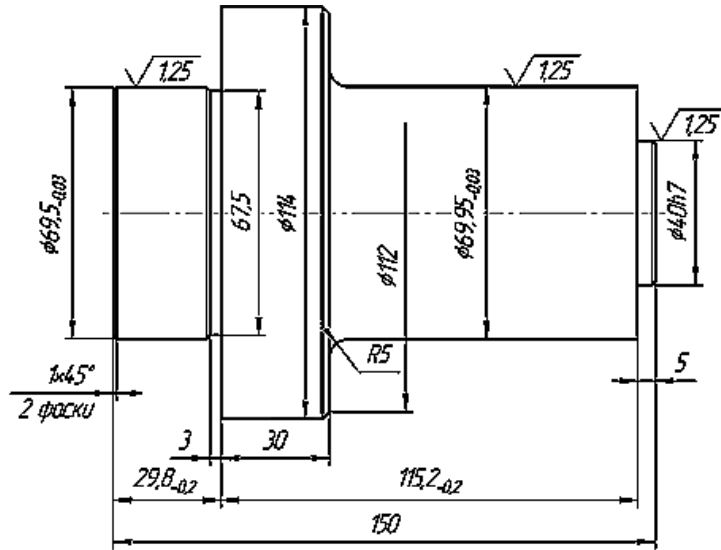
Ім'я властивості	Значення	Одиниці виміру	Тип значення
Модуль пружності	2.05e+011	N/m ²	Постійний
Коефіцієнт Пуассона	0.29	NA	Постійний
Модуль зрушення	8e+010	N/m ²	Постійний
Масова щільність	7858	kg/m ³	Постійний
Межа міцності при розтяганні	4.25e+008	N/m ²	Постійний
Границя текучості	2.8269e+008	N/m ²	Постійний
Коефіцієнт теплового розширення	1.2e-005	/Kelvin	Постійний
Теплопровідність	52	W/(m.K)	Постійний
Питома теплоємність	486	J/(kg.K)	Постійний
Коефіцієнт підтвердження (0,0-1,0; 0,0=ізотропний; 1,0=кінематика)	0.85	NA	Постійний

ДОДАТОК Ж

(Презентація)

Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ ІРТ180 ПМФ4

Баланс робочого часу й втрат: а) - для ГПС; б) - для універсального встаткування з ручним керуванням.

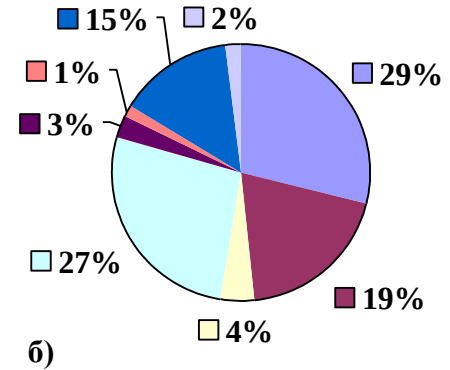


а)

Вихідні і святкові дні

Корисний час

Організаційні простой



б)

Третя зміна

Обідня перерва

Обслуговування робочого місця, профілактика, наладка

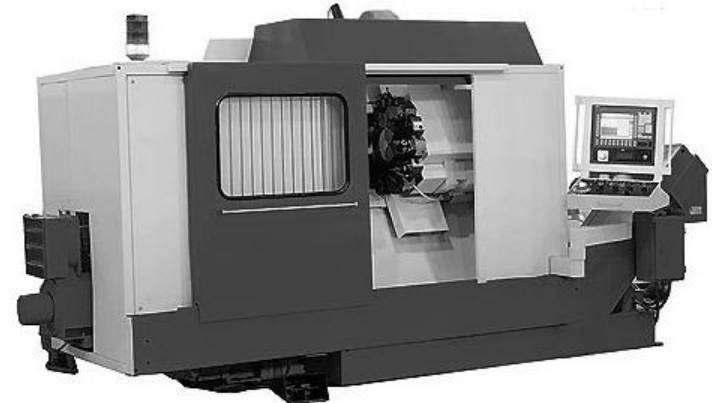
Плановий ремонт

Відмови

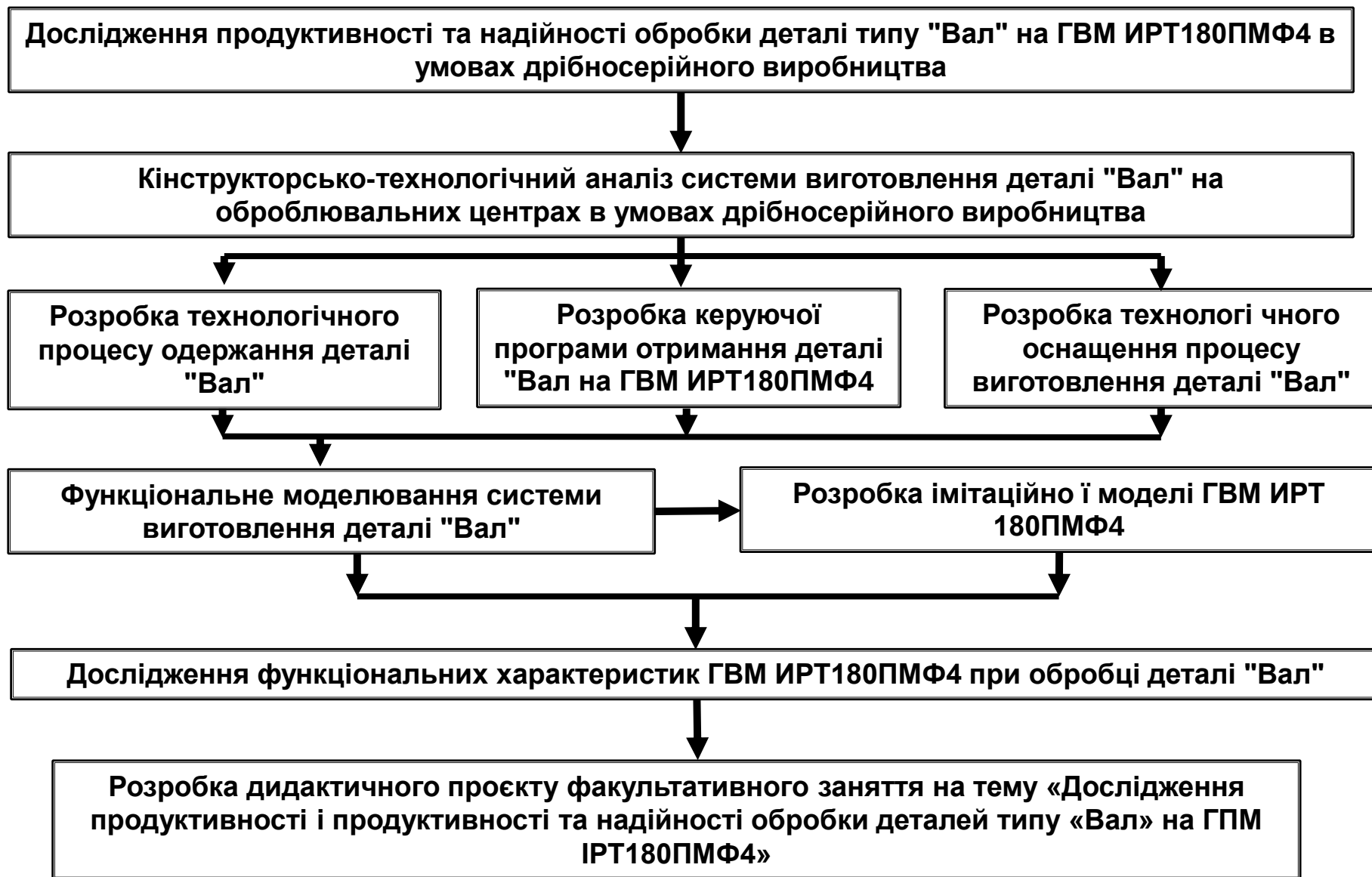
Загальна таблиця поверхонь деталі

№ п/п	Номинальний розмір	Шорсткість	Точність	Співвідношення	Уніфікація
1	150js14	Rz20	14	0	0
2	1x45°	Rz40	14	1	1
3	Ø69,6h7	Ra1,25	7	0	0
4	Ø67,5h14	Rz20	14	0	0
5	29,8h12	Rz20	12	1	0
6	Ø114h14	Rz20	14	0	1
7	2x45°	Rz40	14	1	1
8	R5	Rz20	14	1	1
9	Ø69,95h7	Ra1,25	7	0	0
10	115,2h12	Rz20	12	0	0
11	Ø40h7	Ra1,25	7	0	0
12	1x45°	Rz40	14	1	1
13	5js14	Rz20	14	1	0

Спеціальний токарно-багатоцільовий патронний напівавтомат ІРТ180ПМФ4



ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ



Ціль дослідження

Підвищення ефективності виготовлення деталей типу «Вал» у дрібносерійному виробництві шляхом розроблення та дослідження імітаційної моделі обробки на гнучкому виробничому модулі IPT180ПМФ4.

Завдання дослідження

Провести конструкторсько-технологічний аналіз системи виготовлення деталі «Вал» у умовах дрібносерійного виробництва.

Розробити груповий технологічний процес одержання деталі «Вал».

Створити керуючу програму для обробки деталі «Вал» на вертикальному оброблювальному центрі IPT180ПМФ4.

Розробити необхідне технологічне оснащення.

Виконати розрахунок режимів різання з використанням програмного пакета CoroGuide.

Побудувати функціональну 3D-модель ГВМ IPT180ПМФ4 у SolidWorks та створити імітаційну модель обробки у 3D_GPM.

Провести дослідження продуктивності та надійності роботи ГВМ IPT180ПМФ4, а також аналіз технологічних характеристик у системі COSMOS Works.

Об'єкт дослідження

Процес виготовлення деталей типу «Вал» у гнучкому виробничому модулі IPT180ПМФ4.

Предмет дослідження

Технологічні закономірності, параметри, моделі та фактори, що визначають продуктивність, надійність і якість обробки деталей типу «Вал» у гнучкій автоматизованій системі.

Наукова новизна

- Удосконалено підхід до проектування технологічних процесів виготовлення деталей типу «Вал» для умов дрібносерійного виробництва шляхом інтеграції 3D-моделювання, імітаційного моделювання та автоматизованої розробки режимів різання.
- Отримано імітаційну модель роботи ГВМ IPT180ПМФ4, що дозволяє оцінювати продуктивність, виявляти «вузькі місця» та оптимізувати навантаження обладнання.
- Показано можливість підвищення ефективності виготовлення деталей шляхом застосування гнучкого виробничого модуля з мінімізацією переналагоджувань та автоматизацією допоміжних операцій.

Методи дослідження

- Конструкторсько-технологічний аналіз виробничих систем.
- Методи групової технології для розробки технологічного процесу.
- CAD-моделювання (SolidWorks) для створення 3D-моделі ГВМ IPT180ПМФ4.
- Імітаційне моделювання процесів обробки (3D GPM).
- CAE-аналіз технологічних характеристик і жорсткості системи (COSMOS Works).
- Розрахунок режимів різання за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (CoroGuide).
- Методи системного аналізу для оцінки продуктивності та надійності ГВМ

ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД І ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГВМ ИРТ180ПМФ4

4

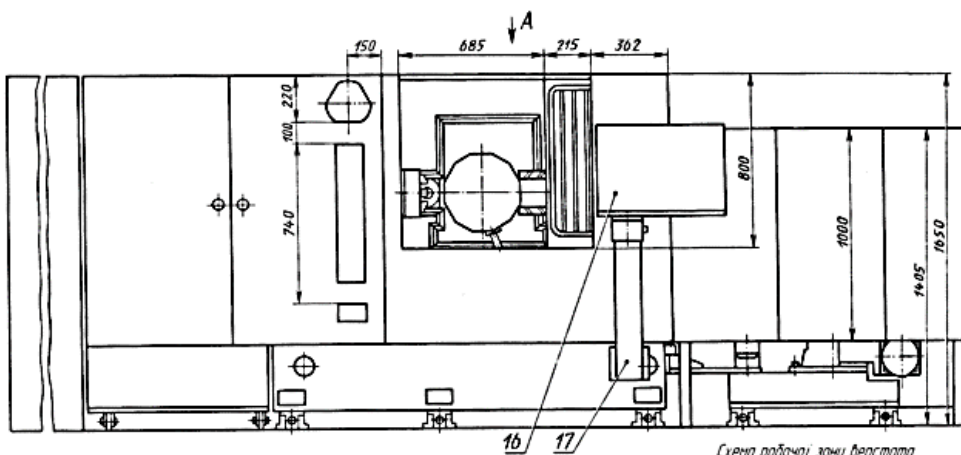
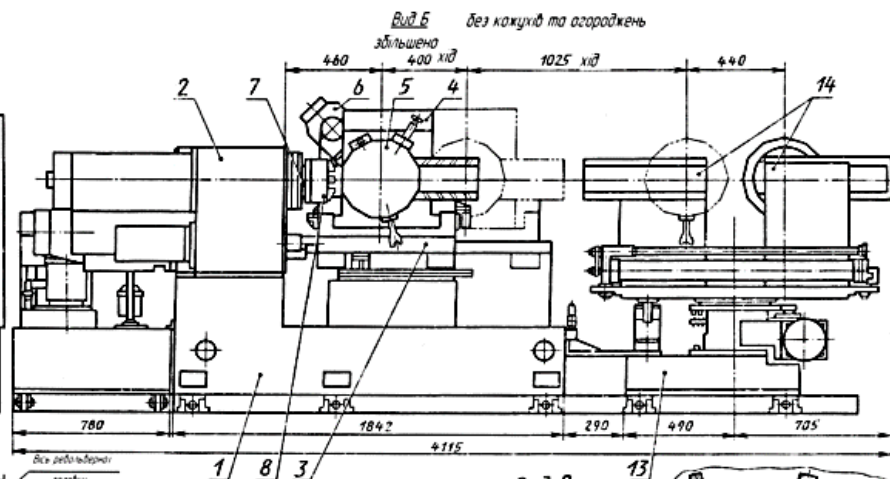
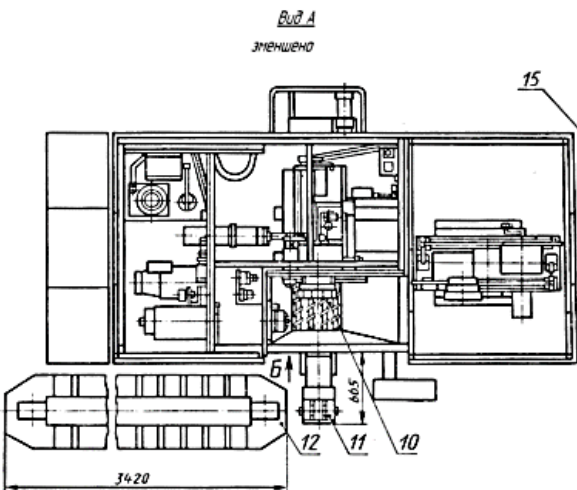


Схема робочої зони верстата



Вид В

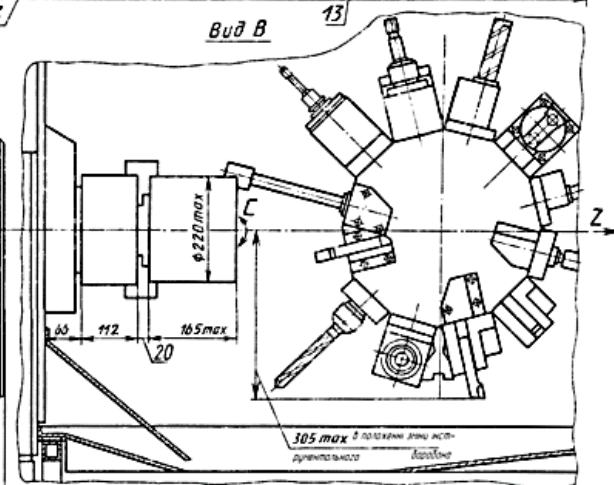


Технічна характеристика

- 1 Найбільші розміри оброблюваної деталі, мм
діаметр..... 200
довжина..... 165
- 2 Найбільший діаметр прутка, який проходить через
отвір і шпиндель, мм..... 50
- 3 Конус шпинделя по ГОСТ 12595 - 72..... 1-6М
- 4 Число індексів позицій револьверної
головки, шт..... 12
- 5 Число інструментальних гнізд, шт..... 2х12
- 6 Число кірочок фікс. координат
(у тому числі одночасні), шт..... 3(2)

- 7 Найбільше переміщення рихлих вузлів, мм
показуна (поперекіде - X)..... 245
сачей (позадікне - Z)..... 40
- 8 Дискретність переміщення
лінійних (X та Z), мм..... 0,001
китових (Y)..... 0,001
- 9 Точність позионування, мкм
по X..... 16
по Z..... 20
- 10 Частота обертання шпинделя, об/хв..... 20...4000

- 11 Робочі швидкості
по X, мм/хв..... 1...5000
по C, об/хв..... 0,01...10
- 12 Установочні переміщення
по X, мм/хв..... 10
по Z, мм/хв..... 15
по C, об/хв..... 10
- 13 Частота обертання приводного вала
інструмента, об/хв..... 40...4000
- 14 Найбільше зусилля різання по X та Z, кН..... 4, 6



- 15 Найбільший крутний момент на шпинделі, Нм..... 630
- 16 Потужність привода головного руху, кВт..... 18,5...25
- 17 Потужність приводного вала інструмента, кВт..... 3,5...5,5
- 18 Габаритні розміри верстата
(довжина x ширина x висота), мм..... 2751x2170x1650
- 19 Маса верстата (із додатковим
обладнанням), кг..... 3000

ВИБІР ІНСТРУМЕНТУ ТА РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РІЗАННЯ У ПРОГРАМІ COROGUIDE

6

Вибір виду обробки

Поиск по области применения

Выберите вид обработки

Область работ инструмента

Поиск по области применения

Выберите Токарные

Область работы

Вибір операції

Поиск по области применения

Выберите Токарные / Наружная обработка / Прямая / Поверхностная токарная

Выберите операцию

Вибір системи кріплення

Поиск по области применения

Выберите Токарные / Наружная обработка / Прямая / Поверхностная токарная / Поверхностная токарная / Поверхностная токарная

Выберите систему крепления

Вибір типу кріплення різцевої головки

Поиск по области применения

Выберите Токарные / Наружная обработка / Прямая / Поверхностная токарная / Поверхностная токарная / Поверхностная токарная

Выберите тип установки

Вибір різцевої державки

Поиск по области применения

Выберите Токарные / Наружная обработка / Прямая / Поверхностная токарная / Поверхностная токарная / Поверхностная токарная

Выберите державку

Вибір ріжучої пластини

Поиск по области применения

Выберите Токарные / Наружная обработка / Прямая / Поверхностная токарная / Поверхностная токарная / Поверхностная токарная

Выберите пластину

РЕЗУЛЬТАТЫ РОЗРАХУНКУ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ

Материал детали (выберите Стандарт или СМС)

Национальный стандарт: GOST

Обозначение: 45

Свойства материала: СМС No: 01.2, Твердость: 230 HB

Сплав/Геометрия пластины: 4015, Conventional

Параметры (выберите либо fn, feed или hm)

Угол в плане (K_r): 93°

Радиус пластины (r_e): 0.4 mm

Подача (f_n): 0.20 mm/rev

Максимальная толщина стружки (f_{max}): 0.20 mm

Средняя толщина стружки (f_{avg}): 0.15 mm

Глубина резания (a_p): 0.75 mm

Обрабатываемые диаметры (D_{min}, D_{max}): 71.45, 69.95 mm

Осевая глубина резания (z): 80.2 mm

Макс. обороты: 10000 об/мин

Стойкость: 15.0 min

Количество проходов (par): 45

Рассчитать

Продукт: CS-DVJNR-35065-16

Выбор типа информации

Результат

Скорость резания (vc): 270 m/min

Обороты шпинделя (n): 1203-1229 об/мин

Скорость съема металла (Q): 40 cm³/min

Время на проход (Tc): 0.33 min

Мощность (Pc): 2.1 kW

Макс. Высота профиля (R_h): 12.5 μm

Шероховатость (Ra): 2.61 μm

Среднеквадратическая шероховатость (RMS): 2.85 μm

Інформація про різцеву державку

Продукт: VMNG 16 04 04-QM 4015

Выбор типа информации

Результат

Скорость резания (vc): 270 m/min

Обороты шпинделя (n): 1203-1229 об/мин

Скорость съема металла (Q): 40 cm³/min

Время на проход (Tc): 0.33 min

Мощность (Pc): 2.1 kW

Макс. Высота профиля (R_h): 12.5 μm

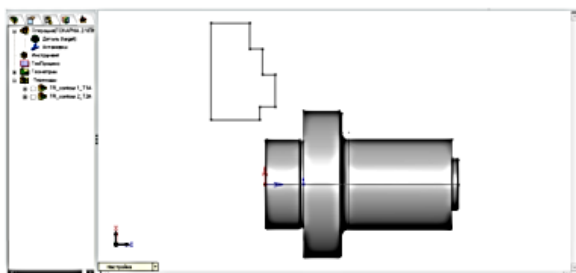
Шероховатость (Ra): 2.61 μm

Среднеквадратическая шероховатость (RMS): 2.85 μm

Інформація про ріжучу пластину

РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ "ВАЛ"

Модель пристосування і оброблюваної деталі



Панель вихідних даних



Керуюча програма переходу:

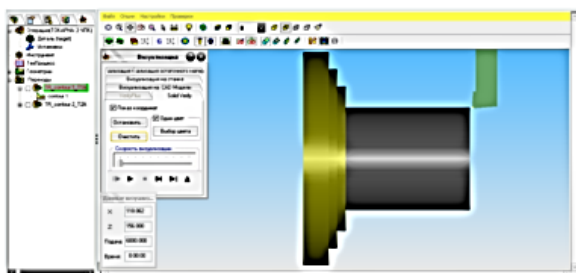
```
%
11 (TR-CONTOUR 1-TIA TAPI
/G28 U0 W0
M01
N01 ( T01 )
G28 U0
T0101
G0 X150 Z200
G96 S235 M3
G0 X124 Z156 M8
(-----)
( TR-CONTOUR 1-TIA - TURN )
(-----)
G99 G96
G0 X124 Z156
X118.062
G1 Z58.55 F0.4
X118.462 Z58.75
G0 Z58.55
X116.124
G1 Z58.55
X116.524 Z58.75
G0 Z58.55
X114.186
G1 Z58.788
X114.586 Z58.988
G0 Z58.55
X112.248
G1 Z59.757
X112.648 Z59.957
G0 Z58.55
X110.31
G1 Z60.535
X110.71 Z60.735
G0 Z58.55
X108.372
G1 Z60.55
X108.772 Z60.75
G0 Z58.55
X106.434
G1 Z60.55
X106.834 Z60.75
G0 Z58.55
X104.496
G1 Z60.55
X104.896 Z60.75
G0 Z58.55
X102.558
G1 Z60.55
X102.958 Z60.75
G0 Z58.55
X100.62
G1 Z60.55
X101.02 Z60.75
G0 Z58.55
X98.682
G1 Z60.55
X99.082 Z60.75
G0 Z58.55
X96.744
G1 Z60.55
X97.144 Z60.75
G0 Z58.55
X94.806
G1 Z60.55
X95.206 Z60.75
G0 Z58.55
X92.868
G1 Z60.55
X93.268 Z60.75

G0 Z156
X90.93
G1 Z60.55
X91.33 Z60.75
G0 Z156
X88.992
G1 Z60.55
X89.392 Z60.75
G0 Z156
X87.054
G1 Z60.55
X87.454 Z60.75
G0 Z156
X85.116
G1 Z60.55
X85.516 Z60.75
G0 Z156
X83.178
G1 Z60.55
X83.578 Z60.75
G0 Z156
X81.24
G1 Z60.55
X81.64 Z60.75
G0 Z156
X79.302
G1 Z60.563
X79.702 Z60.763
G0 Z156
X77.364
G1 Z60.754
X77.764 Z60.954
G0 Z156
X75.426
G1 Z61.211
X75.826 Z61.411
G0 Z156
X73.488
G1 Z62.067
X73.888 Z62.267
G0 Z156
X71.55
G1 Z64.709
X71.95 Z64.909
G0 Z156
X69.554
G1 Z145.75
X69.954 Z145.95
G0 Z156
X67.556
G1 Z145.75
X67.956 Z145.95
G0 Z156
X65.56
G1 Z145.75
X65.96 Z145.95
G0 Z156
X63.564
G1 Z145.75
X63.964 Z145.95
G0 Z156
X61.566
G1 Z145.75
X61.966 Z145.95
G0 Z156
X59.57
G1 Z145.75
X59.97 Z145.95
G0 Z156
X57.574

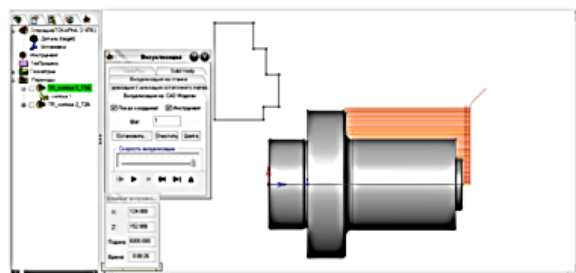
G1 Z145.75
X57.974 Z145.95
G0 Z156
G1 Z145.75
X55.576
G1 Z145.75
X55.976 Z145.95
G0 Z156
X53.58
G1 Z145.75
X53.98 Z145.95
G0 Z156
X51.584
G1 Z145.75
X51.984 Z145.95
G0 Z156
X49.586
G1 Z145.75
X49.986 Z145.95
G0 Z156
X47.59
G1 Z145.75
X47.99 Z145.95
G0 Z156
X45.594
G1 Z145.75
X45.994 Z145.95
G0 Z156
X43.596
G1 Z145.75
X43.996 Z145.95
G0 Z156
X41.6
G1 Z145.75
X42.0 Z145.95
G0 Z156
X39.652
G1 Z150.255
X40.052 Z150.455
G0 Z156
X37.704
G1 Z150.75
X38.104 Z150.95
G0 Z156
X35.756
G1 Z150.75
X36.156 Z150.95
G0 Z156
X33.808
G1 Z150.75
X34.208 Z150.95
G0 Z156
X31.86
G1 Z150.75
X32.26 Z150.95
G0 Z156
X29.914
G1 Z150.75
X30.314 Z150.95
G0 Z156
X27.966
G1 Z150.75
X28.366 Z150.95
G0 Z156
X26.018
G1 Z150.75
X26.418 Z150.95
G0 Z156
X24.07
G1 Z150.75
X24.47 Z150.95

G0 Z156
X22.122
G1 Z150.75
X22.522 Z150.95
G0 Z156
X20.174
G1 Z150.75
X20.574 Z150.95
G0 Z156
X18.226
G1 Z150.75
X18.626 Z150.95
G0 Z156
X16.278
G1 Z150.75
X16.678 Z150.95
G0 Z156
X14.33
G1 Z150.75
X14.73 Z150.95
G0 Z156
X12.382
G1 Z150.75
X12.782 Z150.95
G0 Z156
X10.434
G1 Z150.75
X10.834 Z150.95
G0 Z156
X8.486
G1 Z150.75
X8.886 Z150.95
G0 Z156
X6.54
G1 Z150.75
X6.94 Z150.95
G0 Z156
X4.592
G1 Z150.75
X4.992 Z150.95
G0 Z156
X2.644
G1 Z150.75
X3.044 Z150.95
G0 Z156
X0.696
G1 Z150.75
X1.096 Z150.95
G0 Z156
X-0.852 Z150.95
X-0.696 Z152.75
G0 X122.062
Z152.806
X124
G97
G0 X190 Z200
M30
%
```

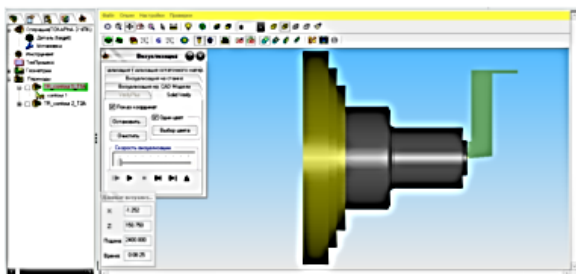
Початкове положення інструменту



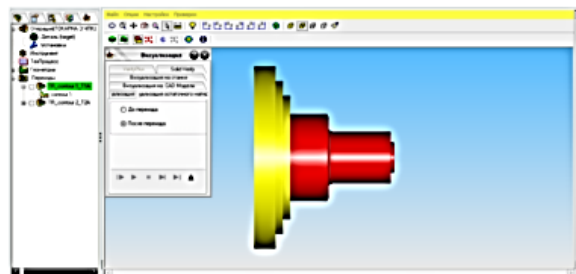
Траекторія руху інструменту



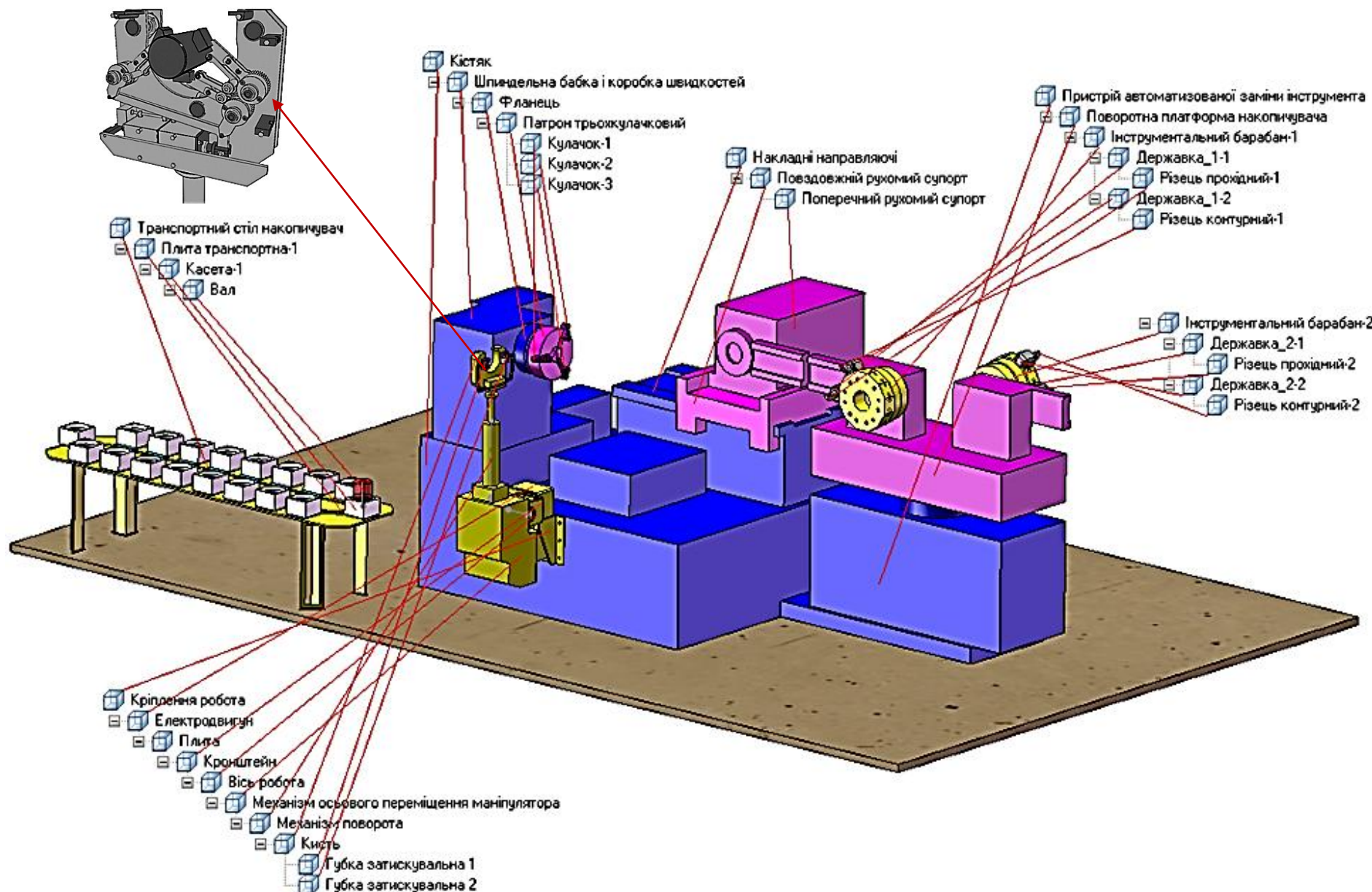
Кінцеве положення інструменту



Деталь після переходу обробки

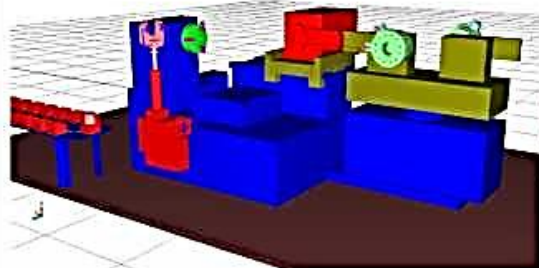


ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНЕ КОМПОНУВАННЯ ГВМ НА БАЗІ ВЕРСТАТА ІРТ180ПМФ4

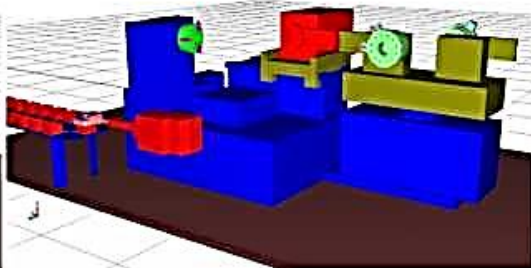


МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ "ВАЛ" НА ГВМ ИРТ180ПМФ4

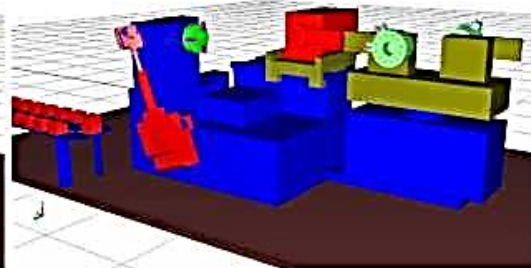
Етап 1. Вихідне положення



Етап 2. Захват заготовки манипулятором

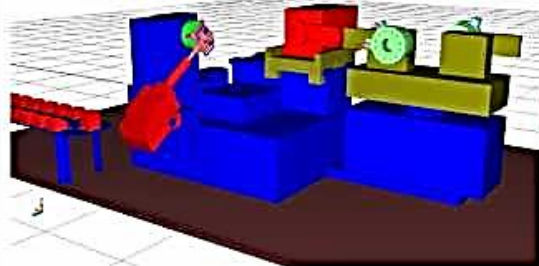


Етап 3. Переміщення заготовки у зону
обробки

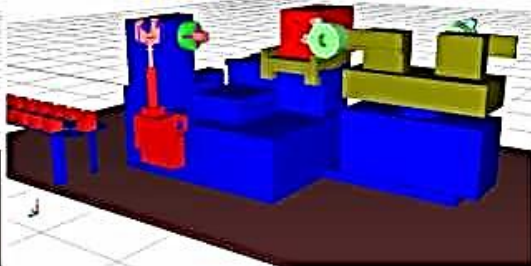


Керуюча програма

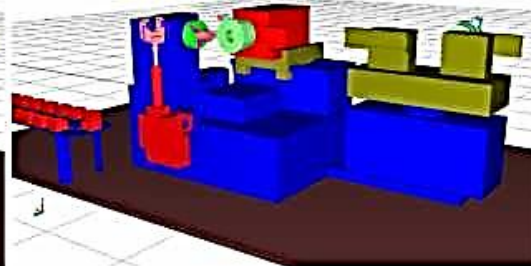
Етап 4. Установка заготовки в патрон



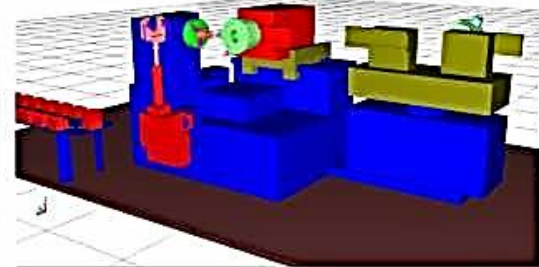
Етап 5. Переміщення інструментального барабану



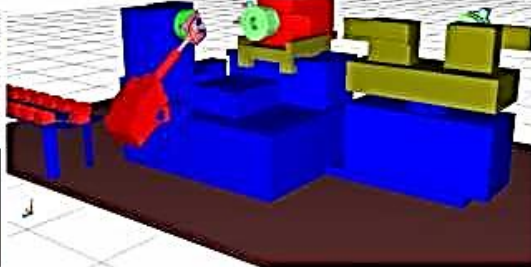
Етап 6. Чорнова обробка деталі



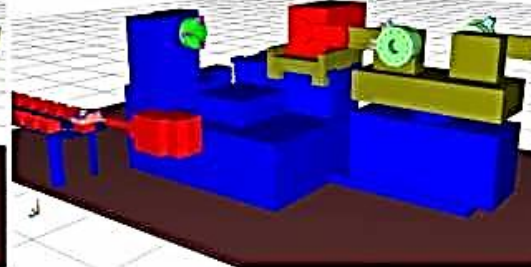
Етап 7. Чистова обробка деталі



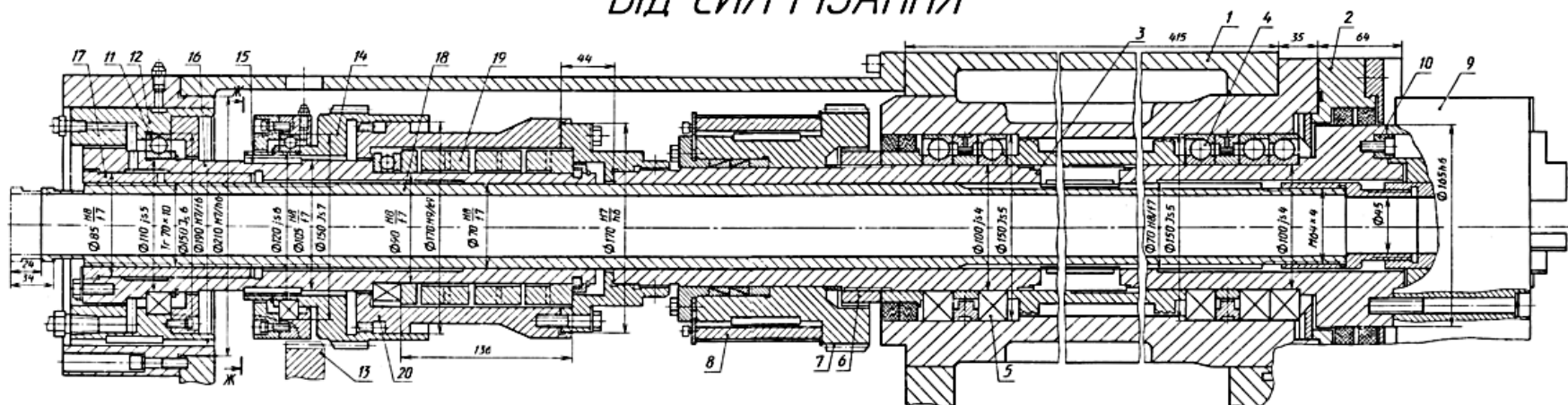
Етап 8. Зняття обробленої деталі із патрона



Етап 9. Переміщення і укладання деталі на тактовий стіл-накопичувач



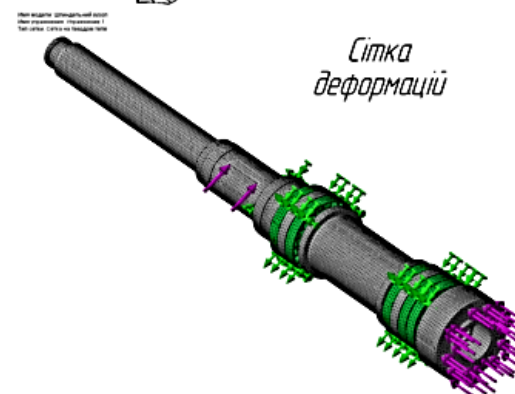
МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ШПИНДЕЛЯ ВЕРСТАТА З ЧПК ИРТ180ПМФ4
ВІД СИЛ РІЗАННЯ



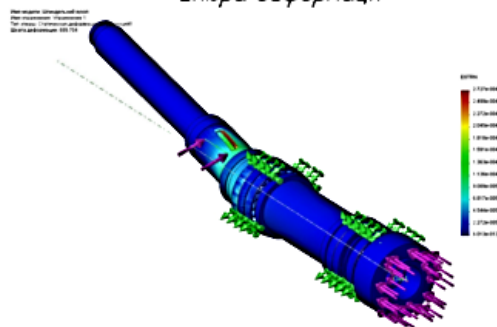
Вихідна модель

1. Корпус.
2. Гільза.
3. Шпindelь
4. Опора качення.
5. Опора качення.
6. Пристрій натягу.
7. Зубчасте колеса.
8. Шків
9. Трьохкулачковий патрон.
10. Шпонка
11. Підшипник.
12. Корпус.
13. Зубчасте колеса.
14. рухомий блок.
15. Шпонки.
16. Гільза
17. Гайка
18. Труба
19. Пружина.
20. Зубчасте колеса.

Сітка
деформації

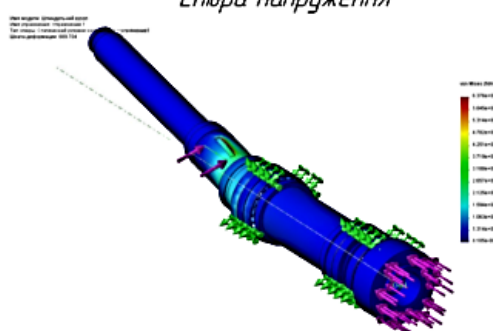


Епюра деформації

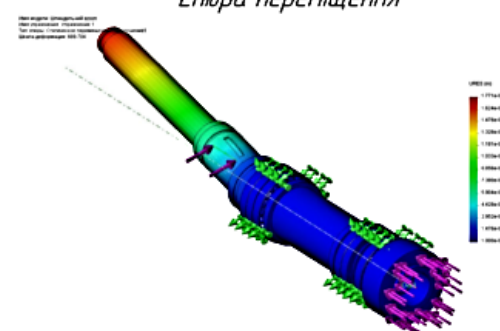


РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Еюра напруження



Енюра переміщення



ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

При повному конструкторсько-технологічному аналізі обробки виробу «Вал» в умовах дрібносерійного виробництва можна відзначити, що впровадження верстатів із ЧПК, а також автоматизованої підготовки виробництва, забезпечують зменшення допоміжного часу за рахунок автоматичного переміщення, базування заготовок і деталей, зменшення основного часу й поліпшення якості обробки за рахунок використання устаткування більшої потужності, чим універсальні верстати.

Створення групового технологічного процесу дозволяє зменшити кількість застосовуваних устаткування, пристосувань, різального й допоміжного інструментів – це забезпечує, при великій номенклатурі оброблюваних виробів, зменшення витрат, а відповідно, собівартості випускної продукції.

За допомогою імітаційного моделювання системи виготовлення деталі можна точно визначити витрати часу, а також автоматично розробити програму обробки виробу для верстатів із ЧПК, що дозволяє зменшити участь людини у виробництві.

Результати дослідження імітаційного тривимірного геометричного моделювання роботи гнучкого виробничого модуля токарної обробки показали, що подібні моделі можуть бути використані на стадії проектування ГВМ і при його експлуатації.

На стадії проектування, можливе виявлення недоліків компоновки ГВМ і вибір найбільш раціональної компоновки на основі аналізу якісних і кількісних характеристик моделі.

У сфері виробництва подібні моделі можуть знайти застосування для створення графічного інтерфейсу систем для автоматизації програмування роботи ГВМ, аналізу розроблених керуючих програм ГВМ, для виявлення можливих аварійних ситуацій, що виникають в процесі установки заготовки на верстат і відладки програм роботи модуля поза верстатом і тим самим вирішити головну проблему ГВС – строгу і точну орієнтацію в просторі заготовок при всіх маніпуляціях завантаження і вивантаження. Крім того, за допомогою подібних моделей можливе коректне нормування технологічних операцій, що виконуються на ГВМ і визначення планового завантаження верстата для різних партій заготовок.

Такі можливості імітаційних геометричних моделей дозволяють скоротити терміни технічної підготовки виробництва, підвищити її якість і ефективніше експлуатувати дороге устаткування.

При повному конструкторсько-технологічному аналізі обробки виробу «Вал» в умовах дрібносерійного виробництва можна відзначити, що впровадження верстатів із ЧПК, а також автоматизованої підготовки виробництва, забезпечують зменшення допоміжного часу за рахунок автоматичного переміщення, базування заготовок і деталей, зменшення основного часу й поліпшення якості обробки за рахунок використання устаткування більшої потужності, чим універсальні верстати.

Створення групового технологічного процесу дозволяє зменшити кількість застосовуваних устаткування, пристосувань, різального й допоміжного інструментів – це забезпечує, при великій номенклатурі оброблюваних виробів, зменшення витрат, а відповідно, собівартості випускної продукції.

За допомогою імітаційного моделювання системи виготовлення деталі можна точно визначити витрати часу, а також автоматично розробити програму обробки виробу для верстатів із ЧПК, що дозволяє зменшити участь людини у виробництві.

Результати дослідження імітаційного тривимірного геометричного моделювання роботи гнучкого виробничого модуля токарної обробки показали, що подібні моделі можуть бути використані на стадії проектування ГВМ і при його експлуатації.

На стадії проектування, можливе виявлення недоліків компоновки ГВМ і вибір найбільш раціональної компоновки на основі аналізу якісних і кількісних характеристик моделі.

У сфері виробництва подібні моделі можуть знайти застосування для створення графічного інтерфейсу систем для автоматизації програмування роботи ГВМ, аналізу розроблених керуючих програм ГВМ, для виявлення можливих аварійних ситуацій, що виникають в процесі установки заготовки на верстат і відладки програм роботи модуля поза верстатом і тим самим вирішити головну проблему ГВС – строгу і точну орієнтацію в просторі заготовок при всіх маніпуляціях завантаження і вивантаження. Крім того, за допомогою подібних моделей можливе коректне нормування технологічних операцій, що виконуються на ГВМ і визначення планового завантаження верстата для різних партій заготовок.

Такі можливості імітаційних геометричних моделей дозволяють скоротити терміни технічної підготовки виробництва, підвищити її якість і ефективніше експлуатувати дороге устаткування.

Розроблено дидактичний проєкт факультативного заняття на тему «Дослідження продуктивності та надійності обробки деталей типу «Вал» на ГПМ IPT180 ПМФ4» дозволяє комплексно поєднати теоретичні знання та практичні навички студентів, спрямовані на підвищення професійної компетентності в умовах сучасного машинобудівного виробництва. Такий підхід забезпечує ефективне засвоєння навчального матеріалу, формує вміння аналізувати технологічні процеси, оцінювати продуктивність та надійність обробки валів, а також застосовувати цифрові технології для оптимізації режимів різання.

Структура заняття, яка передбачає організаційний момент, мотивацію навчальної діяльності, актуалізацію базових знань, формування нового навчального досвіду, практичні вправи та підбиття підсумків, дозволяє студентам послідовно переходити від засвоєння теоретичних основ до практичного застосування знань та аналізу результатів обробки деталей.

Включення елементів імітаційного моделювання та цифрового прогнозування продуктивності і надійності обробки сприяє розвитку аналітичного мислення, здатності прогнозувати результати технологічних процесів і приймати обґрунтовані рішення щодо їх оптимізації.

Практичні вправи, орієнтовані на аналіз критичних зон обробки, підбір режимів різання та оптимізацію параметрів процесу, дозволяють студентам закріплювати набуті знання, формувати навички експериментальної роботи і підвищувати рівень професійної підготовки.

Застосування комплексного підходу, що поєднує традиційні методи навчання з цифровими технологіями та імітаційним моделюванням, сприяє формуванню компетентностей нового покоління інженерів, включаючи аналітичні, експериментальні та проєктні навички, що підвищує їхню конкурентоспроможність і забезпечує здатність ефективно працювати на сучасних машинобудівних підприємствах.

Таким чином, реалізація дидактичного проєкту факультативного заняття дозволяє створити умови для послідовного та системного розвитку знань і практичних навичок студентів, спрямованих на підвищення продуктивності та надійності технологічних процесів обробки валів на ГПМ IPT180 ПМФ4.