

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

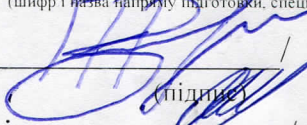
на тему

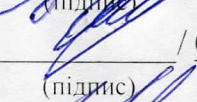
Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання

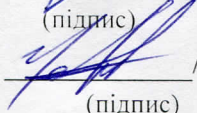
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДІТ-ПОМ24мг
спеціальності: 015.34 Професійна освіта
(Машинобудування)

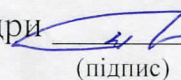
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

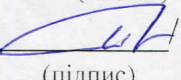
 / Максим СВІТЛИЧНИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)


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

Рецензент  / Артем ЧЕРНЮК
(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 А5.34 Професійна освіта (Машинобудування)
Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТіЗ

 О.Л. Подоляк

“08” жовтня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

другого (магістерського) рівня вищої освіти

студенту (ці) Максиму СВІТЛИЧНОМУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання.

затверджена наказом 4801-5/3664 від 06.10.2025 р.

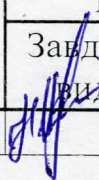
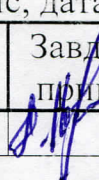
2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи “9” грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Креслення деталі типу «Кронштейн» і механізмів металообробного центра моделі VA500 із системою автоматичного керування, нормативні документи, паспортні дані обладнання, каталоги, стандарти на засоби технічного оснащення.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їй належить розробити): Конструкторсько-технологічний аналіз системи виготовлення деталі «Кронштейн» на оброблювальних центрах в умовах дрібносерійного виробництва. Розробка групового технологічного процесу одержання деталі «кронштейн». Розробка керуючої програми одержання деталі «кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA500. Розробка технологічного оснащення процесу виготовлення деталі «кронштейн». Імітаційне моделювання системи виготовлення деталі «кронштейн». Методичний розділ. Висновки.. Список джерел інформації. Додатки.

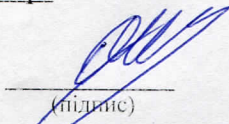
5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів: 1. Постановка задач дослідження. 2-3. Груповий ТП на обробку деталей типу «Кронштейн». 4. Розробка настановно-затискного пристосування для груповий обробки деталі "Кронштейн" 5. Вибір основного і допоміжного інструмента для виготовлення деталі «кронштейн» на оброблювальному центрі VA500. 6. Визначення режимів різання. 7. Автоматизована розробка керуючої програми вертикальним оброблювальним центром VA500 у системі Solidcam-2007 для виготовлення деталі «Кронштейн». 8-11. Розробка імітаційної моделі вертикального оброблювального центра VA 500. 12. Імітаційне моделювання обробки деталі "кронштейн" на базі верстата VA500. 13. Висновки.

6. Консультант:

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

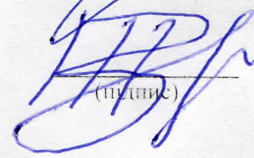
7. Дата видачі завдання «09» жовтня 2025 р.

Керівник


(підпис)

Олег КОНДРАТЮК
(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

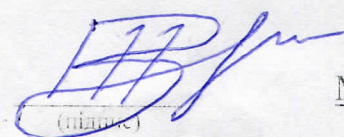

(підпис)

Максим СВІТЛИЧНИЙ
(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної роботи

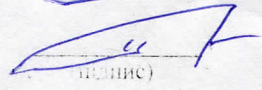
№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.		
2.	Складання плану роботи. Підбор літератури й інших джерел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

Максим СВІТЛИЧНИЙ
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль


(підпис)

Олег ПОДОЛЯК
(ім'я, прізвище)

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

Год. – години;

Грн. – гривні;

Рис. – рисунок;

Од. – одиниці;

п/п – по порядку;

табл. – таблиця;

тис. – тисяча;

об – оберти;

хв. – хвилина;

мм – міліметр;

ЧПК – числове програмне керування;

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;

ТП – технологічний процес;

ГТП – груповий технологічний процес;

ГВМ – гнучкий виробничий модуль;

ПР – промисловий робот;

УЗП – універсально-збірні пристосування.

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота присвячена дослідженню продуктивності та надійності механічної обробки деталей типу «кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA-500 із застосуванням групових технологічних методів та засобів імітаційного моделювання. Метою роботи є підвищення ефективності технологічного процесу шляхом оптимізації маршруту обробки та автоматизації окремих етапів виробництва.

У ході дослідження проведено аналіз конструктивних і технологічних особливостей деталей типу «кронштейн» та визначено їх типові ознаки, що дало змогу обґрунтувати доцільність використання групових технологічних процесів у дрібносерійному виробництві. На основі встановленої подібності розроблено груповий технологічний процес механічної обробки на верстаті VA-500, який забезпечує уніфікований маршрут, скорочення кількості переналагоджень та зменшення допоміжного часу.

Сформовано методику проектування групових технологічних операцій, що базується на геометричній та технологічній класифікації деталей. Розроблено керуючу програму для обробки деталі типу «кронштейн» на обробному центрі з ЧПК, яка забезпечує стабільність режимів різання та підвищену точність виготовлення.

За допомогою імітаційного моделювання досліджено роботу виробничої системи та визначено вплив параметрів партійності, часу підготовки-завершення та послідовності операцій на продуктивність. Моделювання дозволило виявити вузькі місця технологічного процесу та оцінити можливі шляхи його оптимізації.

У межах роботи також розроблено дидактичний проєкт факультативного заняття, спрямований на формування у студентів компетентностей у сфері аналізу процесів механічної обробки, прогнозування результатів та застосування імітаційного моделювання в технологічній підготовці виробництва.

Ключові слова: ВИРОБНИЦТВО, ПРОЄКТУВАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, ВЕРСТАТ, ПРОМИСЛОВИЙ РОБОТ, АВТОМАТИЗОВАНИЙ НАКОПИЧУВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, ПРОГРАМУВАННЯ, ЖОРСТКІСТЬ, ІМІТАЦІЯ

ABSTRACT

The final qualification work is devoted to the study of the productivity and reliability of mechanical processing of “bracket” type parts on the VA-500 vertical machining center using group technological methods and simulation modeling tools. The purpose of the work is to increase the efficiency of the technological process by optimizing the processing route and automating individual production stages.

During the study, an analysis of the design and technological features of “bracket” type parts was conducted and their typical features were determined, which made it possible to substantiate the feasibility of using group technological processes in small-scale production. Based on the established similarity, a group technological process of mechanical processing on the VA-500 machine was developed, which provides a unified route, reduces the number of resets and reduces auxiliary time.

A methodology for designing group technological operations based on geometric and technological classification of parts was formed. A control program for machining a “bracket” type part on a CNC machining center has been developed, which ensures the stability of cutting modes and increased manufacturing accuracy.

Using simulation modeling, the operation of the production system was investigated and the influence of batch parameters, preparation-completion time and sequence of operations on productivity was determined. The modeling allowed us to identify bottlenecks in the technological process and evaluate possible ways to optimize it.

As part of the work, a didactic project for an optional lesson was also developed, aimed at developing students' competencies in the field of analysis of machining processes, forecasting results and the use of simulation modeling in technological preparation of production.

Keywords: PRODUCTION, DESIGN, MODELING, MACHINE, INDUSTRIAL ROBOT, AUTOMATED STORAGE DEVICE, PROGRAMMING, RIGIDITY, IMITATION

ЗМІСТ

ВСТУП.....		11
1.	АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦЯ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ З ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ І НАДІЙНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «КРОНШТЕЙН» НА ВЕРСТАТІ VA 500 ЗА РАХУНОК ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	14
1.1	Потреба у вдосконаленні професійної підготовки фахівців для роботи з цифровими технологіями обробки	16
1.2	Вплив сучасних освітніх технологій на ефективність підготовки фахівця	18
1.3	Формулювання теоретичних передумов для розробки сучасної методики підготовки фахівців	20
1.4	Професійні компетентності та очікувані результати підготовки	23
1.5	Висновки	25
2.	КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «КРОНШТЕЙН» НА ОБРОБЛЮВАЛЬНИХ ЦЕНТРАХ В УМОВАХ ДРІБНОСЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	27
2.1	Аналіз ефективності обробки корпусних деталей на оброблювальних центрах в умовах дрібносерійного й одиночного виробництва	27
2.2	Аналіз технологічності виготовлення деталі «Кронштейн» на оброблювальних центрах	34
2.2.1	Аналіз точності й шорсткості	36
2.2.2	Аналіз методів базування виробу	37
2.2.3	Аналіз технологічності конструктивних елементів деталі «Кронштейн»	38
2.3	Висновки	43
3.	РОЗРОБКА ГРУПОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	

	ОДЕРЖАННЯ ДЕТАЛІ «КРОНШТЕЙН»	45
3.1	Аналіз видів технологічної підготовки виробництва при обробці виробу на оброблювальних центрах в умовах дрібносерійного виробництва	45
3.2	Розробка групового маршруту виготовлення деталі «Кронштейн» у системі SolidCAM	47
3.3	Розробка групових технологічних операцій отримання деталі «Кронштейн» у системі SolidCAM.....	56
3.4	Визначення припусків на операціях виготовлення деталі «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA500	61
3.5	Визначення режимів різання при виготовленні деталі «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA500	64
3.6	Висновки	73
4.	РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ОДЕРЖАННЯ ДЕТАЛІ «КРОНШТЕЙН» НА ВЕРТИКАЛЬНОМУ ОБРОБЛЮВАЛЬНОМУ ЦЕНТРІ VA 500	74
4.1	Розробка циклограми виготовлення деталі «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі	74
4.2	Автоматизована розробка керуючої програми вертикальним оброблювальним центром VA500 у системі SolidCAM-2007 для виготовлення деталі «Кронштейн»	75
4.3	Висновки	82
5.	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «КРОНШТЕЙН»	83
5.1	Конструкторсько-технологічний аналіз оснащення, яке використовується при обробці на верстатах із ЧПК	83
5.2	Розробка групового пристосування на основі комплекту УЗП-12 для установки й базування заготівлі деталі «Кронштейн» на	

	оброблювальному центрі VA 500	85
5.3	Розробка конструкції загарбного пристрою маніпулятора для переміщення виробу «Кронштейн» у робочій зоні оброблювального центра VA 500.....	88
5.4	Вибір основного й допоміжного інструмента для виготовлення деталі «Кронштейн» на оброблювальному центрі VA 500	89
5.5	Висновки	105
6.	ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «КРОНШТЕЙН»	106
6.1	Розробка організаційно-технологічної структури системи виготовлення деталі «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA 500	106
6.2	Розробка імітаційної моделі вертикального оброблювального центра VA 500	108
6.3	Розробка імітаційної моделі накопичувача деталей типу «Кронштейн»	115
6.4	Розробка імітаційної моделі маніпулятора для транспортування виробу «Кронштейн» у зоні обробки й складування вертикального оброблювального центра VA 500	117
6.5	Розробка імітаційної моделі обробки виробу «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA 500	121
6.6	Нормування процесу обробки виробу «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA 500	123
6.7	Висновки	125
7.	РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ «ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ І НАДІЙНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «КРОНШТЕЙН» НА ВЕРСТАТІ VA 500 ЗА РАХУНОК ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ»	126
7.1	Постановка цілей факультативного заняття з теми	126

7.2	Перелік літературних джерел з теми	127
7.3	Конструювання дидактичних матеріалів з теми	127
7.4	Аналіз базових умов навчання з теми	129
7.5	Проектування мотиваційних технологій навчання	131
7.6	Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті	132
7.7	Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті	133
7.8	Проектування контрольних дій	134
7.9	Розробка сценарію факультативного заняття	135
7.10	Висновки	137
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	138
	СПИСОК ВИКОРИСТОВУВАНИХ ДЖЕРЕЛ	140
	ДОДАТОК А. (Розроблена керуюча програма вертикальним оброблювальним центром VA500).....	145
	ДОДАТОК Б (Презентація)	157

ВСТУП

Сучасне машинобудівне виробництво характеризується тенденцією до переходу від масового до дрібносерійного та гнучкого виробництва, що потребує підвищення ефективності при обмеженій кількості однотипних деталей. За таких умов традиційні технологічні процеси, орієнтовані на індивідуальну обробку кожної деталі, не забезпечують належної продуктивності, стабільності якості та економічної доцільності.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності дрібносерійного виробництва є використання групових методів обробки, які базуються на уніфікації технологічних процесів для групи конструктивно та технологічно подібних деталей. Застосування таких методів дає змогу скоротити час підготовчо-завершальних операцій, зменшити кількість переналагоджень устаткування та підвищити рівень автоматизації.

Особливої актуальності набуває питання оптимізації процесу механічної обробки деталей типу «Кронштейн», які широко застосовуються в машинобудуванні як вузли кріплення, опори та несучі елементи. Ці деталі мають складну геометрію та різноманітні вимоги до точності, що ускладнює їх ефективну обробку в умовах дрібносерійного виробництва.

Розробка групових технологічних процесів для деталей типу «Кронштейн» із використанням автоматизованого устаткування (наприклад, обробного центру VA-500) і засобів імітаційного моделювання є актуальним завданням, оскільки дозволяє підвищити продуктивність, скоротити простой обладнання, раціоналізувати використання технологічного оснащення та забезпечити конкурентоспроможність підприємства в умовах сучасного ринку.

Розвиток гнучкого автоматизованого виробництва — це не просто технологічна тенденція, а необхідна умова виживання та розвитку сучасних підприємств.

Основною метою дослідження є підвищення продуктивності ділянки механічної обробки різанням деталей типу «Кронштейн» на основі застосування групових методів обробки в умовах дрібносерійного автоматизованого виробництва.

Об'єктом дослідження є виробнича система механічної обробки деталей типу «Кронштейн», що функціонує в умовах дрібносерійного автоматизованого виробництва.

Предмет дослідження- методи та засоби підвищення продуктивності механічної обробки деталей типу «Кронштейн» шляхом застосування групових технологічних процесів, оптимізації маршруту обробки, вибору раціонального оснащення та моделювання виробничої системи.

У роботі використано комплекс методів:

–аналітичні методи — для аналізу літературних джерел, нормативів і наукових підходів до групової обробки;

–інженерно-розрахункові методи — для визначення припусків, режимів різання, норм часу, підбору інструментів та оснащення;

–системний підхід — для побудови структури технологічного процесу та оцінки взаємозв'язків між його елементами;

–методи імітаційного моделювання — для дослідження організації виробництва, визначення вузьких місць і розрахунку показників продуктивності;

Наукова новизна роботи полягає в наступному

1.Вперше розроблено груповий маршрут обробки деталей типу «Кронштейн», який забезпечує скорочення допоміжного часу за рахунок уніфікації операцій і базування.

2.Вперше запропоновано методика формування групових технологічних операцій, що враховує спільність геометричних і технологічних ознак деталей.

3.Вперше створено модель виробничої системи, яка дозволяє кількісно оцінювати вплив організаційних і технологічних параметрів (часи підготовки, партійність, черговість операцій) на загальну продуктивність ділянки.

4. Обґрунтовано критерії вибору технологічного оснащення і робота-маніпулятора для автоматизованого транспортування деталей у межах групових процесів.

Результати:

У даній випускній роботі на підставі трьох ескізів деталей типу «Кронштейн» та маршруту їхньої обробки було проведено:

—Конструкторсько-технологічний аналіз системи виготовлення деталі «Кронштейн» на обробних центрах в умовах дрібносерійного виробництва;

—Розробка групового технологічного процесу отримання деталі «Кронштейн»;

—Розробка керуючої програми обробки деталі «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA 500;

—Розробка технологічного оснащення процесу виготовлення деталі «Кронштейн»;

—Імітаційне моделювання системи виготовлення деталі «Кронштейн»;

—Розрахунок технологічності.

У результаті, була розроблена повна технологічна документація по обробці деталі типу «Кронштейн» у дрібносерійному виробництві на обробному центрі VA 500.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦЯ МАШИНОБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ З ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ І НАДІЙНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «КРОНШТЕЙН» НА ВЕРСТАТІ VA 500 ЗА РАХУНОК ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Актуальність теми дослідження обумовлена високим рівнем автоматизації та цифровізації виробничих процесів на сучасних підприємствах. Фахівець, який вміє використовувати імітаційне моделювання для оцінки продуктивності та надійності обробки, здатний швидко приймати обґрунтовані технологічні рішення, підвищувати якість продукції та ефективно працювати з високотехнологічним обладнанням.

У контексті професійної підготовки фахівців машинобудівних підприємств впровадження методів імітаційного моделювання стає необхідним для формування компетентностей, які відповідають сучасним вимогам цифрового виробництва.

Професійна підготовка операторів, наладчиків та інженерів із використанням імітаційного моделювання на верстаті VA 500 є важливим напрямом підвищення кваліфікації персоналу машинобудівних підприємств. Вона дозволяє не лише закріпити теоретичні знання, а й відпрацювати практичні навички, що до оптимізації процесів обробки деталей на сучасному обладнанні, що підвищує їхню продуктивність, точність та надійність.

З огляду на зростаючу значущість професійної підготовки фахівців у сучасних виробничих умовах виникає потреба в науковому обґрунтуванні та чіткому формулюванні **мети методичної частини дослідження**, що передбачає визначення підходів, засобів і педагогічних умов, необхідних для підвищення ефективності процесу навчання та розвитку професійних компетентностей персоналу [12].

Мета дослідження – розробити та обґрунтувати дидактичний проект професійної підготовки фахівців, який забезпечить ефективне освоєння методів

імітаційного моделювання технологічних процесів на верстаті VA 500 та сприятиме підвищенню продуктивності, точності і надійності обробки деталей «кронштейн».

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасний стан професійної підготовки операторів та інженерів машинобудівних підприємств із використанням цифрових технологій та методів імітаційного моделювання.

2. Розробити дидактичний проєкт професійної підготовки, що поєднує теоретичні знання про механічну обробку, практичні навички роботи на верстаті та використання імітаційного моделювання для оптимізації режимів обробки.

Об'єкт дослідження – процес професійної підготовки фахівців машинобудівних підприємств у сфері застосування цифрових технологій для забезпечення високої продуктивності та надійності механічної обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500.

Предмет дослідження – професійна підготовка фахівців машинобудівних підприємств, спрямована на набуття знань і практичних навичок щодо оптимізації технологічних параметрів обробки деталей «кронштейн» за допомогою імітаційного моделювання для підвищення продуктивності та надійності процесів.

Методи дослідження: системний і порівняльний аналіз науково-технічної та методичної літератури; розробка практичних завдань і дидактичних матеріалів для підготовки фахівців;

Наукова новизна дослідження полягає у створенні комплексної дидактичної системи підготовки фахівців машинобудівних підприємств, яка інтегрує знання про сучасні технології обробки деталей із застосуванням імітаційного моделювання, що дозволяє підвищувати продуктивність і надійність обробки деталей «кронштейн» на верстаті VA 500. Такий підхід формує практичні та аналітичні компетентності, необхідні для ефективної роботи у цифровому виробничому середовищі.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання розроблених методичних матеріалів у навчально-виробничих центрах та на курсах підвищення кваліфікації для операторів, наладчиків і інженерів машинобудівних підприємств. Запропоновані дидактичні рішення сприяють формуванню фахівців, здатних ефективно застосовувати імітаційне моделювання для оптимізації технологічних процесів та підвищення надійності виробів.

1.1 Потреба у вдосконаленні професійної підготовки фахівців для роботи з цифровими технологіями обробки

Сучасне машинобудування характеризується високим рівнем автоматизації та цифровізації виробничих процесів. Особливо це стосується обробки деталей складної геометрії, таких як кронштейни, які є складовими вузлів різних машин і механізмів. Надійність і довговічність виробів безпосередньо залежать від якості обробки, точності дотримання технологічних параметрів та ефективності виробничих процесів. Відповідно, професійна підготовка фахівців машинобудівних підприємств потребує постійного вдосконалення, адже традиційні підходи до навчання не завжди відповідають сучасним вимогам цифрового виробництва.

Традиційна підготовка фахівців машинобудівної галузі, як правило, базується на поєднанні лекційного викладу теоретичного матеріалу та практичних занять на базовому обладнанні. Такий підхід має ряд суттєвих обмежень. По-перше, він не забезпечує повного розуміння студентами впливу різноманітних технологічних параметрів на продуктивність і надійність обробки. Часто навчальні заняття зосереджуються на послідовності виконання операцій без системного аналізу ефекту змін режимів обробки на кінцеву якість виробу. По-друге, відсутність використання сучасних цифрових інструментів та методів моделювання знижує ефективність формування професійних компетентностей. Студенти не отримують можливості прогнозувати поведінку

матеріалу під час обробки або перевіряти наслідки зміни технологічних режимів до фактичного експерименту на верстаті.

Також традиційні методики навчання обмежені у можливості відпрацьовувати критичні ситуації та нестандартні виробничі задачі. У реальному виробництві такі умови можуть призводити до браку продукції або непередбачуваних поломок обладнання, що негативно впливає на економічну ефективність підприємства. Таким чином, недостатній рівень інтеграції цифрових технологій у процес навчання створює потребу у розробці сучасних дидактичних рішень, що дозволяють ефективно формувати практичні навички та аналітичні здібності студентів [25].

Сучасний фахівець машинобудівного підприємства повинен володіти компетенціями, що забезпечують не лише виконання базових операцій, але й ефективне управління технологічними процесами з використанням цифрових інструментів. Однією з ключових компетентностей є здатність застосовувати методи імітаційного моделювання для прогнозування продуктивності та надійності обробки деталей. Таке моделювання дозволяє досліджувати вплив параметрів різання, геометрії деталі та характеристик матеріалу на якість обробки без необхідності проведення дорогих і тривалих експериментів на верстаті.

Іншою важливою компетентністю є оптимізація режимів обробки. В умовах цифрового виробництва фахівець повинен аналізувати чисельні дані про швидкість обертання, подачу інструменту, глибину різання та інші параметри, щоб підвищити продуктивність і знизити ризик дефектів. Крім того, сучасні компетентності включають вміння оцінювати надійність технологічного процесу, передбачати можливі відмови обладнання або браку продукції та розробляти шляхи їх усунення.

Додатково, у цифровому виробничому середовищі критичною є здатність використовувати CAD/CAM/CAE-системи для моделювання обробки, проведення розрахунків міцності деталей і оптимізації виробничих процесів. Це дозволяє фахівцям не лише виконувати роботу на верстаті, але й аналізувати

альтернативні технологічні рішення, обирати найбільш ефективні варіанти та підвищувати загальну продуктивність підприємства.

Практико-орієнтоване навчання є ключовим елементом сучасної підготовки фахівців. Воно забезпечує інтеграцію теоретичних знань та практичних дій, формує вміння приймати технологічні рішення на основі аналізу реальних і змодельованих процесів. Імітаційне моделювання виступає ефективним засобом відпрацювання таких навичок, дозволяючи студентам експериментувати з параметрами обробки, досліджувати їхній вплив на продуктивність та надійність деталей, а також виробляти обґрунтовані рекомендації щодо оптимізації процесу.

Практико-орієнтоване навчання також сприяє розвитку аналітичного мислення, критичної оцінки технологічних рішень і готовності до самостійної роботи у виробничих умовах. Воно створює умови для формування професійної самостійності та відповідальності, що є невід'ємними рисами компетентного фахівця сучасного машинобудівного підприємства [32-33].

Таким чином, потреба у вдосконаленні професійної підготовки фахівців з урахуванням цифрових технологій обробки є обґрунтованою та актуальною. Впровадження імітаційного моделювання, оптимізації режимів обробки та аналізу продуктивності й надійності виробів дозволяє забезпечити високий рівень підготовки кадрів, готових до роботи у сучасному високотехнологічному виробничому середовищі.

1.2 Вплив сучасних освітніх технологій на ефективність підготовки фахівця

Професійна підготовка фахівців машинобудівних підприємств у сучасних умовах неможлива без впровадження цифрових та інформаційних технологій. Традиційні методи навчання, що обмежуються лише лекційним викладом матеріалу та практичними заняттями на базовому обладнанні, не дозволяють забезпечити повне освоєння компетентностей, необхідних для ефективного використання високотехнологічних виробничих комплексів. Сучасні освітні

технології, зокрема імітаційне моделювання та CAD/CAM/CAE-системи, відкривають нові можливості для формування у студентів глибоких теоретичних знань і практичних навичок, що безпосередньо впливають на продуктивність і надійність обробки деталей «кронштейн» на верстаті VA 500.

Імітаційне моделювання виступає ефективним інструментом для підготовки фахівців, оскільки дозволяє відтворювати реальні технологічні процеси в цифровому середовищі. Студенти отримують змогу досліджувати поведінку матеріалу та інструменту під різними режимами обробки без ризику пошкодження обладнання чи деталей. Наприклад, за допомогою моделювання можна прогнозувати вплив зміни швидкості обертання шпинделя, подачі інструменту чи глибини різання на продуктивність і точність обробки кронштейнів.

Імітаційне моделювання також дозволяє проводити чисельні експерименти для оптимізації режимів обробки. Студенти можуть перевіряти різні комбінації параметрів, оцінювати їхній вплив на механічні властивості деталей, визначати потенційні проблеми та знаходити оптимальні рішення ще до початку практичної роботи на верстаті. Такий підхід значно підвищує ефективність навчального процесу, зменшує витрати часу та матеріалів, а також формує навички критичного аналізу технологічних процесів.

CAD/CAM/CAE-системи є ключовими інструментами сучасного цифрового виробництва. У навчальному процесі їхнє застосування дозволяє студентам створювати тривимірні моделі деталей, проводити розрахунки на міцність і оцінювати ефективність обробки. За допомогою цих систем можна моделювати послідовність технологічних операцій, визначати критичні зони деталі та прогнозувати можливі дефекти [12].

Для деталей типу «кронштейн» використання CAD/CAM/CAE-систем особливо важливе, оскільки їхня складна геометрія та функціональне навантаження вимагають високої точності обробки. Завдяки цифровому моделюванню студенти можуть вивчати взаємодію різних параметрів обробки, порівнювати результати експериментів та знаходити оптимальні технологічні

рішення. Це сприяє розвитку аналітичного мислення, навичок прийняття обґрунтованих рішень та готовності до самостійної роботи в умовах сучасного виробництва.

Інтегровані навчальні середовища поєднують теоретичну підготовку, практичні заняття та цифрові технології моделювання у єдину систему. Вони забезпечують комплексний підхід до навчання, дозволяючи студентам одночасно освоювати принципи роботи обладнання, аналізувати технологічні параметри та практично застосовувати отримані знання [49].

У таких середовищах навчальні процеси максимально наближені до реальних виробничих умов. Студенти працюють з віртуальними верстатами, виконують моделювання обробки деталей «кронштейн», оцінюють продуктивність та надійність технологічних процесів. Інтегровані платформи сприяють розвитку професійних компетентностей, таких як здатність до самостійного аналізу технологічних рішень, прогнозування наслідків зміни режимів обробки та оптимізації виробничих процесів.

Таким чином, впровадження сучасних освітніх технологій у підготовку фахівців машинобудівних підприємств дозволяє значно підвищити ефективність навчального процесу. Імітаційне моделювання, використання CAD/CAM/CAE-систем та інтегрованих навчальних середовищ забезпечують комплексне формування знань і практичних навичок, що відповідають вимогам сучасного цифрового виробництва та дозволяють підвищувати продуктивність і надійність обробки деталей «кронштейн» на верстаті VA 500.

1.3 Формулювання теоретичних передумов для розробки сучасної методики підготовки фахівців

Сучасне машинобудування характеризується високим рівнем автоматизації та цифровізації, що безпосередньо впливає на вимоги до професійної підготовки фахівців. Обробка деталей складної геометрії, таких як кронштейни, на верстаті VA 500 потребує не лише знання традиційних технологій, але й вміння застосовувати методи імітаційного моделювання для

оптимізації параметрів обробки. Виникає необхідність формування нової методики навчання, яка забезпечувала б комплексний розвиток професійних компетентностей та здатність працювати в умовах сучасного цифрового виробництва.

Однією з ключових передумов є адаптація навчальних програм до особливостей п'ятиосьового обробного верстата VA 500. Використання такого обладнання дозволяє виконувати складні технологічні операції, однак вимагає від фахівця глибокого розуміння принципів роботи верстата, особливостей управління його числовими системами та впливу режимів обробки на продуктивність і надійність обробки. Традиційні програми, що базуються на послідовності операцій і теоретичних знаннях, не забезпечують достатньої підготовки до самостійного вирішення комплексних виробничих задач.

Імітаційне моделювання виступає ефективним інструментом підготовки, оскільки дозволяє відпрацьовувати різні сценарії обробки без ризику пошкодження обладнання чи деталей. Включення моделювання до навчальних програм дає змогу студентам прогнозувати наслідки зміни параметрів обробки, оцінювати критичні зони деталей та оптимізувати послідовність операцій. Це дозволяє створити умови, максимально наближені до реальних виробничих процесів, і забезпечує високу якість підготовки фахівців.

Ще однією важливою передумовою є систематичне визначення факторів, що впливають на якість обробки деталей. До таких факторів належать характеристики матеріалу, геометрія деталі, режими різання, конструкція інструменту, а також послідовність виконання технологічних операцій. Комплексне розуміння взаємозв'язку цих факторів дозволяє студентам прогнозувати вплив змін технологічних параметрів на продуктивність та надійність виробничого процесу.

Імітаційне моделювання і цифрові симулятори дають змогу досліджувати вплив кожного з факторів у віртуальному середовищі. Наприклад, зміна швидкості обертання шпинделя чи подачі інструменту може суттєво вплинути на точність обробки та знос інструменту. Завдяки моделюванню студенти

можуть оцінювати наслідки таких змін і робити обґрунтовані висновки щодо оптимальних параметрів обробки.

Для підвищення ефективності підготовки фахівців необхідно інтегрувати теоретичні знання, цифрові технології та практичні вправи. Теоретична база забезпечує розуміння фундаментальних принципів обробки, властивостей матеріалів, механіки різання та основ цифрового моделювання. Цифрові технології, такі як CAD/CAM/CAE-системи та симулятори верстатів, дозволяють відпрацьовувати знання на практиці без ризику пошкодження деталей або обладнання. Практичні заняття забезпечують розвиток вмінь та навичок роботи на реальному верстаті, формують здатність приймати рішення у реальних виробничих умовах [45].

Інтеграція цих компонентів створює систему навчання, що поєднує теорію та практику, формує аналітичні та проєктувальні компетентності, а також дозволяє студентам ефективно адаптуватися до цифрового виробничого середовища. Такий підхід забезпечує комплексне формування професійних навичок, необхідних для підвищення продуктивності та надійності обробки деталей типу «кронштейн».

Отже, об'єктивними передумовами для розробки сучасної методики підготовки фахівців є:

1. Адаптація навчальних програм до специфіки роботи з верстатом VA 500 та методами імітаційного моделювання.

2. Системне визначення факторів впливу на продуктивність і надійність обробки, що дозволяє студентам формувати аналітичні навички та прогнозувати результати технологічних процесів.

3. Інтеграція теоретичних знань, цифрових технологій та практичних вправ, яка забезпечує комплексне формування компетентностей, необхідних для роботи у сучасних машинобудівних підприємствах.

Реалізація цих передумов дозволяє створити сучасну методику підготовки фахівців, яка забезпечує не лише освоєння технологій обробки, але й формує здатність до самостійного аналізу, оптимізації та вдосконалення

виробничих процесів, що є ключовою вимогою для високотехнологічного машинобудування.

1.4 Професійні компетентності та очікувані результати підготовки

Професійна підготовка фахівців машинобудівних підприємств у сучасних умовах визначається потребою забезпечення високої продуктивності, надійності та технологічної якості обробки деталей складної конфігурації, таких як кронштейни, на верстаті VA 500. Формування компетентностей фахівця передбачає комплексний підхід, що включає оволодіння теоретичними знаннями, цифровими технологіями та практичними навичками оптимізації виробничих процесів. В основу підготовки закладено розвиток аналітичних, проектувальних та практичних умінь, що дозволяють ефективно працювати в умовах цифрового виробництва та модернізованих виробничих комплексів.

До ключових компетентностей, які формуються у процесі підготовки, належать:

1.Оцінка продуктивності та надійності обробки. Студенти набувають здатності визначати ефективність технологічних процесів, оцінювати вплив режимів різання та конструкцій інструментів на якість обробки та термін служби обладнання. Це передбачає аналіз критичних зон деталей, прогнозування виникнення дефектів та визначення параметрів, що забезпечують стабільність виробничих результатів.

2.Оптимізація режимів різання та технологічних параметрів. Фахівець здатний визначати оптимальні значення швидкостей, подачі та глибини різання, враховуючи матеріал деталі, її геометрію та функціональні навантаження. Застосування методів цифрового моделювання дозволяє перевіряти ефективність обраних режимів без необхідності проведення численних експериментів на реальному обладнанні.

3.Застосування цифрових інструментів. Володіння CAD/CAM/CAE-системами, а також програмним забезпеченням для імітаційного моделювання технологічних процесів є невід'ємною частиною професійної компетентності

сучасного інженера. Студенти навчаються створювати тривимірні моделі деталей, розробляти технологічні карти обробки та прогнозувати результати виробничих операцій у цифровому середовищі.

Однією з головних цілей підготовки є розвиток здатності фахівця до самостійного аналізу та оптимізації технологічних процесів. Це включає:

- вміння планувати послідовність операцій обробки;
- прогнозування впливу змін параметрів на якість та продуктивність;
- застосування методів цифрового моделювання для пошуку оптимальних рішень;
- аналіз результатів експериментів та розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності обробки.

Практичне використання таких навичок дозволяє студентам не лише навчатися у навчальному середовищі, а й активно адаптуватися до умов сучасного виробництва, де швидкість прийняття рішень та точність прогнозування технологічних процесів визначають конкурентоспроможність підприємства.

Підготовка фахівців з комплексними компетентностями має суттєве практичне значення для сучасних машинобудівних підприємств. Освоєння цифрових технологій, імітаційного моделювання та оптимізації режимів обробки дозволяє:

- підвищити продуктивність верстата VA 500;
- зменшити відсоток браку та витрат матеріалів;
- покращити точність та надійність обробки деталей;
- забезпечити швидку адаптацію до нових технологічних рішень і модернізації обладнання.

Крім того, такі фахівці здатні пропонувати вдосконалення технологічних процесів, адаптувати виробництво до складних замовлень та підвищувати ефективність роботи виробничих ліній. В умовах швидкого впровадження цифрових виробничих систем це створює основу для розвитку інноваційної компетентності та готовності до самостійного професійного зростання.

Результатом впровадження сучасної методики підготовки є формування професійно компетентного фахівця, здатного:

- оцінювати продуктивність та надійність обробки деталей «кронштейн» на верстаті VA 500;
- здійснювати оптимізацію режимів різання та технологічних параметрів;
- використовувати цифрові моделі для прогнозування та вдосконалення процесів;
- розробляти рекомендації для підвищення ефективності виробництва;
- приймати обґрунтовані рішення в умовах сучасного машинобудівного підприємства.

Таким чином, систематичне формування ключових компетентностей забезпечує цілісну підготовку фахівців, здатних ефективно працювати у цифровому виробничому середовищі та забезпечувати високі стандарти продуктивності, надійності та якості обробки деталей. Підготовка таких спеціалістів є фундаментом для розвитку сучасного машинобудівного виробництва та підвищення його конкурентоспроможності на національному та міжнародному ринках.

1.5 Висновки

Аналіз сучасних тенденцій машинобудівного виробництва показує, що підвищення продуктивності та надійності обробки деталей складної конфігурації, таких як кронштейни, неможливе без високого рівня професійної підготовки операторів і інженерів. Традиційні методи навчання, що базуються переважно на теоретичних знаннях та обмеженій практичній підготовці, не здатні забезпечити необхідний рівень компетентності для роботи з високотехнологічними верстатами п'ятиосьової конфігурації, зокрема VA 500. В умовах впровадження цифрових технологій та автоматизації виробничих процесів виникає потреба у розвитку нових професійних компетентностей, які включають імітаційне моделювання технологічних процесів, оптимізацію

режимів обробки та аналітичну оцінку продуктивності та надійності обробки деталей.

Імітаційне моделювання виступає ключовим засобом підготовки, що дозволяє студентам і практичним фахівцям відпрацьовувати технологічні операції в умовах, максимально наближених до реального виробництва, без ризику пошкодження обладнання чи деталей. Використання цифрових симуляторів та CAD/CAM/CAE-систем дозволяє оцінювати вплив різних параметрів обробки на продуктивність та точність, а також прогнозувати можливі дефекти та критичні зони обробки. Такий підхід сприяє формуванню системного мислення, аналітичних навичок та здатності приймати обґрунтовані виробничі рішення.

Однією з об'єктивних передумов сучасної підготовки є інтеграція теоретичних знань, цифрових технологій та практичних навичок. Теоретична база забезпечує розуміння механіки різання, властивостей матеріалів і принципів роботи п'ятиосьових верстатів. Цифрові інструменти дозволяють моделювати процеси, прогнозувати результати та оптимізувати режими обробки, а практичні вправи формують вміння застосовувати ці знання безпосередньо на верстаті VA 500. Така інтеграція забезпечує всебічну підготовку фахівців, здатних ефективно виконувати виробничі завдання та підвищувати продуктивність і надійність технологічних процесів.

У підсумку, актуальність професійної підготовки фахівців для роботи з деталями типу «кронштейн» на верстаті VA 500 обумовлена необхідністю формування сучасних компетентностей у цифровому виробничому середовищі, впровадженням імітаційного моделювання як основного інструменту навчання та інтеграцією теоретичних знань і практичних навичок. Така підготовка дозволяє забезпечити високу якість обробки, надійність деталей, ефективність виробничих процесів та конкурентоспроможність машинобудівних підприємств у сучасних умовах.

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

2.1 Аналіз ефективності обробки корпусних деталей на оброблювальних центрах в умовах дрібносерійного й одиничного виробництва

Істотно підвищився рівень автоматизації виробничих процесів, пов'язаний з появою в 40-х роках систем ЧПК, а в 70-х комп'ютеризованих виробництв і систем автоматизованого проектування. Наприкінці 60-х років прогрес обчислювальної техніки й засобів автоматизації технологічного проектування досяг такого рівня, що в промислово-розвинених країнах був поставлений питання про великомасштабну автоматизацію на основі ЕОМ. Тому в 70-х роках стали розвиватися головним чином дві сфери: автоматизація обробки інформації – автоматизовані системи керування (АСК), системи автоматизованого проектування (САПР); автоматизація технології виробництва – технологічне устаткування із числовим програмним керуванням від ЕОМ (ВЧПК), автоматизовані системи керування технологічними процесами (АСК ТП), промислові роботи (ПР) [45,47,49].

Так у період 60-93-их років велася розробка й перевірка базових принципів створення технології майбутнього. Продуктом цього періоду стали такі новинки, як промисловий робот, оброблювальний центр, мікропроцесор, автоматизоване робоче місце проектувальника (АРМ) і інші досягнення; в 80-і роки – розробка й створення елементної техніки й технології. Даний період характеризується першими спробами реалізувати методологію локально-комплексної автоматизації виробництва. Так виникли робототехнічні комплекси (РТК), гнучкі виробничі модулі (ГВМ), гнучкі автоматизовані лінії (ГАЛ) і гнучкі автоматизовані ділянки (ГАД); а в період 90-их років велася розробка і створення системних комплексів гнучкого виробництва:

починається широка гнучка автоматизація заводів на основі машинного інтелекту техніки керування виробництвом [49].

На початку XXI століття 2000–2010-ті роки автоматизація переходить на новий рівень інтеграції — формується концепція комп'ютерно-інтегрованого виробництва (CIM — Computer Integrated Manufacturing). У цей період відбувається:

- широке впровадження ERP-систем (Enterprise Resource Planning) для комплексного управління підприємствами;
- розвиток CAD/CAM/CAE-технологій, що забезпечують повний цикл — від проєктування до виготовлення;
- застосування робототехніки нового покоління — роботів-маніпуляторів з високою точністю, сенсорами та адаптивним управлінням;
- поява гнучких автоматизованих виробничих систем (FMS), здатних швидко перебудовуватися під різні типи продукції.

У 2010–2020-ті роки починається новий етап — цифрова трансформація виробництва, відома як Індустрія 4.0.

Основні риси цього етапу:

- використання інтернету речей (IoT) для об'єднання обладнання, датчиків і систем в єдину мережу;
- розвиток кіберфізичних систем (CPS), які поєднують фізичне виробництво з цифровим моделюванням;
- впровадження хмарних технологій і великої аналітики (Big Data) для управління процесами в реальному часі;
- активне використання штучного інтелекту (AI) для прогнозування, контролю якості та оптимізації виробництва;
- поява колаборативних роботів (cobots), здатних безпечно працювати поруч із людиною.

У 2020-ті роки — починається перехід до Індустрії 5.0

Сучасний етап розвитку автоматизації пов'язаний із концепцією (Індустрії 5.0), де в центрі стоїть взаємодія людини та машини. Основні тенденції:

- поєднання інтелектуальних технологій із людською креативністю;
- впровадження персоналізованого виробництва та масової кастомізації;
- розвиток штучного інтелекту нового покоління, роботів із машинним зором і самонавчанням;
- зелені технології та енергоефективне виробництво;
- застосування цифрових двійників (Digital Twins) для віртуального моделювання процесів.
- розвиток гнучкого автоматизованого виробництва (ГАВ)

Стало відомо, що навіть далеко не самі досконалі ГАВ дозволяють збільшувати в середньому коефіцієнт використання устаткування на 30%, зменшити його простої на 40%, знизити вартість одиниці продукції на 10%, зменшити потребу в персоналі на 30%, забезпечити потокове виготовлення одиничних партій виробів, що надходять у випадковому порядку при номенклатурі до декількох десятків одиниць. Причому такі результати виходять в умовах, коли нове гнучке виробництво сполучається із традиційним виробництвом і забезпечує від 3 до 10% від загального випуску продукції даним підприємством [13,16].

Рівень і способи автоматизації залежать від серійності виробництва й оснащення його технічними засобами.

Засоби виробництва, що випускають у машинобудуванні, мають два полюси: універсальне устаткування з ручним керуванням й автоматичні лінії із твердою програмою робіт. Інше устаткування займає середнє положення. Розвиток автоматизації устаткування дозволяє підняти продуктивність праці, але, як правило, супроводжується зниженням універсальності устаткування й звуженням технологічних областей його застосування.

Зі зменшенням життєвого циклу виробів у результаті швидкого науково-технічного прогресу й з відповідним збільшенням номенклатурного складу

виготовленої продукції, виникла необхідність у створенні таких виробництв, які забезпечують виготовлення деталей невеликими партіями при збереженні продуктивності, якості й собівартості, властивої багатосерійному виробництву.

При цьому проблему яка виникла не можна було вирішити за рахунок підвищення ефективності використання основного часу технологічного устаткування, тому що воно в будь-якому виробництві становить мінімальну частку. Як видно з рис. 2.1, основний машинний час роботи устаткування для виробництва дрібних партій деталей займає всього 6% від загального часу завантаження виробництва, а частка допоміжного часу в сукупності із втратами перевищує 50-60%. Тому основний упор був зроблений на автоматизації допоміжних операцій, забезпечення автоматичного функціонування устаткування у вечірні й нічні зміни, різке скорочення часу переналагоджень, переоснащення, зміни інструмента, автоматизацію керування матеріальними й інформаційними потоками.

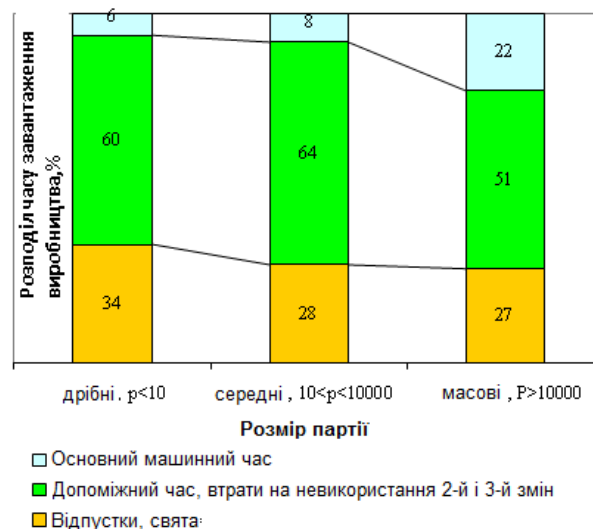


Рисунок 2.1 - Діаграма розподілу часу завантаження виробництва.

Весь період автоматизації ділять на шість рівнів, на яких була зроблена автоматизація циклу обробки; автоматизація завантаження (установка й зняття деталей з верстата); автоматизація контролю (за станом і положенням різального інструмента, якістю оброблюваних деталей, за станом верстата); автоматизація переналагодження устаткування на обробку нової деталі або

поверхні. А також під час автоматизації були створені й здані в експлуатацію гнучкі виробничі системи й інтегровані виробничі комплекси [49].

Автоматизація перерахованих вище елементів виробництва звільняє людину від постійного зв'язку з машиною й дозволяє розширити сферу обслуговування устаткування однією людиною.

Порядок виконання переходів обробки при виготовленні деталей на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах зі ЧПК типу ОЦ і на верстатах з ручним керуванням принципово однаковий; характерні лише більша концентрація переходів обробки на одному верстаті із ЧПК й прагнення повністю обробити деталь за один установ (це можливо, якщо обробка деталі не переривається термічною обробкою) [45,48].

Продуктивність обробки деталей на верстатах із ЧПК залежить від технологічних можливостей верстата (які в значній мірі визначаються технологічними можливостями пристроїв ЧПК), можливостей різального інструменту, правильного вибору моделі верстата й умов обробки деталі на ньому, правильного призначення послідовності виконання технологічних переходів і т.п.

Технологічні розробки, пов'язані з вибором методів обробки й послідовністю виконання переходів обробки деталі, базуються на принципах забезпечення: максимально можливої й доцільної концентрації переходів обробки в одній операції; роботи з оптимальними припусками й мінімальними напусками, що дозволяє скоротити номенклатуру різального інструменту, підвищити точність і продуктивність обробки, зменшити труднощі, що виникають при видаленні стружки; мінімального допоміжного часу з урахуванням характеристик верстатів по витратах часу на позиціонування, допоміжні ходи, зміну інструмента, поворот стола й т.п. [цим визначається доцільність обробки групи площин або однакових отворів зі зміною інструмента при обробці одного отвору (однієї площини) або групи отворів (площин)]; максимального врахування можливостей верстатів й обмежень по точностним параметрам верстатів, довжині консольного інструмента (обробка отворів довжиною не більше шести діаметрів), діаметру фрез і т.д.; обробки корпусних деталей коробчастої форми в послідовності: попередня обробка площин, чорнова обробка отворів, термічна обробка (старіння), напівчистова

обробка баз (площин) і інших не основних поверхонь, чистова обробка баз й основних отворів, обробка кріпильних отворів [13,15,24].

Обробка корпусної деталі, як правило, починається з виконання переходів фрезерування. Спочатку фрезерують торцевою або кінцевою фрезою зовнішні плоскі поверхні деталі, потім уступи, пази, виступи. Фрезерують внутрішні плоскі поверхні, пази й інші подібні їм елементи деталі, які розташовані на деякій відстані від зовнішніх плоских поверхонь деталі.

Послідовність виконання переходів обробки корпусних деталей на верстатах із ЧПК свердлильно-фрезерно-розточувальної групи наведена в табл.2.2.

Таблиця 2.1- Послідовність виконання переходів обробки корпусних деталей на верстатах із ЧПК.

Зміст переходів	Інструмент	Вказівки до виконання переходів
2. Фрезерування зовнішніх поверхонь (чорнове, напівчистове, чистове)	Торцеві фрези	Чистове фрезерування нежорстких і деформуємих при закріпленні деталей варто виконувати після перезакріплення (див. п. 10)
2.Свердління (расвердлення) у суцільних стінках (наскрізь — основних отворів під обробку; глухе — для введення кінцевих фрез). Діаметр отворів понад 30 мм	Свердла	Якщо в переходах, зазначених в 2 й 8 використовується той самий інструмент, то переходи можна сполучити
3. Фрезерування пазів, отворів, вікон, кишень, вибірок	Кінцеві фрези	Переходи варто виконувати відповідно до рекомендацій по фрезеруванню на верстатах із ЧПК*
4. Фрезерування внутрішніх поверхонь, перпендикулярних до осі шпинделя	Торцеві й кінцеві фрези	Те ж
5. Чорнове розточування, зенкерування основних отворів у суцільних стінках після переходів, зазначених в 2, прошитих, попередньо оброблених	Розточувальні різці, зенкери	—

Продовження табл. 2.2.

6. Обробка неточних додаткових поверхонь, розташованих в основних отворах і концентричних осях (канавок, виїмок, уступів, фасок)	Кінцеві, кутові, дискові й тому подібні фрези. Канавкові й фасочні різці, розточувальні «ножі», зенківки	Переходи фрезерування виконувати відповідно до рекомендацій по фрезеруванню на верстатах із ЧПК
7. Обробка додаткових поверхонь: на зовнішніх, внутрішніх і необроблюваних поверхнях	Кінцеві й шпонкові фрези	Переходи фрезерування виконувати відповідно до рекомендацій по фрезеруванню на верстатах із ЧПК
8. Обробка кріпильних й інших допоміжних отворів діаметром понад 15 мм (свердління, расвердлення, зенкерування, зенкування, нарізання різьблення)	Свердла, зенкера, зенківки, мітчики	—
9. Зняття прямих фасок навкруги	Кутові фрези	—
10. Перезакріплення деталі, перевірка положення рухливих органів верстата, очищення посадкових гнізд у шпинделі верстата для забезпечення точності обробки		Переходи можна не виконувати, якщо деталь не деформується при закріпленні й верстат забезпечує достатню точність
12. Остаточне фрезерування плоских поверхонь	Торцеві фрези	Переходи виконуються при обробці деталей нежорстких або сильно деформуємих при закріпленні
12. Обробка точних поверхонь основних отворів (розточування, розгортання)	Розточувальні різці, розгортки	Те ж
13. Обробка точних і точно розташованих отворів малого розміру	Свердла, розточувальні різці, розгорнення	—
14. Обробка точних і точно розташованих додаткових поверхонь (канавок, уступів,) в отворах	Розточувальні різці, дискові тристоронні фрези	—

Продовження табл. 2.2.

15. Обробка виїмок, пазів, кишень, прорізів і т.п., несиметричних щодо отвору	Дискові й кінцеві фрези. Фасонні, канавкові, фасочні, різці	—
16. Обробка фасок й інших поверхонь, пов'язаних з основними отворами	Дискові й кутові фрези. Канавкові й фасочні різці	—
17. Обробка кріпильних й інших невідповідальних отворів малого розміру (центрування, свердління, зенкування, зенкерування і нарізання різьб)	Свердла, зенківки, зенкера, мітчики	Можуть виконувати, починаючи з переходів, зазначених у п. 8

2.2 Аналіз технологічності виготовлення деталі «Кронштейн» на оброблювальних центрах

Оцінка технологічності конструкції деталі – це важливий етап технологічної підготовки виробництва. Конструкція деталі є технологічною, якщо при її виготовленні й експлуатації витрати матеріалу, часу й засобів мінімальні. Оцінка технологічності проводиться якісно й кількісно з розрахунком показників технологічності за ДСТУ 14.201 - 83. Якісна оцінка («добре», «погано») передує кількісній [16].

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 й ув'язування 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 заготівлі при обробці; наявність елементів, зручних для закріплення заготівлі в пристосуванні, причому

затискні елементи повинні забезпечувати доступ для обробки всіх поверхонь деталі й високу жорсткість системи заготівля — пристосування; можливість обробки максимального числа поверхонь із однієї установки з використанням в основному консольно закріпленого інструмента; відсутність або зведення до мінімуму глухих отворів й отворів, розташованих не під прямим кутом до основних координатних осей деталі (взаємне кутове розташування оброблюваних поверхонь повинне враховувати дискретність кутів повороту стола верстата й можливість використання стандартних кутових фрез); максимальна можлива уніфікація форми й 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 [6,20].

Деталі, дані в завданні випускної роботи, виготовляються з алюмінію АЛ9 і чавуну СЧ 20 (рис. 2.2).

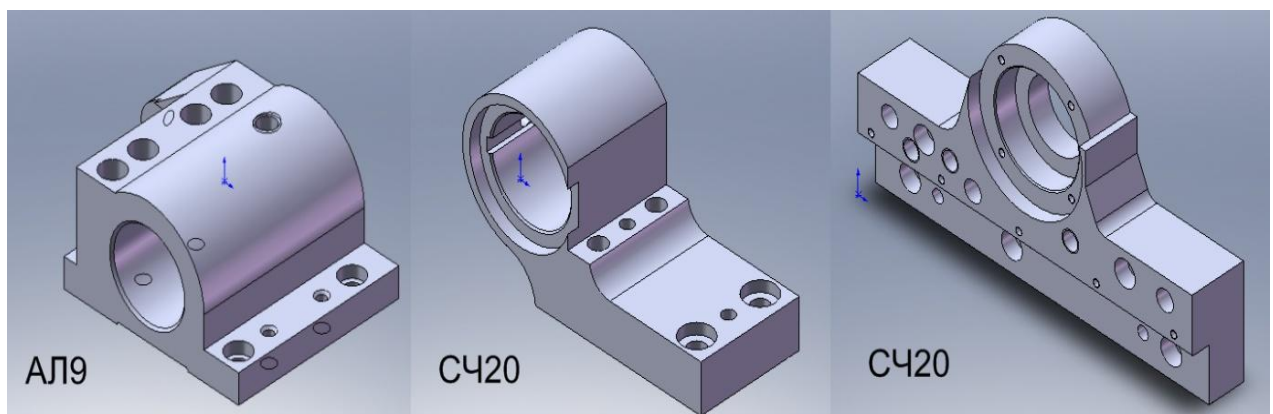


Рисунок 2.2 - Деталі типу «Кронштейн».

Алюміній – метал із щільністю $2,7 \text{ г/см}^3$, має низький питомий електричний опір $0,286 \text{ Ом}/(\text{мм}^2 \cdot \text{м})$, теплопровідністю й корозійною стійкістю.

АЛ9 – ливарний алюмінієвий сплав на основі системи Al-Si, що відрізняється високими ливарними властивостями, задовільною корозійною стійкістю, може довготривало працювати при температурах $150\text{-}200^\circ$. Для

даного матеріалу межа міцності 210 МПа, твердість НВ 60, температура при литті 690-740°C. Застосовуються будь-які способи лиття. АЛ9 використовують для виготовлення деталей складного профілю, що працюють в агресивних середовищах і потребують зварювання.

СЧ 20 - це сірий (із сірим зламом) ливарний чавун - сплав заліза зі змістом вуглецю більше 2%, що перебуває в основному у формі графіту. Даний сплав має межу міцності 400 МПа й твердість НВ 170-242. З нього виготовляють відповідальні відливки з товщиною стінок до 30 мм.

Далі буде проведений аналіз деталі «Кронштейн 1», тому що вона містить у собі найбільшу кількість усіляких конструктивних елементів, які зустрічаються в деталях типу «Кронштейн», а також має велику кількість вимог по точності й шорсткості.

2.2.1 Аналіз точності й шорсткості

Більшість лінійних і деяких діаметральних розмірів мають максимально низьку точність для даної деталі 14 квалітету й шорсткість Ra12,5 (Rz80). Це обумовлено тим, що дані поверхні не беруть участь у сполученнях або роль сполучень не впливає на точність з'єднання з іншими деталями.

Отвори Ø35H7 із шорсткістю Ra1,0 й Ø8H7 з шорсткістю Ra0,5 мають такі високі показники тому, що вони виконують основну функцію: у них містяться вали, які за допомогою даного кронштейна кріпляться у вузлі.

Задній торець кронштейна має шорсткість Ra2,0 - він сполучається із площиною іншої деталі.

Отвори з метричним різьбленням M10-7H и M5-6H мають шорсткість Ra3,2 (Rz16) і є точними тому, що в них розміщуються кріпильні елементи, за допомогою яких виконується натяг валів в основних отворах кронштейна.

Чотири отвори Ø7/Ø11 мають шорсткість Ra4,0 (Rz16), тому що є отворами під кріпильні елементи для з'єднання кронштейна з базовою деталлю вузла, а також є отворами для закріплення деталі на пристосуванні при обробці на металорізальних верстатах.

Чотири отвори М6-7Н - точні отвори з метричним різьбленням для більш точного кріплення кронштейна до базової деталі вузла.

Точність і шорсткість перерахованих вище поверхонь зазначені вірно, оскільки поверхні, до яких вони належать, є важливими функціональними елементами й сполучаються з іншими деталями (високі вимоги, щоб знизити тертя, а як результат - зношування деталей).

Щодо просторового розташування оброблюваних поверхонь – у цілому деталь є технологічною. Багато поверхонь не мають жорстких вимог до точності розмірів, форми або розташування. Лише основний отвір має допуск перпендикулярності до торцевої поверхні величиною 0,03 мм, а також вісь основного отвору має допуск на відхилення від паралельності до нижньої поверхні (головної поверхні, що базує) величиною 0,03 мм.

2.2.2 Аналіз методів базування виробу

Для базування при обробці кронштейна на металорізальних верстатах, з огляду на наявність різних конструктивних елементів, зручніше за чистові бази використовувати площину й два отвори під пальці. Площиною для базування є нижня поверхня деталі, а отворами під базові пальці - два отвори $\varnothing 7$ ($\varnothing 7/\varnothing 11$), які розташовані по діагоналі. Кріпильними є отвори $\varnothing 7/\varnothing 11$, розташовані проти базових [15,50].

Дані бази використовуються протягом, практично, всієї обробки деталі (крім операції по обробки цих базових поверхонь). Установка й закріплення деталі за допомогою вищевказаних баз здійснюється один раз й не змінюються протягом всієї обробки. Використання спеціального пристосування дозволяє виконувати обробку з п'яти сторін без переустанови. Це дозволяє досягти високої точності й малої погрішності оброблюваних поверхонь [50].

2.2.3 Аналіз технологічності конструктивних елементів деталі «Кронштейн»

Найбільше технологічною вважають конструкцію корпусної деталі, що відповідає наступним вимогам [13,21,24,39,48].

1. Зовнішні поверхні деталі повинні мати відкриту форму, що

забезпечує можливість обробки на прохід у напрямку подачі.

2. У конструкції деталі варто уникати похилого розташування оброблюваних поверхонь, наявності фасонних ділянок, складних уступів і пазів, що переривають плоскі поверхні й отвори.

3. Головні отвори, що вимагають точної обробки, варто робити гладкими наскрізними з мінімальним числом шаблів, що дозволяє виконувати обробку на прохід з меншим числом інструментів.

4. Отвори варто розташовувати перпендикулярно до плоских поверхонь; при наявності похилих отворів розташування їхніх осей повинне бути доступно для обробки при повороті обертового стола із закріпленою заготівлею.

5. Оброблювані поверхні деталі необхідно розташовувати в доступні для обробки площинах, які можуть бути звернені до шпинделя при послідовному повороті стола із заготівлею на певний кут.

6. Кріпильні отвори бажано призначати однакових розмірів з можливістю нарізування в них різьблення мітчиками, що дозволяє використати стандартні цикли обробки.

7. Деталь повинна мати достатню твердість і міцність, при яких виключається можливість вібрації в процесі обробки або неприпустимого деформування від сил різання й закріплення.

Деталь «Кронштейн 1» (див. рис. 2.3) має складну форму: деталь складається з декількох фасонних поверхонь і пари уступів, що знижує технологічність деталі в цілому, але за допомогою застосування спеціального пристосування й простих кінцевих фрез легко досягти необхідної для обробки поверхні.

Основні отвори мають високу точність і простоту конструкції (відсутність шаблів або інших елементів, для яких необхідна додаткова обробка), що дозволяє обробляти їх на прохід із застосуванням простих інструментів меншої номенклатури. Це підвищує технологічність деталі.

Більшість отворів розташовуються перпендикулярно до плоских поверхонь, але наявність двох різьбових отворів, які розташовуються на зовнішніх циліндричних поверхнях, знижує технологічність всієї деталі. При обробці отворів на оброблювальному центрі складностей не виникне, оскільки на ньому легко проводити зняття металу з усіх боків деталі [3, 8].

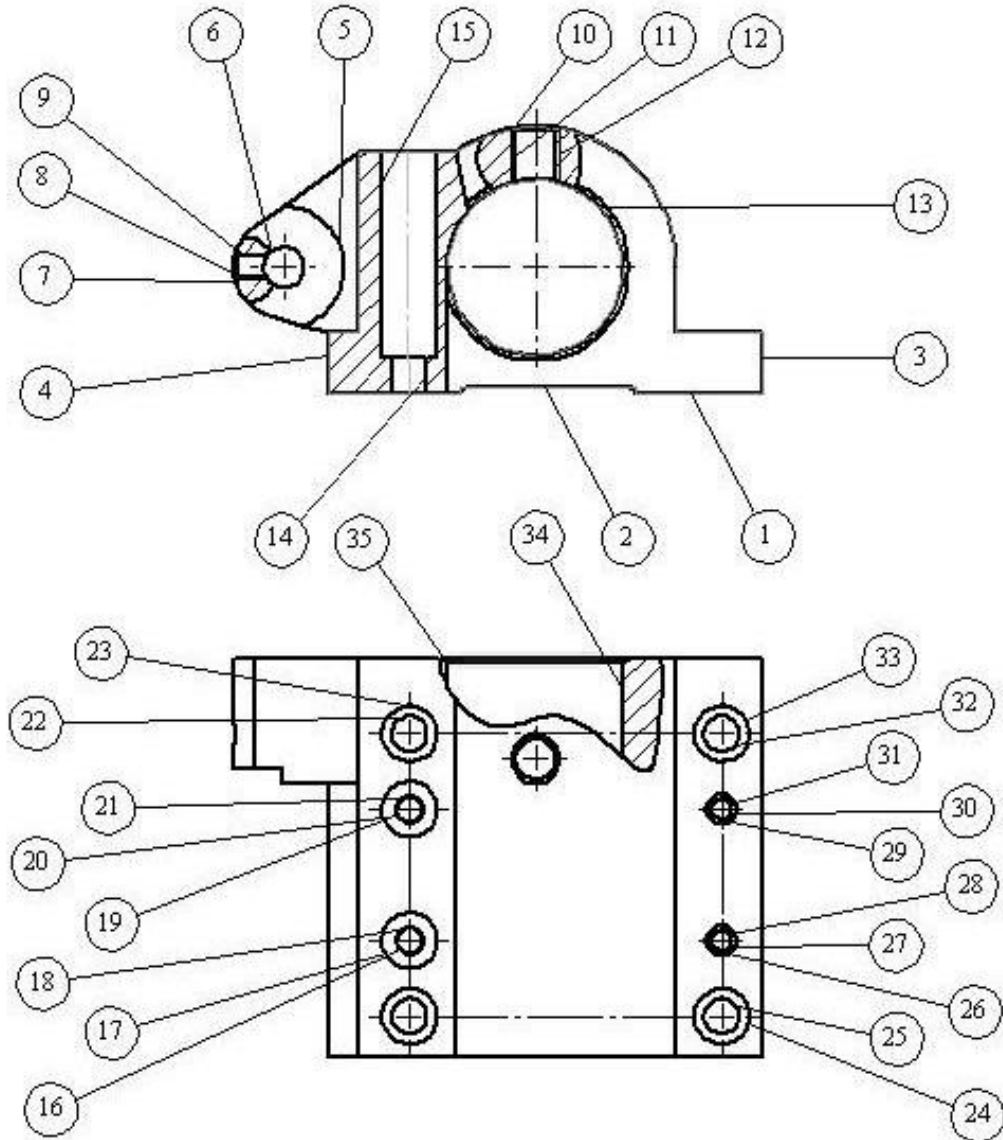


Рисунок 2.3 - Деталь «Кронштейн».

Кріпильні отвори мають однакові діаметри, що знижує номенклатуру використовуваних різальних інструмент, а звідси й знижує витрати й час на виготовлення деталі в цілому. Тільки погіршує технологічність їхнє нерівномірне розміщення по висоті.

У цілому, деталь має нормальну жорсткість, але наявність вушка знижує її. Для досягнення точної форми й розташування всіх елементів друг відносно друга, елемент, що знижує твердість всієї деталі, буде оброблятися наприкінці технологічного процесу.

Після повного якісного аналізу можна сказати, що деталь є технологічною, лише деякі її елементи знижують технологічність. Але за допомогою використання спеціального пристосування зменшується необхідність у деяких різальних інструмент, і з'являється можливість використати оптимальні режими різання. Це знижує витрати грошей і часу, отже підвищується технологічність.

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

Кількість показників повинне бути мінімальним, але достатнім для оцінки технологічності [20].

За допомогою коефіцієнтів обробки поверхні, уніфікованих оброблюваних поверхонь, точності обробки, шорсткості поверхні й співвідношення точність – шорсткість проведена оцінка технологічності кількісним методом. Дані, необхідні для розрахунку коефіцієнтів представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Загальна таблиця поверхонь деталі.

№ п/п	Номинальний розмір	Шорсткість	Точність	Співвідношення	Уніфікація
1	79×86	Rz80	14	1	0
2	35×1	Rz16	14	1	1
3	12×79	Rz80	14	1	0
4	12×79	Rz80	14	1	0
5	R12H14	Rz80	14	1	0
6	Ø8H7	0,5	7	1	1
7	1×45°	Rz80	14	1	1
8	M5-6H	Rz16	6	0	1
9	Ø4H14	Rz80	14	1	1
10	1×45°	Rz80	14	1	1

11	Ø8H14	Rz80	14	1	1
12	M10-7H	Rz16	7	0	1
13	1×45°	Rz80	14	1	1
14	Ø7H14	Rz80	14	1	1
15	Ø11H14	Rz16	14	1	1
16	Ø5H14	Rz80	14	1	1
17	Ø11H14	Rz16	14	1	1
18	M6-7H	Rz80	7	0	1
19	Ø11H14	Rz16	14	1	1
20	Ø5H14	Rz80	14	1	1
21	M6-7H	Rz80	7	0	1
22	Ø7H14	Rz80	14	1	1
23	Ø11H14	Rz16	14	1	1
24	Ø11H14	Rz16	14	1	1
25	Ø7H14	Rz80	14	1	1
26	0,5×45°	Rz80	14	1	1
27	M6-7H	Rz80	7	0	1
28	Ø5H14	Rz80	14	1	1
29	M6-7H	Rz80	7	0	1
30	Ø5H14	Rz80	14	1	1
31	0,5×45°	Rz80	14	1	1
32	Ø7H14	Rz80	14	1	1
33	Ø11H14	Rz16	14	1	1
34	Ø35H7	1,0	7	1	1
35	1×45°	Rz80	14	1	1

1. Коефіцієнт обробки поверхонь:

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

де P_o – кількість оброблюваних поверхонь;

P - загальна кількість поверхонь.

$$K_{on} = 1 - \frac{35}{35} = 0.$$

2. Коефіцієнт уніфікованих оброблюваних поверхонь деталі:

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

де P_{oy} – кількість оброблюваних уніфікованих поверхонь;

P_o – кількість оброблюваних поверхонь.

$$K_{yn} = \frac{31}{35} = 0.886.$$

3. Коефіцієнт точності обробки:

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

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

$$T_{сер} = \frac{1}{\Pi_o} \cdot \sum_{k=1}^n T_k \cdot \Pi_{ок}, \quad (2.4)$$

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

$$T_{сер} = \frac{1}{35} \cdot ((14 \cdot 27) + (7 \cdot 7) + (6 \cdot 1)) = 12.37;$$

$$K_m = 1 - \frac{1}{12.37} = 0.919.$$

4. Коефіцієнт шорсткості поверхні:

$$K_u = 1 - \frac{1}{Шсер}, \quad (2.5)$$

де $Шсер$ – середньозважений квалітет точності обробки поверхонь:

$$Шсер = \frac{1}{\Pi_o} \cdot \sum_{k=1}^n Ш_k \cdot \Pi_{ок}, \quad (2.6)$$

де $Ш_k$ – показник шорсткості, $\Pi_{ок}$ – кількість поверхонь даного показника.

$$Шсер = \frac{1}{35} \cdot ((12.5 \cdot 24) + (2.5 \cdot 9) + (1.0 \cdot 1) + (0.5 \cdot 1)) = 9.26;$$

$$K_u = 1 - \frac{1}{9.26} = 0.892.$$

5. Коефіцієнт співвідношень «точність - шорсткість»:

$$K_{снів} = \frac{C_+}{\Pi_o}, \quad (2.7)$$

де C_+ - кількість співвідношень задовольняючих припустимим.

$$K_{снів} = \frac{25}{35} = 0.714.$$

У цілому деталь є технологічною, оскільки при повній її обробці ($K_{ін}=0$ – немає необроблюваних поверхонь) більшість її поверхонь є уніфікованими ($K_{уп}=0,886$), а, отже, ніякі спеціальні інструменти й режими різання не потрібні – це економія часу й грошей. Також, загалом, до деталі немає жорстких вимог по шорсткості (середній показник шорсткості дорівнює 9,26) і точності (середній квалітет точності поверхонь деталі дорівнює 12) до оброблюваних поверхонь – отже необхідна невелика кількість технологічних переходів. А

співвідношення «точність-шорсткість» мають високий показник ($K_{\text{спів}}=0,714$) – виходить, ніяких додаткових операцій по зменшенню шорсткості або поліпшенню якості обробки не потрібно.

2.3 Висновки

Ефективність виробництва, його технічний прогрес, якість продукції, що випускається багато в чому залежать від розвитку виробництва нового обладнання, машин, верстатів і апаратів, від усіякого впровадження методів техніко-економічного аналізу, що забезпечує рішення технічних питань й 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, заглиблюються і узагальнюються знання, отримані студентами під час лекційних і практичних занять.

Основною метою випускної роботи є підвищення продуктивності ділянки механічної обробки різанням деталей типу «Кронштейн» на основі застосування групових методів обробки в умовах дрібносерійного автоматизованого виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. виконати аналіз літературних даних по даній тематиці;
2. розробити технологічну документацію для обробки деталей типу «Кронштейн» в умовах дрібносерійного автоматизованого виробництва;
3. підібрати технологічне оснащення для базування й транспортування об'єкта обробки;
4. вибрати основне й допоміжне технологічне устаткування;
5. виконати моделювання системи виготовлення деталі «Кронштейн»;
6. виконати нормування процесу обробки виробу «Кронштейн» на обробному центрі VA 500.

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 «Кронштейн».

Необхідно враховувати особливості конструкції, габарити оброблюваних деталей для підбора основного й 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 «КРОНШТЕЙН»

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

Технологічна підготовка виробництва (ТПВ) - сукупність заходів, що забезпечують технологічну готовність виробництва. Остання визначається наявністю на підприємстві повних комплектів конструкторської й технологічної документації й СТО, необхідних для здійснення заданого обсягу випуску продукції із установленими техніко-економічними показниками [20,35,39,48].

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

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

В одиничному й дрібносерійному виробництвах продовжують експлуатувати досить прості по конструкції універсальні верстати з ручним керуванням. Підвищення продуктивності на цих верстатах досягається шляхом оснащення верстатів спеціальними пристосуваннями й 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 й деякою мірою є розроблювачем процесу [49].

Розрізняють чотири основних джерела підвищення ефективності виробництва й економії: застосування прогресивних технологічних процесів;

трудомісткими при виготовленні, і їхня обробка включає значне число операцій, пов'язаних з перевстановленням, закріпленням, контролем операцій після перевстановлення та ін. Все це сприяло появі багатоопераційних верстатів із ЧПК з автоматичною зміною інструмента, що дозволяють концентрувати велику кількість переходів за один установ. Застосування таких верстатів сприяло зниженню допоміжного часу при обробці корпусних деталей, а отже - знизити собівартість деталей.

2.2 Розробка групового маршруту виготовлення деталі «Кронштейн» у системі SolidCAM

У якості завдання для виконання випускної роботи, були видані три деталі типу кронштейн і маршрутно-операційні технології їхньої обробки (рис. 3.2 [27]).

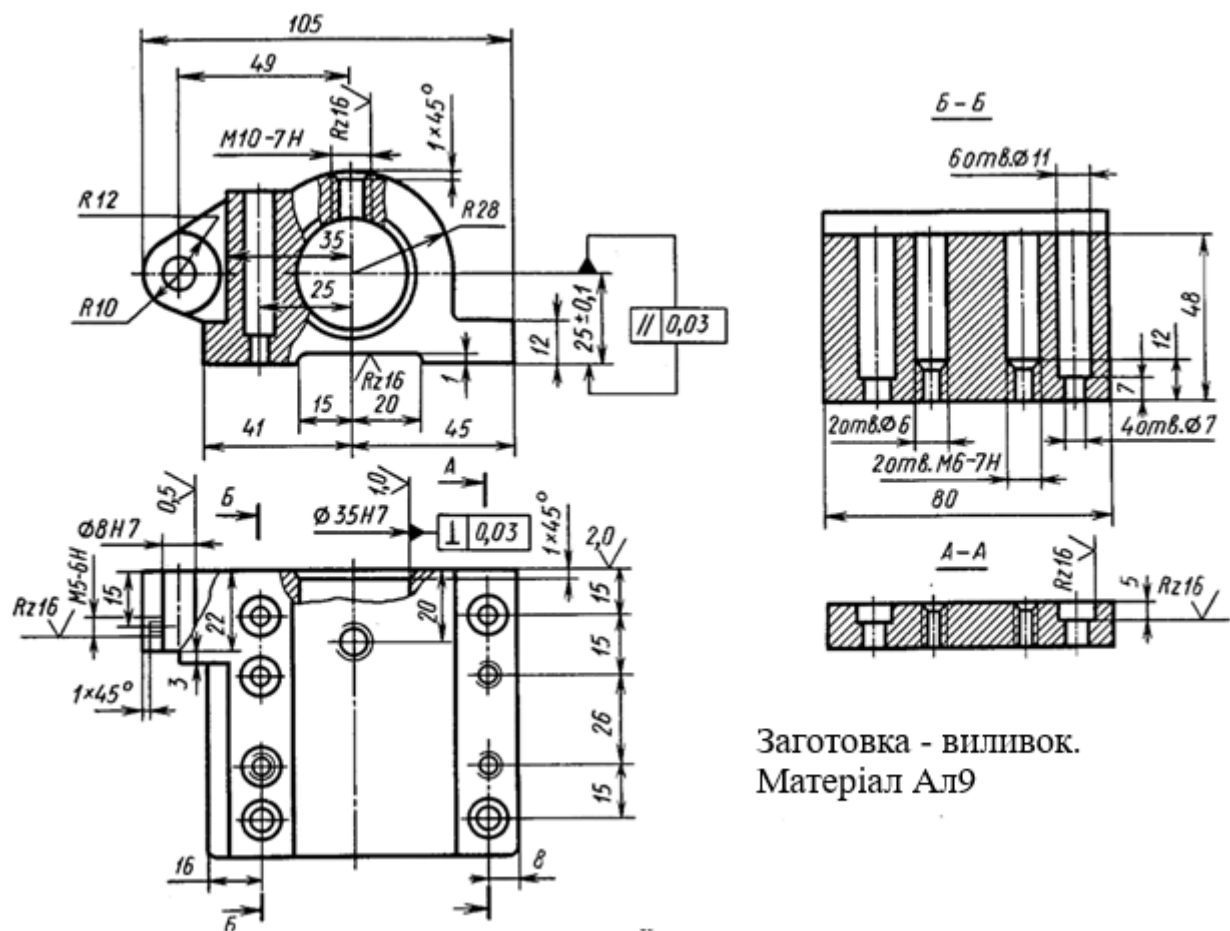


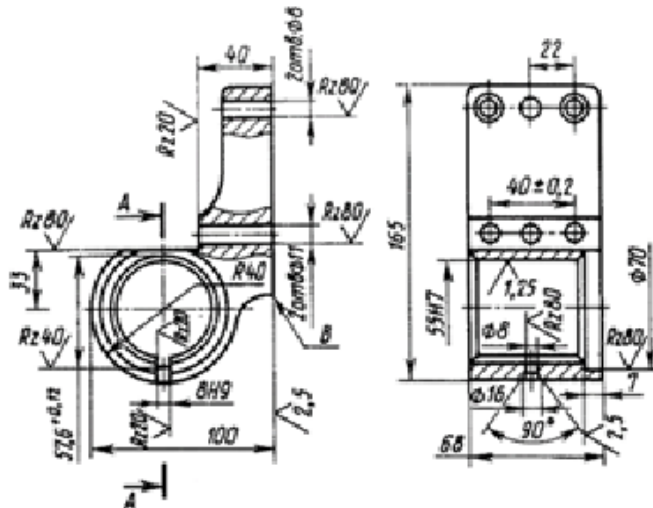
Рисунок 3.2 - Базові технологічні процеси виготовлення деталей типу «Кронштейн».

Продовження рис. 3.2.

Операція	Зміст та найменування операції	Верстат, обладнання	Оснащення
005	Лиття		
010	Обрубування та очищення виливків		
015	Навісити бирку з номером деталі		
020	Фрезерувати поверхню прилягання попередньо	Вертикально-фрезерний 6Т13	Пристосування
025	Фрезерувати торець отвору Ø35Н7 попередньо, розточити отвір Ø35Н7 попередньо	Багатоцільовий з ЧПК та інструментальним магазином ІР320МФ4	Налагодження УСПО двомісне
030	Притупити ДСТУрі кромки	Машина для зняття задирок	
035	Термічна обробка		
040	Фрезерувати торець отвору Ø35Н7 остаточно, розточити розгорнути отвір Ø35Н7 остаточно, свердли, розточити та розгорнути отвір Ø35Н7 остаточно	Багатоцільовий з ЧПК та інструментальним магазином ІР320МФ4	Налагодження УСПО
045	У першій позиції: фрезерувати поверхню прилягання і паз В = 35 (15+20) остаточно, свердли 4 отвори Ø7, для отворів Ø6, свердли і нарізати різьбу у двох отворах М6 - 7Н. У другий позиції: зенкерувати чотири отвори Ø7 до Ø11 остаточно, розсвердли два отвори Ø6 до Ø11 остаточно, зацентрувати, свердли нарізати різьбу М10-7Н остаточно.	Багатоцільовий з ЧПК та інструментальним магазином ІР320МФ4	Налагодження УСПО двопозиційне
050	Притупити ДСТУрі кромки	Машина для зняття задирок	
055	Технічний контроль		
060	Консервація		

Невказані граничні відхилення: валів h14, отворів Н14, інших ±IT14/2

Продовження рис. 3.2.

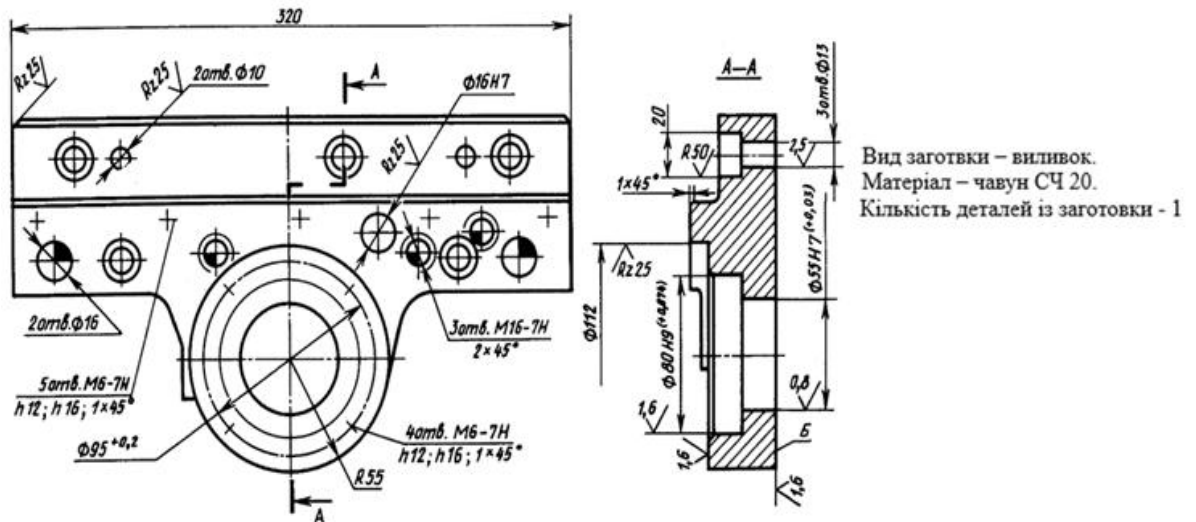


Вид заготовки – виливок.
Матеріал – чавун СЧ 20.
Кількість деталей із заготовки - 1

Операція	Зміст та найменування операції	Верстат, обладнання	Оснащення
005	Лиття		
010	Обрубання та очищення виливків		
015	Малярна		
020	Навісити бирку з номером деталі		
025	У першій позиції: фрезерувати площину прилягання у розмірі 100 і 28 остаточно. Свердлимо чотири отвори Ø11. Свердлимо і розгорнути два отвори Ø8 до Ø8H7 технологічно. У другій позиції: фрезерувати уступ у розмірі 40 та 73 (R40 + 33) остаточно. Зенкерувати два отвори Ø11 до Ø20 остаточно. У третій позиції: розточити отвір Ø55H7, виточення Ø70 з пропилом торця Ø55H7/Ø70 остаточно.	Розточувально-свердлильно-фрезерний з ЧПК та інструментальним магазином 2254ВМФ4	Налагодження УСПО трипозиційне
030	Зенкерувати фаску 1×45° в отвори Ø55H7	Вертикально-свердлильний 2Н135-1	
035	Протягнути паз b = 8H9 остаточно	Горизонтально-протяжний 7512	
040	Притупити ДСТУрі кромки	Машина для зняття задирок	
045	Промити деталь	Мийна машина	
050	Технічний контроль		
055	Нанесення антикорозійного покриття		

Невказані граничні відхилення: валів h14, отворів H14, інших ±IT14/2

Продовження рис. 3.3.



Операція	Зміст та найменування операції	Верстат, обладнання	Оснащення
005	Лиття		
010	Обрубання та очищення виливків		
015	Малярна		
020	Навісити бирку з номером деталі		
025	Фрезерувати поверхню 6 розмір 32 і протилежну поверхню розмір 52 попередньо	Карусельно-фрезерний 6М23С13	Налагодження УСПО двопозиційне чотиримісне з гідравлічним затискачем
030	Притупити ДСТУрі кромки	Машина для зняття задирок	
035	Фрезерувати верхню поверхню у розмір 84+2 (120-36)	Горизонтально-фрезерний 6Т82Г	Пристосування з гідравлічним затискачем
040	Фрезерувати два торці розміром 324 попередньо	Те саме	Те саме
045	Розточити отвір Ø55Н7 до Ø 50	Горизонтально-розточувальний 2А614Ф1	Пристосування УСПО
050	Притупити ДСТУрі кромки	Машина для зняття задирок	
055	Штучно старити деталь		
060	Фрезерувати поверхню Б розмір 30,3 і протилежну поверхню у розмір 48,6 під шліфування	Карусельно-фрезерний 6М23С13	Налагодження УСПО двопозиційне чотиримісне з гідравлічним затискачем

Продовження рис. 3.3

065	Притупити ДСТУрі кромки	Машина для зняття задирок	
070	Фрезерувати поверхню Б розмір 84 (120-36) остаточно	Горизонтально-фрезерний 6Т82Г	Пристосування з гідравлічним затискачем
075	Фрезерувати два торці розміром 320 остаточно	Те саме	Те саме
080	Шліфувати поверхню Б розмір 30 і протилежну поверхню у розмір 48 остаточно	Плоскошліфовальний ЗП722ДВ	Магнітна плита
085	Притупити ДСТУрі кромки	Машина для зняття задирок	
090	Розточити отвір Ø55Н7, отвір Ø80Н9 і виточення Ø112 остаточно. Свердли та зенкерувати п'ять отворів Ø13/Ø20; свердли два отвори Ø16 і два отвори Ø10, свердли, зенкерувати і розгорнути отвір Ø16Н7, свердли та нарізати різьбу в одинадцяти отворах М6 - 7Н, свердли і нарізати різьбу в трьох отворах М16-7Н, свердли, разсвердли та нарізати різьбу в отворі Ø22/М10×1 -7Н	Горизонтальний розточувально-свердлильно-фрезерний з ЧПК та інструментальним магазином 2204ВМФ4	Налагодження УСПО
095	Притупити ДСТУрі кромки	Машина для зняття задирок	
100	Промити деталь	Мийна машина	
105	Технічний контроль		
110	Нанесення антикорозійного покриття		

Невказані граничні відхилення: валів h14, отворів Н14, інших ±IT14/2

Груповий технологічний процес (ГТП) 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 й маршрут обробки, необхідні для одержання виробу [30,45].

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

1. Розроблено узагальнений маршрут обробки (еквівалент ГТП) деталей «Кронштейн 1», «Кронштейн 2» й «Кронштейн 3»;
3. Сформовано групові технологічні операції обробки виробу;
3. Підібрано основне й допоміжне устаткування, технологічне оснащення й 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 сформовані конкретні технологічні процеси виготовлення деталей «Кронштейн 1», «Кронштейн 2» й «Кронштейн 3»;
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 кожної деталі групи залежно від типу виробництва.

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

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

За вищевказаною схемою обробляються всі три деталі, що входять у групу групового процесу. Наявність поверхонь того або іншого кронштейна

зазначена в табл. 3.1, що була складена на підставі групового маршруту обробки.

Таблиця 3.1 - Поверхні кронштейнів по переходах.

№ Операції	№ Переходу	Кронштейн №		
		1	2	3
005	01	×	×	×
	02	×		
	03		×	
	04			×
	05	×		
	06		×	
	07		×	
	08			×
	09			×
	10		×	
	11			×
	12	×		
010	01	×	×	×
	02	×		
	03		×	
	04			×
020	01	×	×	×
	02	×		
	03		×	
	04			×
	05	×		
	06	×		
	07	×		
	08		×	
	09			×
	10			×
	11			×
	12			×
	13			×
	14			×
	15	×		
	16			×
	17	×		
	18	×		
	19			×
	20			×
	21			×
	22	×		
	23	×		
	24	×		
	25			×
	26			×
	27			×
	28			×

№ Операції	№ Переходу	Кронштейн №		
		1	2	3
	29			×
	30			×
	31			×
	32			×
	33	×	×	
	34	×		
	35		×	
	36	×		
	37		×	
	38		×	
	39	×		
	40		×	
	41	×		
	42	×		
	43	×		
	44	×		
	45		×	
	46	×		
	47		×	
	48	×	×	
	49	×		
	50		×	
	51	×		
	52	×	×	
	53	×		
	54		×	
	55	×		
	56		×	
	57	×		

Примітка: × - перехід належить до процесу обробки відповідної деталі.

За допомогою даної програми спочатку був складений груповий маршрут обробки трьох деталей типу «Кронштейн». При цьому операції, при обробці базових поверхнях, здійснюються на універсальному вертикально-фрезерному верстаті, а всі інші – на оброблювальному центрі VA 500 (рис. 3.3) [7].

В операції 005 обробляються базові площина й отвори. Далі в операції 010 обробляються отвори під кріплення деталей «Кронштейн» на пристосуванні. Наступною операцією - 015 - є мийна: здійснюється промивання деталей перед обробкою їх на сучасному оброблювальному центрі.

В операцію 020 входять такі види обробки: фрезерування контурних поверхонь растровим способом, далі, не міняючи положення деталей (не повертаючи пристосування), здійснюється обробка кріпильних отворів. Після

повертаємо пристосування й обробляємо торці деталей, а далі розточуємо основні отвори, і до оброблюємо контури деталей (складні контуру деталей не дозволяють їх обробити в одному положенні). У цьому ж положенні обробляємо другорядні поверхні: фаски, канавки. Далі міняємо положення пристосування й обробляємо неопрацьовані торці й другорядні поверхні.

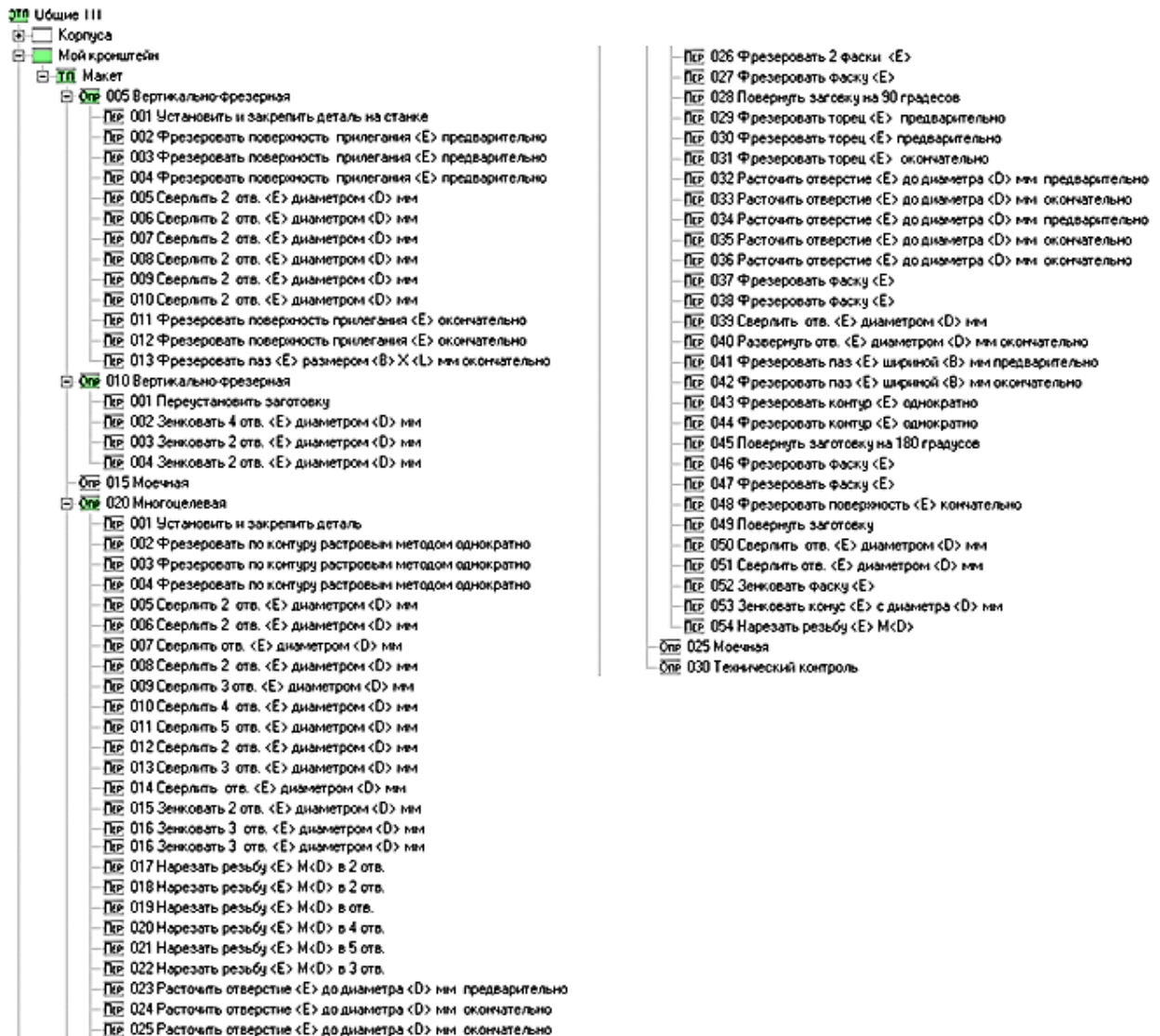


Рисунок 3.3. – Групповой ТП на обработку деталей типа «Кронштейн».

Операція 025 - промивання оброблених деталей, а 030 - контрольна операція: контролюються точні поверхні й відстані, які необхідно витримати точно.

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

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 й різальні інструменти.

У проектному ТП використовується два види металорізальних верстатів: універсальний вертикально-фрезерний верстат моделі 6Н12ПБ, а також оброблювальний центр VA 500 [7].

Вертикально-фрезерний верстат моделі 6Н12ПБ - універсальний верстат підвищеної точності, який призначений для швидкісного фрезерування різних деталей середніх розмірів і маси із чорних і кольорових металів.

Оброблювальний центр VA 500 - це сучасний багатоцільовий верстат із ЧПК, що має клас точності - С3. Завдяки системі ЧПК верстат легко й швидко переналагоджується на обробку різноманітних деталей. Максимальна маса, оброблюваних деталей на цьому центрі, 300 кг.

На вертикально-фрезерному верстаті (рис. 3.4) обробляються базові поверхні, а також поверхні під кріплення на всіх деталях групи. Даний верстат має такі технічні характеристики:

—Розміри робочої поверхні стола в мм.....	320×1250
—Число швидкостей обертання шпинделя.....	18
—Межі чисел обертів шпинделя у хвилину.....	63-3150
—Потужність головного електродвигуна у кВт.....	10
—Кількість швидкостей подач стола.....	18
—Межі швидкостей стола в мм/хв:	
поздовжніх.....	40-2000
поперечних.....	27-1330
вертикальних.....	13-665
—Швидкість швидкого поздовжнього переміщення стола у мм/хв.....	4000
—Потужність електродвигуна привода подач у кВт.....	1,7

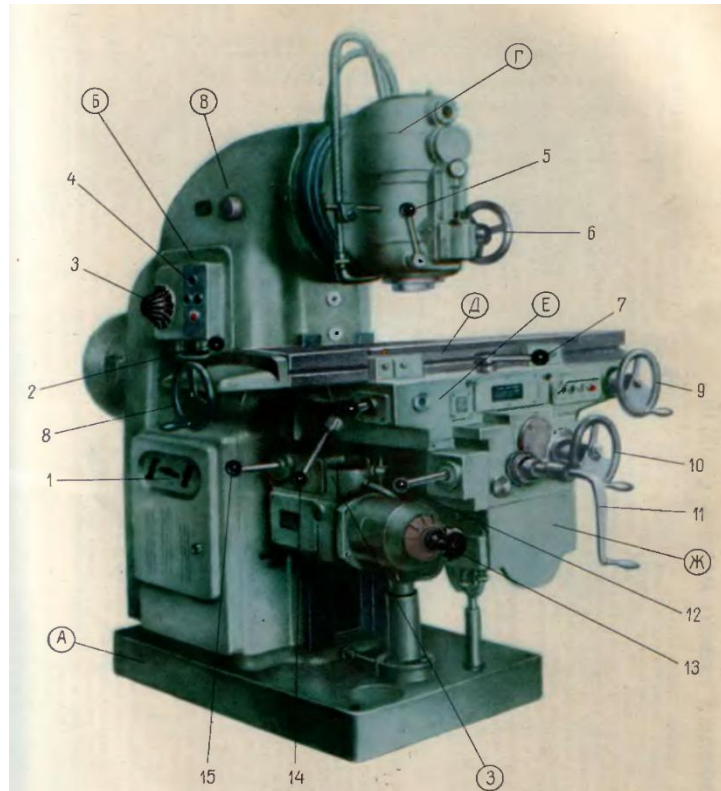


Рисунок 3.4 – Вертикально-фрезерний верстат моделі 6Н12ПБ [9].

Інші поверхні в кронштейнах обробляються на вертикальному оброблювальному центрі VA 500 (рис. 3.5).

Технічні характеристики оброблювального центра:

—Потужність двигуна у кВт.....	22,5
—Максимальні оберти шпинделя у хвилину.....	20000
—Переміщення по осі X у мм	500
—Переміщення по осі Y у мм.....	400
—Переміщення по осі Z у мм	450
—Розмір стола в мм.....	400x700
—Позиціювання в мм.....	0,005/300
—Стабільність позиціювання в мм.....	±0,003
—Швидка подача в мм/хв по:	
Осям X, Y.....	24000
Осі Z.....	2400



Рисунок 3.5 – Вертикально-обробний центр VA 500.

Також, для трьох кронштейнів, для яких складається груповий ТП, було розроблено єдине пристрій (рис. 3.6), оскільки всі деталі групи мають однакову схему базування.

Пристрій було створено з набору елементів УЗП, при застосуванні якого лише змінювалося місце розташування деяких його частин. Оскільки даний вид оснащення має більшу гнучкість, і у відмінності від спеціальних пристроїв, меншу вартість (тому що даний вид пристосування можна використати й для інших деталей), його часто застосовують в умовах дрібносерійного й одиничного виробництва. Це пристосування використовується на всіх переходах при обробці деталей на оброблювальному центрі.

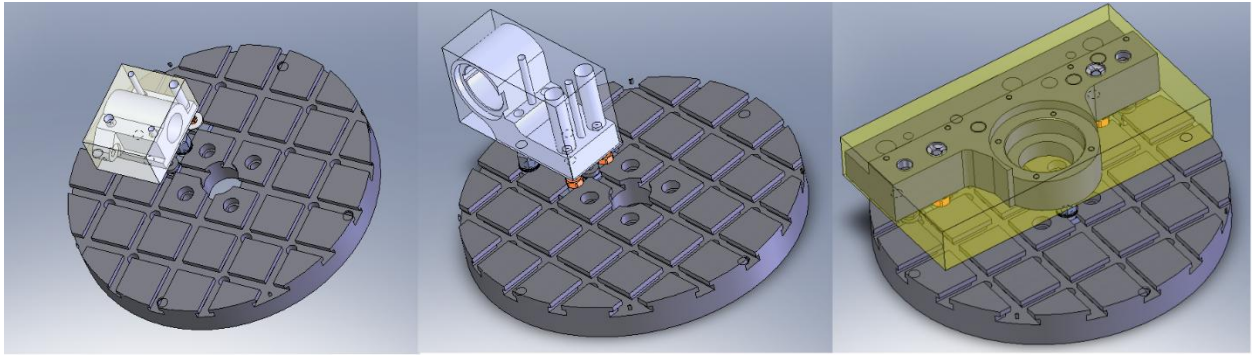


Рисунок 3.6 - УЗП для обробки деталей типу «Кронштейн».

Оскільки габаритні розміри деталей «Кронштейн» не сильно відрізняються, тому на перших операціях застосовуються одні лещата 7200-0008 160 ДСТУ 14904-1993.

Одним з варіантів зменшення вартості виробництва будь-якої деталі може бути зменшення номенклатури використовуваних різальних інструментів. Для групового ТП також прагнуть зменшити кількість різноманітних різальних інструментів для кожної деталі, і на одній операції для всіх деталей використати один інструмент. У проектуємому ТП на деяких переходах використаються однакові інструменти з одним типорозміром, оскільки деталі мають кілька елементів з однаковими розмірами (при обробці отворів свердлами, зенкерами, кінцевими фрезами і т.д.) або необхідний тип обробки дозволяє застосовувати для різних деталей один інструмент (торцеві, фасонні фрези).

Так, наприклад, торцева фреза R245-050Q22-12M використається на операції 005 - переходах 2, 3, 4, 10, 11, а також операції 020 - переходах 34, 35. Фреза для профільної обробки R300-016B20L-08L застосовується на операції 020 - переходах 3, 4, 47, а фреза R300-010A16L-05L при операції 020 - переходах 2, 46. Також свердел Ø5 мм R840-0500-30-АОА застосовується для обробки отворів на всіх кронштейнах групи на операції 020 - переходах 5, 6, 10, 11, далі для нарізування різьблення в цих отворах спеціальна фреза R217.14C045100AC13N застосовується на операції 020 - переходах 22 23, 25, 26, і т.д.

Так використання одного устаткування, пристроїв і різальних інструментів на різних операціях для різних деталей знижує допоміжний час і вартість виробництва цих деталей.

Відповідно до таблиці формування ГТП і на підставі перерахованого вище для деталей типу «Кронштейн» у системі SolidCAM+ визначений зміст технологічних операцій і переходів [6]:

Операція 005:

Рисунок 3.7 - Фрагмент структуры операции 005, сформованої в системі SolidCAM+.

Операція 010:

Рисунок 3.8 - Фрагмент структуры операции 010, сформованої в системі SolidCAM+.

Операція 020:

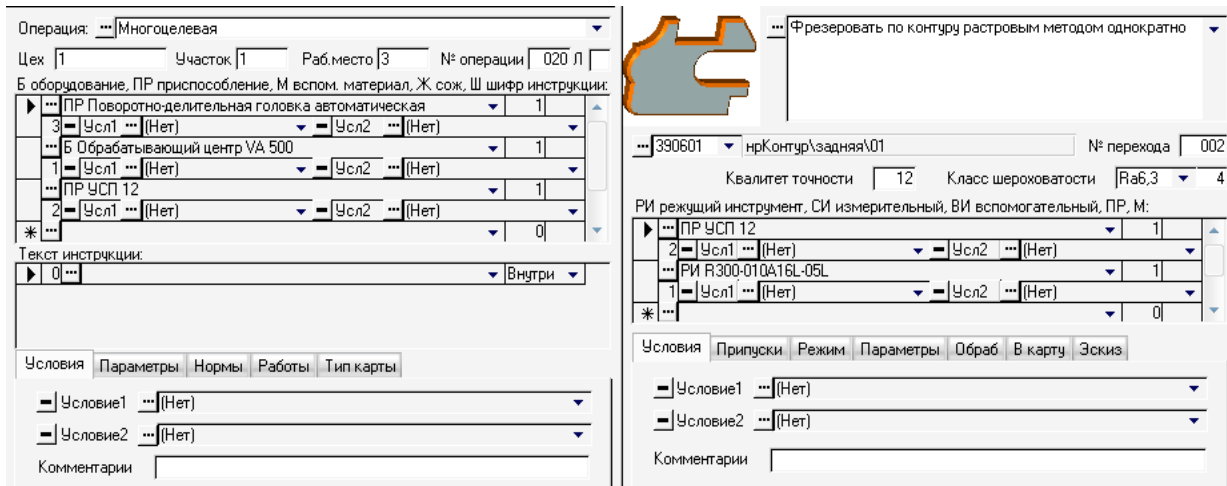


Рисунок 3.9 - Фрагмент структури операції 020, сформованої в системі SolidCAM+.

3.4 Визначення припусків на операціях виготовлення деталі «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA500

Метод одержання заготовок, а як наслідок і визначення величин припусків, значною мірою визначається розмірами програмного завдання й технічних можливостей заготівельних цехів підприємства або можливостями одержання прогресивних заготовок від спеціалізованих підприємств, матеріалом деталі, її призначенням і технічними вимогами на виготовлення, формою поверхні й розмірами.

Кронштейни, для яких проектується технологічний процес у даному дипломному проєкті, виготовляються з матеріалів АЛ 9 і СЧ 20.

АЛ9 - ливарний алюмінієвий сплав на основі Al - Si (силуміни), які мають високі ливарні властивості. СЧ 20 - сірий ливарний чавун, з якого виконують відповідальні виливки.

Враховуючи матеріал, з якого будуть виконуватися деталі, а також тип виробництва (дрібносерійний), вибираємо спосіб одержання заготівлі – лиття в піщані форми. Табличним методом на основі цих даних, а також найбільшого габаритного розміру виливки, по табл. 3.2 визначається характеристика методів виконання виливків.

Таблиця 3.2 - Характеристика методів виконання виливків.

Спосіб лиття	Тип виробництва	Матеріал виливка	Маса виливка, кг	Товщина стінок, мм	Досягнута точність розмірів, квалітет	Шорсткість поверхні Rz, мкм	Коефіцієнт точності маси заготовки
1	2	3	4	5	6	7	8
В піщано-глинисті	О,С	Чавун, сталь, кольорові метали	10...1000	>3	14...17	320...80	0,55...0,70
В оболонкові форми	С,М	Чавун, вуглецева легована сталь, кольорові метали	0,1...80	2...4	12...15	160...20	0,85...0,90
Відцентрове лиття	М,С	Сірий чавун, сталь, мідні сплави	0,1...3000	>4	13...15	80...20	0,70...0,80
Лиття в облицьованій кокіль (металеві форми)	С	Сталь, чавун, кольорові метали	0,1...50	>3	12...15	80...20	0,71...0,75

Примітка: О-одиничне виробництво, С-серійне та М-масове

Підставляючи необхідні дані й з огляду на примітку, визначаємо: для АЛ9 клас точності розмірів виливків – 11, ряд припусків – 4; для СЧ 20 клас точності розмірів виливків – 12, ряд припусків – 4.

Використовуючи дані табл. 3.2, визначаємо по табл. 3.3 основні припуски на механічну обробку виливків.

Таблиця 3.3 - Допуски лінійних розмірів виливок (у мм) за ДСТУ 26645-85[2].

Інтервали номінальних розмірів	Допуски розмірів виливок для класів точності розмірів виливок не більш																							
	1	2	3т	3	4	5т	5	6	7т	7	8	9т	9	10	11т	11	12	13т	13	14	15	16		
До 4	0,06	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00								
Св. 4 до 6	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,20	2,80							
6-10	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20	4,00	5,00					
10-16	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,4	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7				
16-25	0,10	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8	10	12		
25-40	0,11	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7	9	11	14		
40-63	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,6	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8	10	12	16		
63-100	0,14	0,18	0,22	0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,8	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9	11	14	18		
100-160	0,16	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16	20		
160-250			0,28	0,36	0,44	0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,2	2,8	3,6	4,4	5,6	7,0	9,0	11	14	18	22		
250-100			0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,4	3,2	4,0	5,0	6,4	8,0	10	12	16	20	24		
400-630					0,56	0,70	0,90	1,10	1,40	1,80	2,20	2,8	3,6	4,4	5,6	7	9,0	11	14	18	22	28		
630-1000					0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,2	4,0	5,0	6,4	8	10	12	16	20	24	32			
1000-1600							1,40	1,80	2,20	2,80	3,6	4,4	5,6	7	9	11	14	18	22	28	36			
1600-2500								2,00	2,40	3,20	4,0	5,0	6,4	8	10	12	16	20	24	32	40			
2500-1000									3,20	4,4	5,6	7	9	11	14	18	22	28	36	44				
4000-6300										5,0	6,4	8	10	12	16	20	24	32	40	50				
6300-10000											8	10	12	16	20	24	32	40	50	64				

Таблиця 3.4 - Основні припуски на механічну обробку виливків [2].

Допуски розмірів випивка	Основний припуск для рядів, не більше (мм)					
	1	2	3	4	5	6
До 0,12	0,2-0,4	–	–	–	–	–
Понад 0,12 до 0,16	0,3-0,5	0,6-0,8	–	–	–	–
Понад 0,16 до 0,20	0,4-0,6	0,7-1,0	1,0-1,4	–	–	–
Понад 0,20 до 0,24	0,5-0,7	0,8-1,1	1,1-1,5	–	–	–
Понад 0,24 до 0,3	0,6-0,8	0,9-1,2	1,2-1,6	1,8-2,2	2,6-3,0	–
Понад 0,3 до 0,4	0,7-0,9	1,0-1,3	1,4-1,8	1,9-2,4	2,8-3,2	–
Понад 0,4 до 0,5	0,8-1,0	1,1-1,4	1,5-2,0	2,0-2,6	3,0-3,4	–
Понад 0,5 до 0,6	0,9-1,2	1,2-1,6	1,6-2,2	2,2-2,8	3,2-3,6	–
Понад 0,6 до 0,8	1,0-1,4	1,3-1,8	1,8-2,4	2,4-3,0	3,4-3,8	4,4-5,0
Понад 0,80 до 1,0	1,1-1,6	1,4-2,0	2,0-2,8	2,6-3,2	3,6-4,0	4,6-5,5
Понад 1,0 до 1,2	1,2-2,0	1,6-2,4	2,2-3,0	2,8-3,4	3,8-4,2	4,8-6,0
Понад 1,2 до 1,6	1,6-2,4	2,0-2,8	2,4-3,2	3,0-3,8	4,0-4,6	5,0-6,5
Понад 1,6 до 2,0	2,0-2,8	2,4-3,2	2,8-3,6	3,4-4,2	4,2-5,0	5,5-7,0
Понад 2,0 до 2,4	2,4-3,2	2,8-3,6	3,2-4,0	3,8-4,6	4,6-5,5	6,0-7,5
Понад 2,4 до 3	2,8-3,6	3,2-4,0	3,6-4,5	4,2-5,0	5,0-6,5	6,5-8
Понад 3 до 4	3,4-4,5	3,8-5,0	4,2-5,5	5,0-6,5	5,5-7,0	7-9
Понад 4 до 5	4,0-5,5	4,4-6,0	5-6,5	5,5-7,5	6,0-8,0	8-10
Понад 5 до 6	5,0-7,0	5,5-7,5	6-8	6,5-8,5	7,0-9,5	9-11
Понад 6 до 8	–	6,5-9,5	7-10	7,5-11,0	8,5-12	10-3
Понад 8 до 10	–	–	9-12	10-13	11-14	12-15
Понад 10 до 12	–	–	10-13	11-14	12-15	13-16
Понад 12 до 16	–	–	13-15	14-16	15-17	16-19
Понад 16 до 20	–	–	–	17-20	18-21	19-22
Понад 20 до 24	–	–	–	20-23	21-24	22-25
Понад 24 до 30	–	–	–	–	26-29	27-30
Понад 30 до 40	–	–	–	–	–	34-37
Понад 40 до 50	–	–	–	–	–	42
Понад 50 до 60	–	–	–	–	–	50

Заготовка, яка призначена для обробки на верстатах із ЧПК, повинна мати допуски й припуски не менш ніж на 20-40% менше (приймаємо 40%), чим для обробки на верстатах з ручним керуванням. Тоді:

для деталі «Кронштейн 1» з габаритами 53×105×79 мм:

на розмір 53 мм припуск на сторону - $6,5 \times 0,6 = 3,9$ мм;

на розмір 105 мм припуск на сторону - $7,5 \times 0,6 = 4,5$ мм;

на розмір 79 мм припуск на сторону - $7,5 \times 0,6 = 4,5$ мм.

Для деталі «Кронштейн 2» з габаритами 68×100×165 мм:

на розмір 68 мм припуск на сторону - $8,5 \times 0,6 = 5,1$ мм;

на розмір 100 мм припуск на сторону - $8,5 \times 0,6 = 5,1$ мм;

на розмір 165 мм припуск на сторону - $11,0 \times 0,6 = 6,6$ мм;

Для деталі «Кронштейн 3» з габаритами $49,5 \times 179 \times 320$ мм:

на розмір 49,5 мм припуск на сторону - $7,5 \times 0,6 = 4,5$ мм;

на розмір 179 мм припуск на сторону - $11,0 \times 0,6 = 6,6$ мм;

на розмір 320 мм припуск на сторону - $11,0 \times 0,6 = 6,6$ мм;

Отже, заготівлі будуть мати форму паралелепіпеда з розмірами:

заготівля деталі «Кронштейн 1» - $60,8 \times 114 \times 88$ мм;

заготівля деталі «Кронштейн 2» - $78,2 \times 110,2 \times 178,2$ мм;

заготівля деталі «Кронштейн 3» - $58,5 \times 192,2 \times 333,2$ мм.

Далі ці параметри заносяться в технологічний процес (рис. 3.10) і враховуються при розрахунках режимів різання.

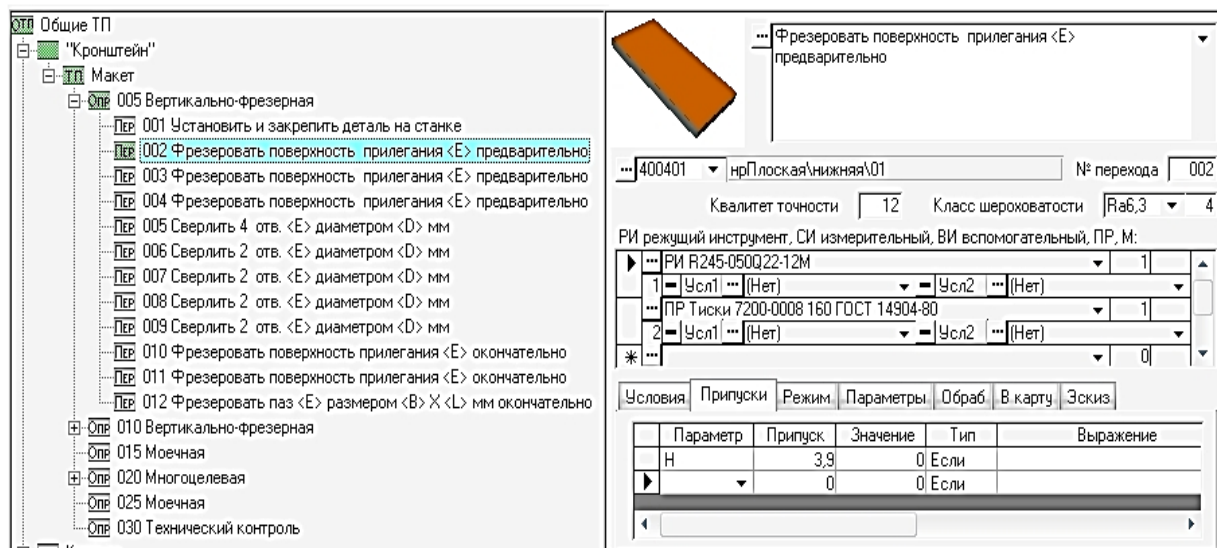


Рисунок 3.10 – Припуски в побудові ТП.

3.5 Визначення режимів різання при виготовленні деталі «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA 500




Визначення режимів різання робимо на основі переходів кожної операції технологічного процесу, розроблених раніше. Вибір режимів виконуємо за даними, наданою компанією «Sandvik Coromant», оскільки використовувати

різальний інструмент будемо цієї ж фірми. Відповідно різальний інструмент повинен витримувати задані навантаження [30].

Вибираємо режими різання для торцевого й профільного фрезерування: для того, щоб визначити розмір подачі, необхідно знати матеріал деталі, тип фрези, геометрію й розміри пластин, які застосовуються при обробці.

Для переходу 002 операції 005 вибираємо фрезу R245-050Q22-12M і пластини R245-12 T3 M-КМ, і відповідно до цих даних визначаємо максимальну й мінімальну подачі й приймаємо початкове значення (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 - Визначення подачі на зуб для обробки торцевою фрезою [8].

				Рекомендуемые подачи		ФРЕЗЕРОВАНИЕ	
Торцевое фрезерование				Поддача на зуб, fz (мм/зуб)			
К _r -45°	Геометрия пластины	Размер пластины	Начальное значение	(min - max)			
 CoroMill® 245 R245	E-PL E-ML E-KL	Легкая	12	0.14	(0.08-0.21)	GC4030, GC3020, GC2040, GC2030, K20W, GC3040, GC4040	Точарная обработка B Стружка и обработка на напавк C Резьбонарезание D Фрезерование E Сверление F
	M-PL M-KL	Легкая	12	0.17	(0.08-0.21)	CT530, H13A, H10 GC1025	
	M-PM, M-KM			0.24	(0.10-0.28)		
	M-PM, M-KM	Средняя	12	0.12	(0.08-0.18)	CT530, H13A	
	K-MM			0.23	(0.10-0.28)		
	M-PH M-KH	Тяжелая	12	0.35	(0.10-0.42)		
	E-AL		12	0.24	(0.10-0.28)		
	E	Керамика	12	0.21	(0.10-0.30)	CC6090	
	E	CBN	12	0.14	(0.07-0.21)	CB50	
	E	PCD	12	0.14	(0.07-0.21)	CD10	
	 T-MAX 45 R260.7	LNCX -11 -31 -32	Средняя		0.35	(0.10-1.00)	
				0.35	(0.10-0.70)		
				0.35	(0.10-0.70)		
 AUTO R/L260.3	TNHF-WL TNEF-WL TNHF-CA TNEF-CA TNHF-65 TNEF-65 TNJN TNEN TNCN	Тяжелая		0.17	(0.08-0.21)		
				0.24	(0.10-0.42)		
				0.24	(0.10-0.28)		
				0.35	(0.10-0.70)		
				0.24	(0.10-0.28)		
				0.24	(0.10-0.28)		

За допомогою певних припусків, з огляду на матеріал заготовлі й матеріал ріжучої частини фрези, з табл. 3.6 вибираємо швидкість різання.

Таблиця 3.6 - Визначення швидкості різання при обробці торцевою фрезою [8].

		ФРЕЗЕРОВАНИЕ Режимы резания –рекомендации по скоростям резания							
		Фрезерование с малой шириной контакта							
ISO	СМС Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания кс 1 Н/мм²	Твердость по Бринеллю НВ	тс	Н10F		Н13A	
						Мах толщина стружки, h_{ex} мм 0.1-0.15-0.2		Мах толщина стружки, h_{ex} мм 0.1-0.15-0.2	
						Скорость резания v_c , м/мин			
N	30.11	Алюминиевые сплавы Деформируемые, в т. ч. в холодном состоянии не подвергнутые старению	400	60		1060-1040-1025	845-830-820		
	30.12	Деформируемые, в т.ч. подвергнутые старению	650	100		955-935-920	765-750-740		
	30.21	Алюминиевые сплавы Литые, не подвергнутые старению	600	75	0.25	1060-1040-1025	845-835-820		
	30.22	Литые, в т. ч. подвергнутые старению	700	90	0.25	955-940-925	765-750-740		
C	30.3	Алюминиевые сплавы Чистый Al >99%	350	30		1065-1045-1030	850-840-825		
	30.41	Алюминиевые сплавы Литые, 13-15% Si	700	130		425-420-410	340-335-330		
	30.42	Литые, 16-22% Si	700	130		320-315-310	255-250-245		
	33.1	Медь и медные сплавы Легкообрабатываемые сплавы, ≥1% Pb	550	110	0.25	530-520-515	425-420-410		
	33.2	Латунь, свинцовистая бронза, ≤1% Pb	550	90		530-520-515	425-415-410		
	33.3	Бронза без добавок свинца и медь, в т.ч. электролитическая	1350	100	0.25	370-365-360	295-290-285		
ISO	СМС Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания кс 1 Н/мм²	Твердость по Бринеллю НВ	тс	1025		Н13A	
						Мах толщина стружки, h_{ex} мм 0.1-0.15-0.2		Мах толщина стружки, h_{ex} мм 0.1-0.15-0.2	
						Скорость резания v_c , м/мин			
S	20.11	Жаропрочные сплавы На основе железа Отжиг или отпуск в расплаве солей	2400	200	0.25	70-70-70	70-65-65		
	20.12	Подвергнутые старению, в т.ч. после отжига в расплаве солей	2500	280	0.25	55-50-50	49-48-48		
E	20.21	На основе никеля Отжиг или отпуск в расплаве солей	2650	250	0.25	70-65-65	65-65-60		
	20.22	Подвергнутые старению, в т.ч. после отжига в расплаве солей	2900	350	0.25	42-41-40	40-39-38		
	20.24	Литые, в т. ч. подвергнутые старению	3000	320	0.25	50-50-50	49-49-48		
	20.31	На основе кобальта Отжиг или отпуск в расплаве солей	2700	200	0.25	30-29-28	28-27-26		
F	20.32	Старение после отжига в расплаве солей	3000	300	0.25	21-20-20	20-20-19		
	20.33	Литые, в т. ч. подвергнутые старению	31000	320	0.25	20-19-18	19-19-18		
	23.1	Титановые сплавы ¹⁾ Технически чистый титан (99,5% Ti) α, близкие к α и α+β, отожженные α+β подвергнутые старению; сплавы β, отожженные и подвергнутые старению	1300	400	0.23	150-145-140	140-140-135		
	23.21		1400	950	0.23	80-75-75	75-70-70		
23.22		1400	1050	0.23	65-60-60	60-60-60			

Далі по тій же схемі визначаємо значення подачі й швидкості різання для інших переходів, в яких обробка здійснюється торцевими й профільними фрезами, і записуємо у зведену табл. 3.12: операція 005 – переходи 002, 003, 004, 010, 011, 012; операція 020 – переходи 002, 003, 004, 034, 035, 046, 047, 051.

Також при обробці деталі «Кронштейн» використовуються кінцеві фрези, а також спеціальні фрези для зняття фасок. Приклад вибору режимів різання для таких фрез буде здійснюватися на операції 010 - переході 004. На даному переході використовується фреза R216.24-20050IAK38P, що має діаметр 20мм і складається із твердого сплаву G1640.

По табл. 3.7 вибираємо подачу й швидкість різання відповідно до розмірів і матеріалу оброблюваної поверхні, а також розмірів фрези.

Таблиця 3.7 - Вибір швидкостей різання й подач на зуб для кінцевих фрез [8].

Рекомендации по скоростям резания						
B Стрезка и обработка канавок	СороМилл® Пюра GC1640					
	ISO	CMC	HB	HRC	V _c м/мин	V _c м/мин
C Резьбонарезание	P	01.1	125		145	160
		01.2	150		135	145
		01.4	200		100	110
		02.2	250		85	95
		02.2	300		80	85
D Фрезерование	K	05.11	200		65	70
		05.21	200		50	55
		05.51	230		35	40
E Сверление	S	07.1	150		130	140
		08.2	200		105	115
		08.2	250		70	75
		20.22	350		25	25
F Энввание	Рекомендуемые подачи					
	СороМилл® Пюра GC1640					
	Метрические величины		D _c	f _z	f _f	
	n = $\frac{v_c \times 1000}{\pi \times D_c}$ (об/мин)		мм	мм/зуб	мм/зуб	
	v _f = n × f _z × z _п (мм/мин)		6	0.013	0.019	
			6.35	0.013	0.022	
			8	0.016	0.035	
			9.525	0.023	0.041	
			10	0.025	0.043	
			12	0.031	0.055	
		12.7	0.035	0.057		
		15.875	0.052	0.068		
		16	0.053	0.069		
		16.05	0.065	0.081		
		20	0.069	0.085		

Далі для операції 010 – переходів 002, 003, 004, і операції 020 – переходів 016, 017, 018, 019, 020, 031, 032, 041, 042, 045, 049, 050, 055 виконуємо вибір за аналогічною схемою, а результати заносимо у зведену табл. 3.13.

У деталях типу «Кронштейн» звичайно багато отворів, для обробки яких найчастіше застосовують свердла. Вибір режимів різання для обробки отвору буде проводитися на прикладі вибору швидкості різання й подачі для операції 020 - переходу 009 (обробка отвору в кронштейні із сірого чавуну).

На цьому переході застосовується свердло R840-1300-30-АОА, що обробляє отвір діаметром 13 мм і глибиною 33 мм. При цьому використовуються такі швидкість різання й подача (табл. 3.8):

Таблиця 3.8 - Визначення режимів різання для свердління [8].

В	ISO	СМС Код	Обрабатываемый материал	Твердость по Бринеллю	Марки сплавов	Скорость резания (V _c), м/мин	Диаметр сверла, мм			
							3,00–6,00	6,01–10,00	10,01–14,00	14,01–20,00
							Подача, fп мм/об ^ш			
С	P	01.0	Нелегированная сталь C = 0.05-0.10%	125	1220	80-140	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
		01.1	C = 0.10-0.25%	125	1220	80-140	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
		01.2	C = 0.25-0.55%	150	1220	80-140	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
		01.3	C = 0.55-0.80%	170	1220	70-130	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
		01.4	Высокоуглеродистая сталь Углеродистая инструментальная сталь	210	1220	70-120	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
		02.1	Низколегированная сталь В состоянии поставки (сырая)	180	1220	70-120	0.10-0.20	0.14-0.30	0.18-0.35	0.20-0.40
		02.2	Закаленная и отпущенная	275	1220	70-100	0.10-0.20	0.14-0.30	0.18-0.35	0.20-0.40
		02.2	Закаленная и отпущенная	350	1220	50-80	0.10-0.20	0.14-0.25	0.18-0.35	0.20-0.38
		03.11	Высоколегированная сталь Отожженная	200	1220	40-80	0.08-0.14	0.10-0.22	0.14-0.25	0.16-0.32
		03.21	Закаленная инструментальная сталь	325	1220	40-70	0.08-0.14	0.10-0.22	0.12-0.25	0.18-0.28
D	M	06.1	Стальное литье Нелегированное	180	1220	70-130	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
		06.2	Низколегированное (легирующих элементов ≤5%)	200	1220	70-120	0.10-0.25	0.15-0.34	0.20-0.40	0.22-0.45
		05.11	Нержавеющая сталь Незакаленная/Ферритная/Мартенситная	200	1220 1030	40-80 ^ш	0.08-0.14 0.08-0.20	0.08-0.20 0.10-0.25	0.12-0.22 0.15-0.30	0.14-0.24 0.18-0.35
		05.21	Аустенитная	180	1220 1030	40-80 ^ш	0.08-0.14 0.08-0.20	0.08-0.20 0.10-0.25	0.12-0.22 0.15-0.30	0.14-0.24 0.18-0.35
		15.21	Нержавеющая сталь Аустенитное литье	200	1220 1030	40-80 ^ш	0.08-0.14 0.08-0.20	0.08-0.20 0.10-0.25	0.12-0.22 0.15-0.30	0.14-0.24 0.18-0.35
		20.21	Отжиг или отпуск в расплаве солей	250	1220	10-25	0.06-0.12	0.08-0.15	0.08-0.15	0.10-0.16
		20.22	Подвергнутое старению, в т.ч. после отжига в расплаве солей	350	1220	10-25	0.06-0.12	0.08-0.15	0.08-0.15	0.10-0.16
		20.24	Литье, в т.ч. подвергнутое старению	320	1220	10-25	0.06-0.12	0.08-0.15	0.08-0.15	0.10-0.16
		23.21	Титановые сплавы α, близкие к α и α + β сплавы, отожженные	Rm ^ш = 850	1220	20-60	0.06-0.12	0.08-0.20	0.14-0.28	0.16-0.30
		23.22	α + β сплавы, подвергнутое старению, β сплавы, отожженные или подвергнутое старению	Rm ^ш = 1050	1220	20-60	0.06-0.12	0.08-0.20	0.14-0.28	0.16-0.30
F	K	07.1	Ковкий чугун Ферритный (элементная стружка)	130	1220	90-150 1210	0.15-0.30 0.15-0.30	0.25-0.40 0.25-0.40	0.35-0.60 0.35-0.60	0.40-0.60 0.40-0.60
		07.2	Перлитный (сливная стружка)	230	1220 1210	70-130 100-150	0.15-0.25 0.15-0.25	0.20-0.35 0.20-0.35	0.30-0.55 0.30-0.55	0.35-0.55 0.35-0.55
		08.1	Серый чугун Низкой прочности	180	1220 1210	90-150 140-200	0.15-0.30 0.15-0.30	0.25-0.40 0.25-0.40	0.35-0.60 0.35-0.60	0.40-0.60 0.40-0.60
		08.2	Высокой прочности	260	1220 1210	70-130 100-140	0.15-0.25 0.15-0.25	0.20-0.35 0.20-0.35	0.30-0.55 0.30-0.55	0.35-0.55 0.35-0.55
		09.1	Чугун с шаровидным графитом Ферритный	160	1220 1210	80-110 110-150	0.15-0.30 0.15-0.30	0.25-0.40 0.25-0.40	0.35-0.60 0.35-0.60	0.40-0.60 0.40-0.60
		09.2	Перлитный	250	1220 1210	70-100 100-140	0.15-0.25 0.15-0.25	0.20-0.35 0.20-0.35	0.30-0.55 0.30-0.55	0.35-0.55 0.35-0.55
		CGI			1210	90-130	0.15-0.30	0.20-0.40	0.30-0.60	0.35-0.60

З наданого діапазону швидкостей і подач для обробки на оброблювальному центрі вибираємо максимальні режими, а для універсальних верстатів - середні значення.

По вищевказаному методу вибираємо свердла для операції 005 – переходів 005, 006, 007, 008, 009, а також для операції 020 – переходів 005, 006, 007, 008, 009, 010, 011, 012, 013, 014, 015, 021, 043, 044, 053, 054, 056, і заносимо дані у зведену табл. 3.13.

Для зборки кронштейна у вузол часто використовують кріпильні елементи що мають різьблення. Відповідно в отворах кронштейна, що беруть участь у кріпленні, різьблення також повинне бути присутнім. Так у технологічному процесі в операції 020 – переходи 022, 023, 024, 025, 026, 027, 057 – це переходи у яких здійснюється різьбонарізування. На прикладі переходу 024 розглянемо

визначення режимів різання. Дані по інших переходах нарізування різьблення будуть визначатися аналогічно, а результати записані у зведену табл. 3.13.

Для знаходження швидкості різання й подачі використовуємо табл. 3.9. У даній таблиці відсутня необхідна марка алюмінію - приймаємо значення того алюмінію, твердість якого приблизно дорівнює твердості АЛ9 (приймаємо дані за більшим значенням твердості).


Також необхідно знати глибину, на яку нарізується різьблення: $l_{Th}=10,5$ мм; і довжину ріжучої частини інструмента: $a_p=21$ мм.

Таблица 3.9 - Режимы для резьбонарезания [8].

Обработка и обработка каналов	ISO	Обрабатываемый материал		Размеры, мм			С внутренним подводом СОЖ	 $l_{Th} = 0.5 \times a_p$		 $l_{Th} = a_p$	
		СМС Код	Твердость НВ HRC	Резьба	D_0	z_0		Скорость резания v _c , м/мин	Подача на зуб fz, мм/зуб	Скорость резания v _c , м/мин	Подача на зуб fz, мм/зуб
Резьбонарезание	P	Нелегированная сталь 01.1 125	M4	3.2	3	-	152	0.030	141	0.018	
			M10	8.2	4	•	132	0.052	124	0.029	
			M20	16	5	•	141	0.130	131	0.069	
	P	Низколегированная 02.2 300	M4	3.2	3	-	147	0.012	137	0.006	
			M10	8.2	4	•	164	0.086	153	0.05	
			M20	16	5	•	173	0.089	162	0.118	
	P	Высоколегированная 03.21 450	M4	3.2	3	-	163	0.035	151	0.015	
			M10	8.2	4	•	164	0.061	153	0.049	
			M20	16	5	•	173	0.012	162	0.118	
Фрезерование	D	Нержавеющая сталь 05.11 200	M4	3.2	3	-	81	0.024	75	0.009	
			M10	8.2	4	•	82	0.052	76	0.036	
			M20	16	5	•	86	0.089	93	0.089	
	D	M	05.21 200	M4	3.2	3	-	53	0.018	49	0.007
				M10	8.2	4	•	53	0.052	50	0.027
				M20	16	5	•	56	0.089	53	0.072
	D	M	05.51 230	M4	3.2	3	-	53	0.018	49	0.007
				M10	8.2	4	•	53	0.052	50	0.027
				M20	16	5	•	56	0.131	53	0.074
Сверление	K	Ковкий чугун 07.2	M4	3.2	3	-	80	0.020	77	0.016	
			M10	8.2	4	•	89	0.061	83	0.036	
			M20	16	5	•	82	0.084	83	0.089	
	K	Чугун с шаровидным графитом 08.2	M4	3.2	3	-	76	0.018	73	0.014	
			M10	8.2	4	•	86	0.038	79	0.034	
			M20	16	5	•	79	0.075	80	0.080	
	K	Серый чугун 09.1	M4	3.2	3	-	101	0.027	97	0.020	
			M10	8.2	4	•	104	0.047	105	0.048	
			M20	16	5	•	104	0.089	97	0.067	
N	Алюминий 30.11 60	M4	3.2	3	-	503	0.040	503	0.035		
		M10	8.2	4	•	1120	0.089	1060	0.061		
		M20	16	5	•	1130	0.089	1060	0.089		
	N	30.21 95	M4	3.2	3	-	434	0.040	404	0.018	
			M10	8.2	4	•	461	0.061	432	0.061	
			M20	16	5	•	467	0.089	436	0.089	
N	33.2 150	M4	3.2	3	-	272	0.028	262	0.021		
		M10	8.2	4	•	278	0.053	260	0.026		
		M20	16	5	•	262	0.089	263	0.071		

Крім свердління, для обробки отворів більших діаметрів використовують розточувальні інструменти. Режими різання для розточувальних операцій вибираються так: по типу пластин, застосованих у розточувальному інструменті, визначаємо глибину різання і подачу по табл. 3.10.

Таблиця 3.10 - Значення глибин різання й подач при розточуванні [8].

Отрезка и обработка канавок	Пластина	Рек. глубина резания $a_p = \text{мм}$		Рек. подача $f_n = \text{мм/об}$	
		Min	Max	Min	Max
C KR K ¹⁾ S	 CCMT060208-KR	1.60	0.80 3.20	0.19	0.09 0.26
	CCMT09T308-KR	2.00	1.00 4.00	0.25	0.12 0.35
	CCMT09T312-KR	2.00	1.20 4.00	0.30	0.14 0.42
	CCMT120408-KR	2.40	1.20 4.80	0.30	0.14 0.42
	CCMT120412-KR	2.40	1.40 4.80	0.36	0.17 0.50
	DCMT11T308-KR	2.00	1.00 4.00	0.25	0.12 0.35
	DCMT11T312-KR	2.00	1.20 4.00	0.30	0.14 0.42
	SCMT09T308-KR	2.00	1.00 4.00	0.25	0.12 0.35
	SCMT09T312-KR	2.00	1.20 4.00	0.30	0.14 0.42
	SCMT120408-KR	2.40	1.20 4.80	0.30	0.14 0.42
D	SCMT120412-KR	2.40	1.40 4.80	0.36	0.17 0.50
	TCMT110308-KR	1.50	0.80 3.00	0.21	0.10 0.30
	TCMT110312-KR	1.50	0.90 3.00	0.26	0.12 0.36
	TCMT16T308-KR	2.00	1.00 4.00	0.25	0.12 0.35
	TCMT16T312-KR	2.00	1.20 4.00	0.30	0.14 0.42
	TCMT220408-KR	2.40	1.20 4.80	0.30	0.14 0.42
	TCMT220412-KR	2.40	1.40 4.80	0.36	0.17 0.50
	VBMT160408-KR	1.80	0.90 3.60	0.23	0.11 0.32
	VBMT160412-KR	1.80	1.10 3.60	0.27	0.13 0.38

Далі за допомогою величини подачі, а також знаючи матеріал пластини розточувального інструмента, визначаємо швидкість різання з табл. 3.11.

Таблиця 3.11- Швидкості різання при точінні й розточуванні [8].

ISO	СМС Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания K_r 0,4 Н/мм ²	Твердость по Бринеллю НВ	<<<< ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ				
					CB7050/CB50	CC620	CC650		
					f_{max} , мм ~ подача f_n , мм/об при $\alpha = 90^\circ - 95^\circ$				
К Чугун	07.1	Ковкий чугун	940	130	-	800-700-600	800-700-600		
	07.2	Ферритный (элементная стружка)	1100	230	-	700-590-500	700-600-500		
	08.1	Перлитный (сливная стружка)							
	08.2	Серый чугун	1100	180	1700-1450-1200	800-700-600	800-700-600		
	08.2	Низкой прочности	1150	220	1450-1250-1050	760-650-540	760-650-540		
	08.2	Высокой прочности							
	09.1	Серый чугун с шаровидным графитом	1050	160	-	-	610-550-450		
	09.2	Ферритный	1750	250	-	-	510-450-350		
	09.2	Перлитный							
	09.3	Мартенситный	2700	380	-	-	350-305-260		
ПРОЧНОСТЬ >>>>									
CC6090	GC1690	CT5005	CT5015	GC3205	GC3210	GC4005	GC4015	GC3215	H13A
0.2-0.4-0.6	0.2-0.4-0.6	0.1-0.2-0.3	0.1-0.2-0.3	0.2-0.4-0.6	0.2-0.4-0.6	0.2-0.4-0.6	0.2-0.4-0.6	0.2-0.4-0.6	0.1-0.3-0.5
740-600-500	740-600-500	-	200-165-135	460-380-325	385-315-265	345-285-235	310-255-215	260-215-185	140-125-110
640-500-400	640-500-400	-	140-115-95	375-310-265	315-255-215	280-230-190	250-210-175	210-175-150	125-110-90
740-600-500	740-600-500	-	320-260-220	530-435-375	445-360-305	380-320-275	350-295-250	300-250-210	180-145-110
690-540-435	690-540-435	-	280-235-205	425-350-300	355-290-245	305-260-230	270-235-210	240-200-170	140-115-95
-	580-450-345	320-250-200	255-200-160	390-330-275	360-305-250	315-265-230	270-220-185	240-195-165	135-115-95
-	480-350-250	245-200-175	230-195-170	350-300-250	325-275-225	265-215-185	245-200-165	215-175-150	125-115-90
-	325-260-220	-	115-95-85	265-225-190	245-210-170	210-165-130	195-150-120	165-135-115	100-85-65

Для інших переходів, де використовується розточувальний інструмент (операція 020 – переходи 028, 029, 030, 036, 037, 038, 039, 040), проводимо вибір режимів різання за аналогічною схемою, і дані заносимо у зведену табл. 3.13.

У зведеній табл. 3.12 внесені дані швидкостей різання й подач різальних інструментів по всіх переходах технологічного процесу. Оскільки для деяких

інструментів були зазначені подачі на зуб, то вони будуть переведені в значення подач на обертання по формулі:

$$S = S_z \cdot z, \quad (3.1)$$

де S_z – значення подачі на зуб, мм/зуб;

z – кількість ріжучих зубів у різальному інструменті [1].

Таблиця 3.12 - Режими різання при обробці деталі «Кронштейн».

№ Операції	№ Переходу	Подача S, мм/об	Швидкість різання v, м/хв
005	02	0,48	290
	03	0,48	270
	04	0,48	270
	05	0,25	45
	06	0,35	70
	07	0,25	50
	08	0,50	80
	09	0,40	70
	10	0,20	270
	11	0,20	270
	12	0,9	150
010	02	0,12	24
	03	0,40	85
	04	0,40	85
020	02	0,24	350
	03	0,36	235
	04	0,36	235
	05	0,20	200
	06	0,20	200
	07	0,30	215
	08	0,35	130
	09	0,40	130
	10	0,20	110
	11	0,20	110
	12	0,30	130
	13	0,45	130
	14	0,50	130
	15	0,40	230
16	0,06	110	
17	0,18	100	
18	0,10	100	
19	0,10	110	
20	0,10	110	
21	0,10	130	
22	0,108	275	

№ Операції	№ Переходу	Подача S, мм/об	Швидкість різання v, м/хв
	23	0,072	265
	24	0,212	278
	25	0,06	75
	26	0,06	75
	27	0,232	110
	28	0,19	240
	29	0,25	220
	30	0,05	1450
	31	0,17	250
	32	0,17	250
	34	0,2	420
	35	0,48	270
	36	0,12	770
	37	0,25	220
	38	0,19	240
	39	0,2	450
	40	0,05	1450
	41	0,17	415
	42	0,17	415
	43	0,25	200
	44	0,08	30
	45	0,064	70
	46	0,24	465
	47	0,36	235
	49	0,17	415
	50	0,17	250
	51	0,24	465
	53	0,20	200
	54	0,30	110
	55	0,10	100
	56	0,10	130
	57	0,105	275

У зведеній таблиці зазначені режими різання, при призначенні яких урахувався характер обробки, тип і розмір інструмента, матеріал його ріжучої частини, матеріал і стан заготовлі, тип і стан устаткування.

3.6 Висновки

В цьому розділі випускної роботи була виконана розробка групового технологічного процесу одержання деталі «Кронштейн» в умовах дрібносерійного виробництва.

Для трьох деталей типу «Кронштейн» спочатку був складений загальний маршрут їхнього одержання, у якому задавалася послідовність обробки кожної поверхні деталей. 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 деталей по точності й шорсткості.

4. РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ОДЕРЖАННЯ ДЕТАЛІ «КРОНШТЕЙН» НА ВЕРТИКАЛЬНОМУ ОБРОБЛЮВАЛЬНОМУ ЦЕНТРІ VA 500

4.1 Розробка циклограми виготовлення деталі «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі

Циклограма виготовлення деталі «Кронштейн» 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 [6,27].

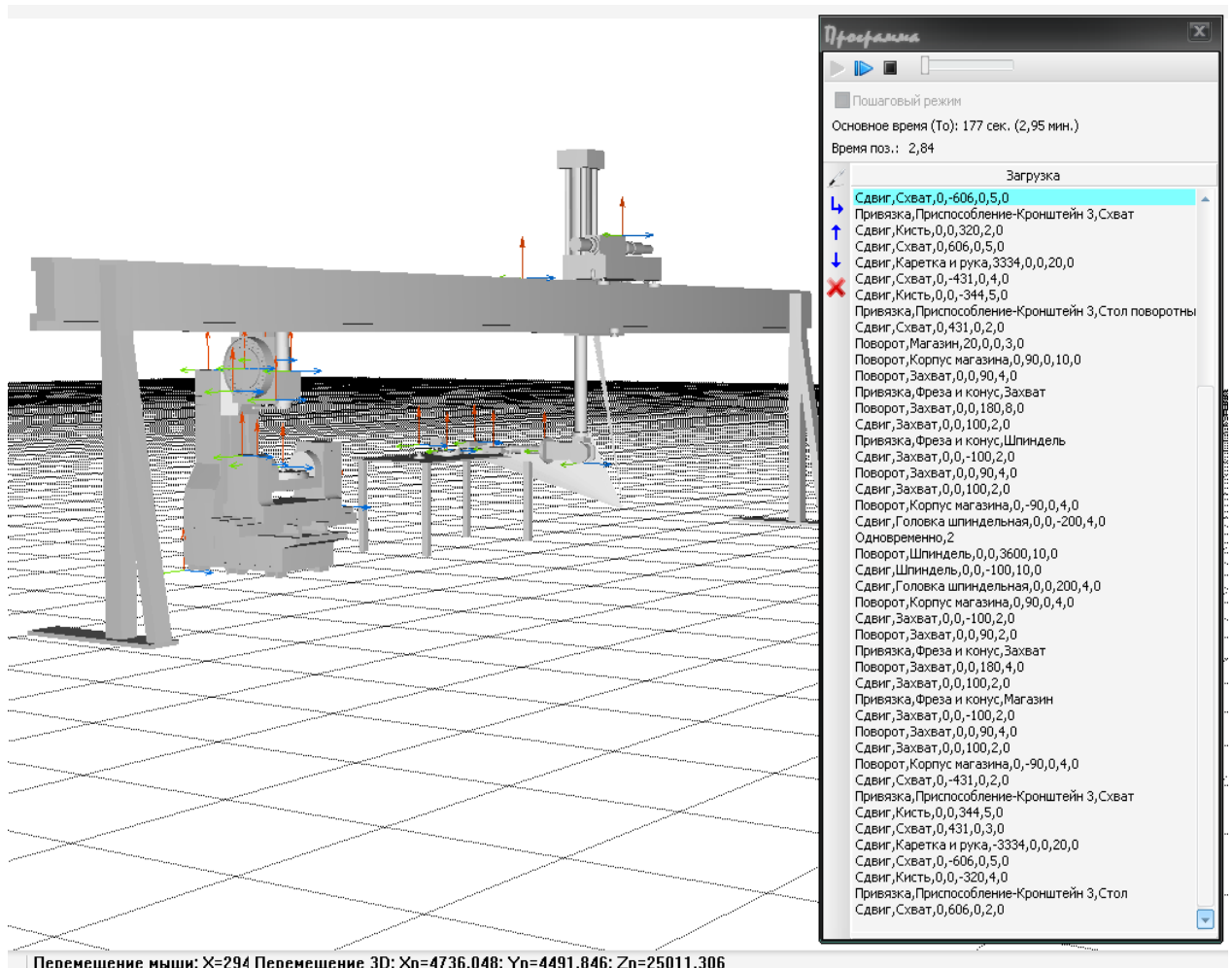


Рисунок 4.1 - Імітаційне моделювання обробки деталі типу «Кронштейн» на оброблювальному центрі VA 500 із циклограмою

4.2 Автоматизована розробка керуючої програми вертикальним оброблювальним центром VA 500 у системі SolidCAM для виготовлення деталі «Кронштейн»

Для того, щоб розробити керуючу програму для обробки якої-небудь деталі, необхідно спершу змоделювати в системі SolidCAM цю обробку. Для цього необхідно створити креслення в програмі SolidWorks, потім на підставі цього креслення необхідно створити потрібну операцію (рис. 4.3) у програмі SolidCAM [6].

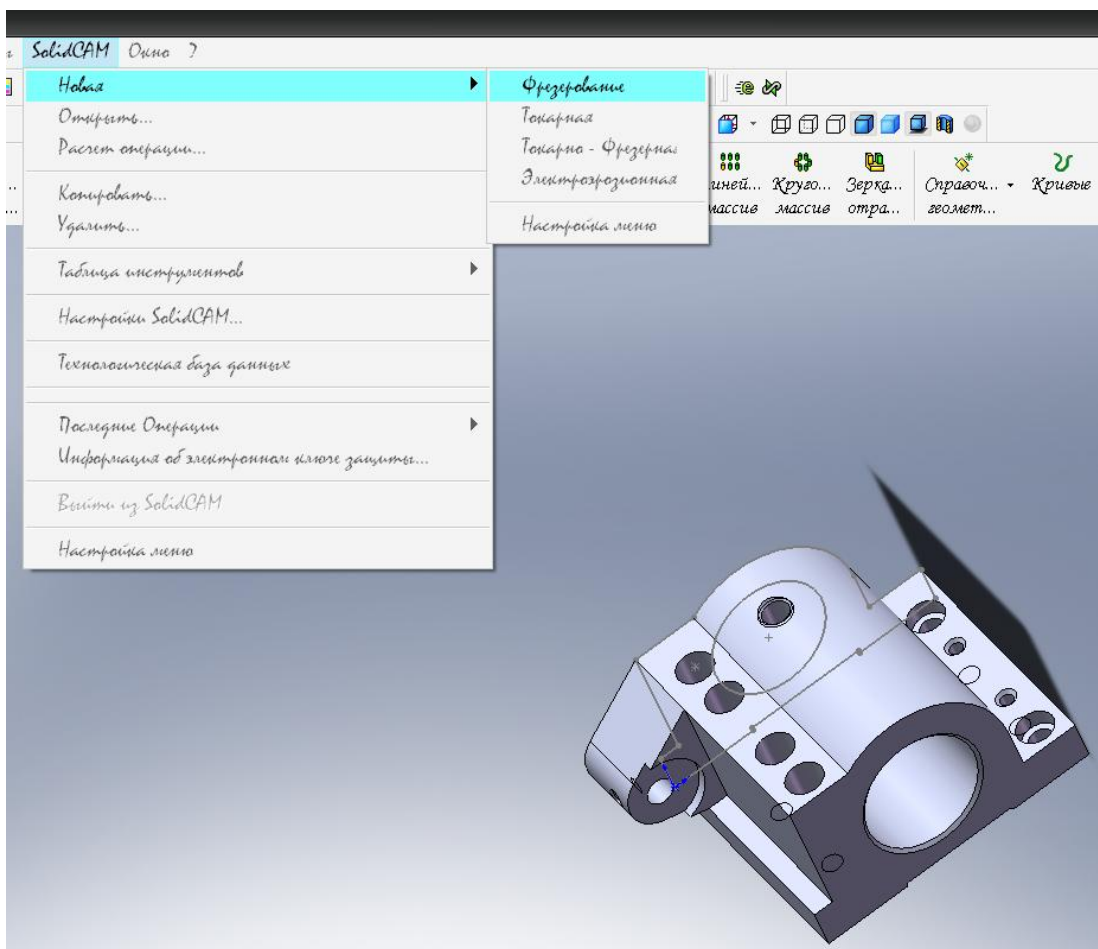


Рисунок 4.3 – Створення нової операції в програмі SolidCAM через програму SolidWorks.

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.

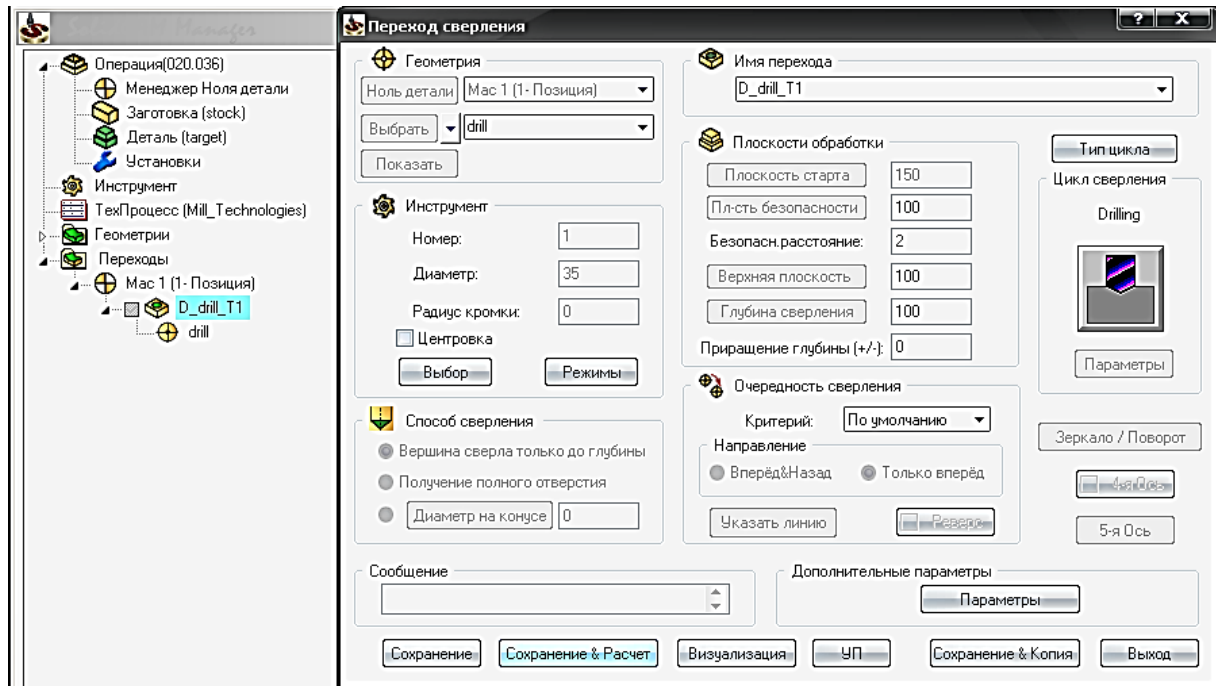


Рисунок 4.4 – Визначення умов переходу для моделювання обробки деталі типу «Кронштейн» у програмі SolidCAM.

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 [27].

Прикладом отриманої програми керування за допомогою системи SolidCAM є програма обробки основного отвору деталі «Кронштейн 1»:

```

%
O5000 (D_DRILL_T1.TAP)
(MCV-OP) (04-JUN-2009)
(SUBROUTINES: O2 .. O0)
G90 G17
G80 G49 G40
G54
G91 G28 Z0
G90
M01
N1 M6 T1
(TOOL -1- ROUGH DIA 35.0 MM)
G90 G00 G40 G54
G43 H1 D31 G0 X41. Y25. Z100.
S1364 M3
M8
(-i-i-i-i-i-i-i-i-i)
(D-DRILL-T1 - DRILL)
(-i-i-i-i-i-i-i-i-i)
X41. Y25. Z100.
G98 G81 Z0. R102. F0.25
G80
M30
%
```

4.3 Висновки

У даному розділі були розроблені циклограма виготовлення деталі «Кронштейн», а також керуюча програма вертикальним оброблювальним центром VA 500.

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

Керуюча програма вертикальним оброблювальним центром VA500 була розроблена автоматично (див. Додаток А), за допомогою системи SolidCAM-2021. Для імітаційного моделювання були задані параметри обробки, після чого система склала керуючу програму.

5. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «КРОНШТЕЙН»

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

Основною технологічною базою при обробці корпусних деталей (у тому числі й деталей типу «Кронштейн») є площина. Для реалізації повної схеми базування використовуються два отвори, перпендикулярно розташовані даній площини. Такий комплект технологічних баз є найбільш простим для реалізації конструкції пристосування.

Вищевказаний спосіб базування щонайкраще підходить для обробки деталей типу «Кронштейн», даних у завданні дипломного проекту, оскільки всі три кронштейни мають зручне розташування базових елементів (рис. 5.1) – нижню площину й два отвори [50].

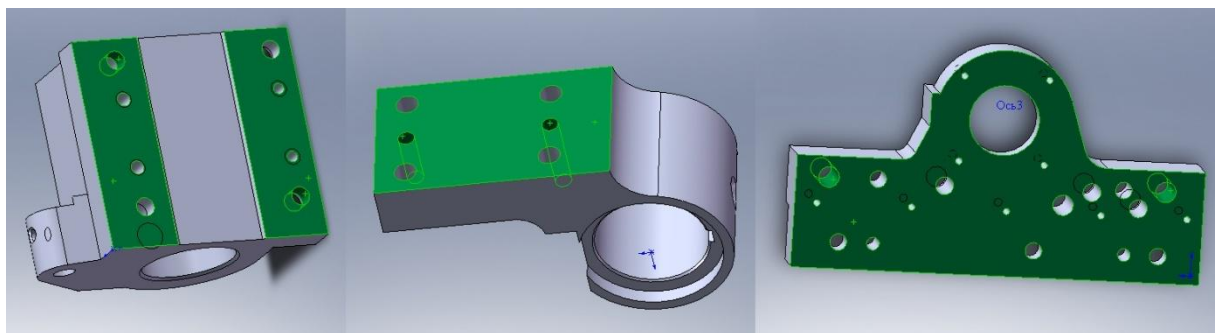
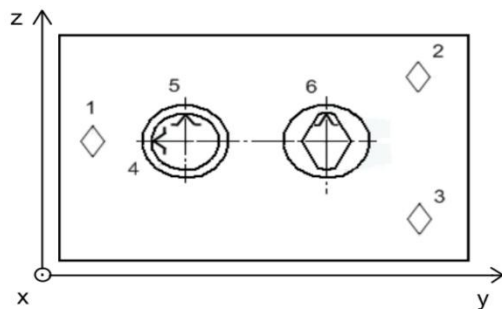


Рисунок 5.1 - Елементи базування деталей типу «Кронштейн» (виділені зеленим кольором).

Базування здійснюється по площині й двом пальцям (циліндричному і зрізаному), при цьому заготівля втрачає 6 ступенів свободи (рис. 5.2). Площина реалізується у вигляді трьох точок (трьох опор).

Крім базування - орієнтування деталі в системі верстата, деталь необхідно закріпити в пристосуванні, щоб орієнтація не мінялася під час обробки. Кріплення заготівлі до пристосування здійснюється болтами і гайками.

Оскільки для заданих кронштейнів елементи для базування й закріплення схожі, то можна застосувати одне оснащення, лише небагато змінюючи деякі його складові і їхнє положення, друг щодо друга.



Формула базування:

$$3+2+1=6$$

\rightarrow опорна ТБ (6)
 \rightarrow двійна опорна ТБ (4, 5)
 \rightarrow установочна ТБ (1, 2, 3)

1, 2, 3 - \leftrightarrow x \rightarrow y \rightarrow z
 4, 5 - \leftrightarrow y \leftrightarrow z
 6 - \rightarrow x

Рисунок 5.2 – Схема базування деталі «Кронштейн».

Розрахунок погрішності базування здійснюється по спеціальній програмі (рис. 5.3).

Для верстатів із ЧПК застосовується спеціальне оснащення, що забезпечує високу точність оброблюваних поверхонь, а також зменшення основного й допоміжного часу при обробці.

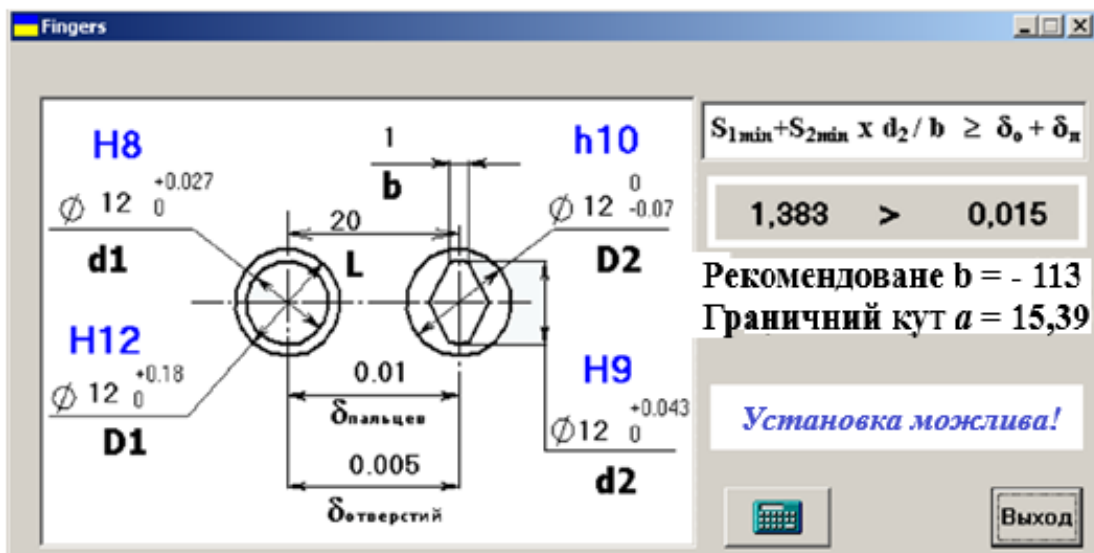


Рисунок 5.3 – Програма для розрахунку погрішності базування деталі на пальцях.

До пристосувань для верстатів із ЧПК пред'являється ряд специфічних вимог, обумовлених особливістю цих верстатів, недотримання яких значно знижує ефективність застосування верстатів із ЧПК.

Пристосування повинні мати підвищену розмірну точність. Погрішності базування й закріплення, що виникають при установці заготовок у пристосування, повинні бути зведені до мінімуму. Для можливості використання повної потужності верстата на чорнових операціях пристосування повинні мати підвищену жорсткість. У той же час конструкція пристосування повинна забезпечити отримання високої точності на чистових операціях.

Для обробки деталі «Кронштейн» на оброблювальному центрі VA 500 застосовуємо пристосування, зібране з комплекту УЗП-12.

5.2 Розробка групового пристосування на основі комплекту УЗП-12 для установки і базування заготовки деталі «Кронштейн» на оброблювальному центрі VA 500

Універсально-збірні пристосування (УЗП) - одна із сучасних і прогресивних систем засобів технологічного оснащення одиничного, дрібносерійного й серійного виробництва, а також крупносерійного й масового виробництва в період освоєння нових виробів.

Перевага системи УЗП полягає в спрощенні виготовлення пристосувань. Вона досягається завдяки набору стандартних елементів УЗП (деталей і складальних одиниць), з яких можуть збиратися пристосування для різних операцій (токарських, фрезерних, свердлильних, шліфувальних й ін.). При переході на виготовлення інших деталей пристосування розбираються на елементи, які використовуються при компонуванні інших пристосувань, що відрізняються від перших конструкцією й призначенням [50].

Комплекти універсально-збірних пристосувань із пазами 12 мм (УЗП-12) складаються з набору стандартних деталей і складальних одиниць. Вони застосовуються на підприємствах різних галузей промисловості.

Комплект УЗП-12 призначений для обробки деталей середніх габаритів (700х×400×800). Конструкція й розміри деталей і складальних одиниць УСП-12 регламентуються ДСТУ 15185-93 - ДСТУ 15468-93.

Для обробки деталей типу «Кронштейн» на оброблювальному центрі розроблене пристосування з елементів УЗП-12. Для базування деталей, яке здійснюється по площині і пальцях (дивись пункт 5.1), і закріплення кронштейнів через отвори, застосовуються такі компонентами УЗП-12:

- Плита ДСТУ 15197-93 (1 шт.);
- Болт пазовий ДСТУ 15379-93 (5 шт.);
- Опора ДСТУ 15411-93 (3 шт.);
- Шпонка ДСТУ 15345-93 (2 шт.);
- Гайка ДСТУ 15395-93 (2 шт.);
- Гайка ДСТУ 5915-93 (2 шт.);
- Шайба ДСТУ 18123-72 (2 шт.);
- Палець базовий циліндричний (1 шт.);
- Палець базовий зрізаний (1 шт.).

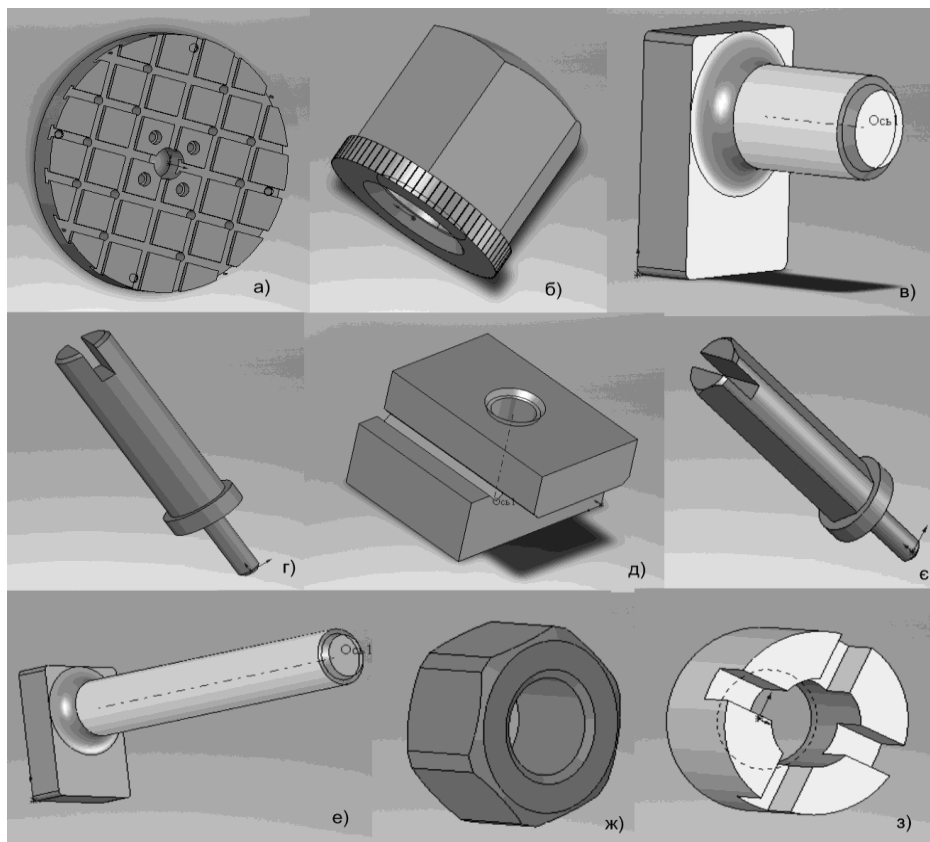


Рисунок 5.4 – Елементи пристосування для обробки «Кронштейна».

Площина базування представлена у вигляді трьох опор (рис 5.4, б), які мають внутрішнє різьблення. За допомогою різьблення опори кріпляться на пазові болти (рис. 5.4, в), які, у свою чергу, заганяються в пази плити (рис. 5.4, а). Циліндричний і зрізаний пальці (рис. 5.4, г, є) кріпляться на шпонці (рис. 5.4, д) за допомогою різьби, а шпонка вставляється в паз плити. Деталь кріпиться до пристосування за допомогою пазового болта й гайки (рис. 5.4, е, з). Болту надає нерухомість ще одна гайка (рис. 5.4, ж), що притискає його до плити.

Для деталей «Кронштейн 1», «Кронштейн 2», «Кронштейн 3» незмінними в розмірах у пристосуванні є плита, опори і шпонки. А інші елементи пристосування підбираються відповідно до розмірів деталей (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 - Наявність елементів пристосування для різних деталей.

Найменування елемента	ДСТУ	Довжина елемента, мм	діаметр елемента, мм	№ Кронштейн		
				1	2	3
Болт пазовий	15379-93	20	12	*	*	*
Болт пазовий	15379-93	35	6	*		
Болт пазовий	15379-93	70	6	*		
Болт пазовий	15379-93	10	18		*	
Болт пазовий	15379-93	70	12			*
Гайка	15395-93	10	10	*		
Гайка	15395-93	10	18		*	
Гайка	15395-93	10	22			*
Гайка	5915-93	5	M6	*		
Гайка	5915-93	8	M10		*	
Гайка	5915-93	10	M12			*
Шайба	18123-72	2	24	*		
Примітка: * - елемент належить до пристосування для відповідної деталі.						

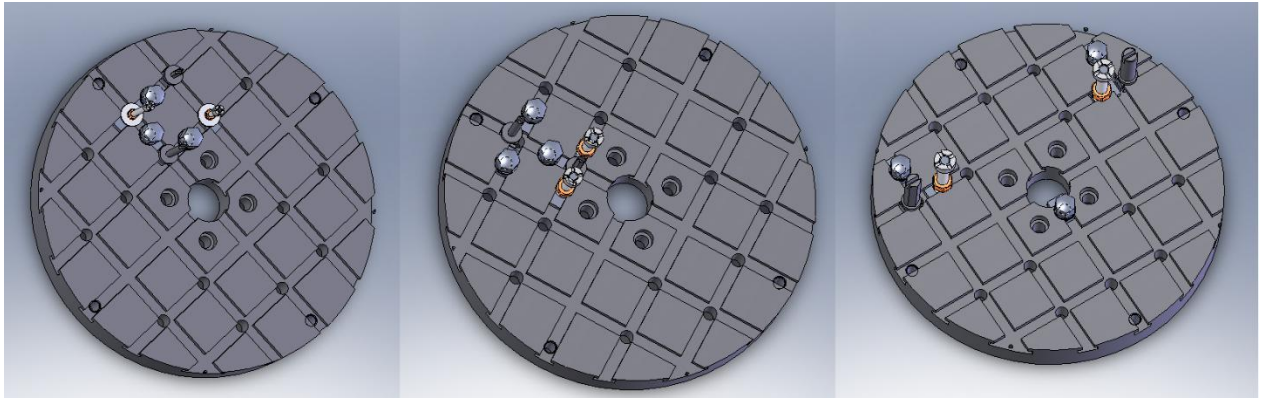


Рисунок 5.5 – Зовнішній вигляд пристосування для обробки деталей «Кронштейн».

5.3 Розробка конструкції загарбного пристрою маніпулятора для переміщення виробу «Кронштейн» у робочій зоні оброблювального центра VA 500.

Для переміщення заготівлі із пристосуванням, а також готової деталі в робочій зоні оброблювального центра VA 500 застосовується маніпулятор порталного типу MA160П. Одним з функціональних елементів даного робота є загарбний пристрій [49].

Для переміщення заготівлі деталі «Кронштейн» із пристосуванням використовується спеціальний загарбний пристрій, що складається із двох частин - двох плит.

Нижня плита (рис. 5.6) складається з базової поверхні, на яку безпосередньо встановлюється пристосування; системи важелів, при тиску на які спрацьовує пневматичний привод, що, у свою чергу, передає рух кулісі; далі рух передається губкам, за допомогою яких забезпечується базування й притиск пристосування в радіальному напрямку.

Верхня плита, притискаючись до деталі, забезпечує її нерухомість у вертикальному напрямку.

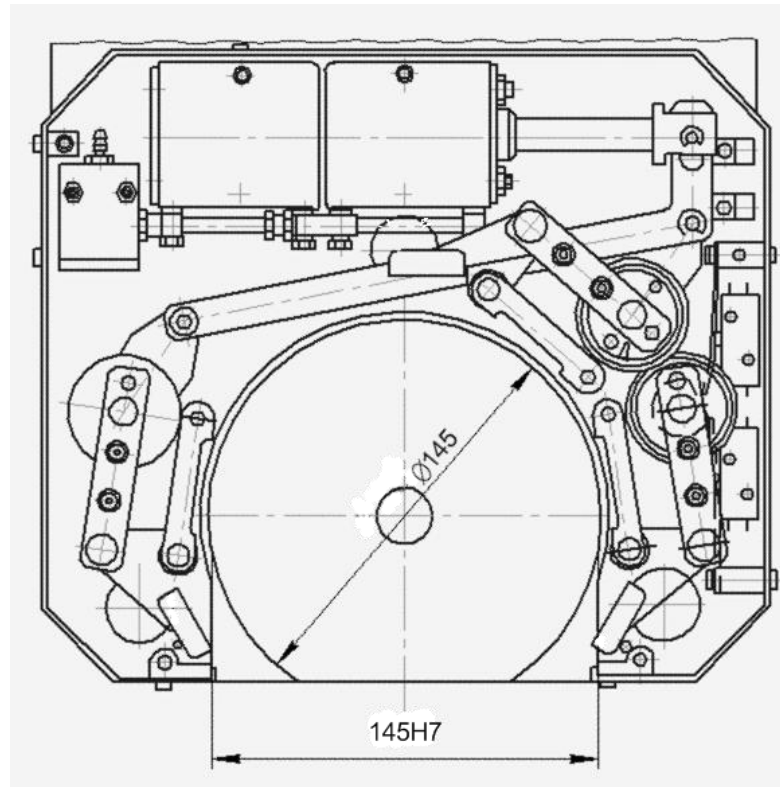


Рисунок 5.6 - Схема нижньої плити загарбного пристрою для маніпулятора MA160П.

5.4 Вибір основного й допоміжного інструмента для виготовлення деталі «Кронштейн» на оброблювальному центрі VA 500

При обробці деталей типу «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA 500 виконуються: фрезерування, свердління, розточування й нарізування різьблення.

Для обробки деталі типу «Кронштейн» застосовуються різальні інструмент компанії «Sandvik Coromant» [30].

Вибір інструмента для фрезерування проводиться за наступною схемою:

1. визначення виду фрезерування відповідно до типу операції (рис. 5.8):

- торцеве фрезерування (рис. 5.8, а);
- фрезерування уступів (рис. 5.8, б);
- профільне фрезерування (рис. 5.8, в);
- фрезерування пазів або отворів (рис. 5.8, г);

—різьбофрезерування (рис. 5.8, д).

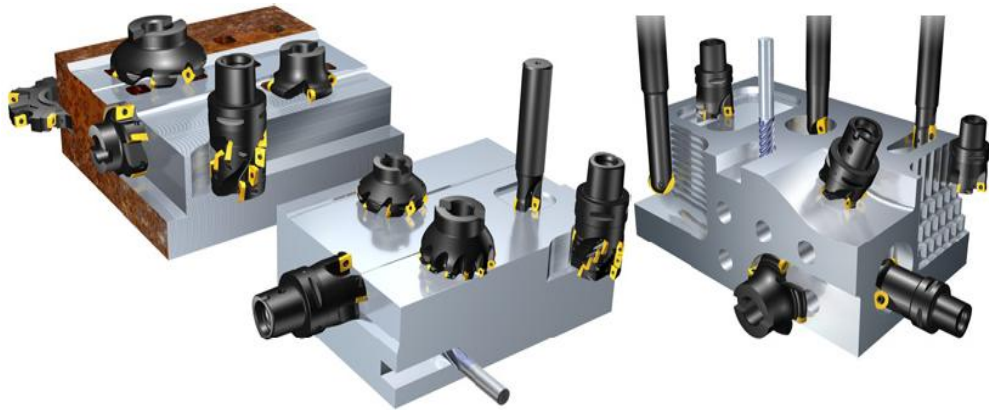


Рисунок 5.7 – Можливі види фрезерування.

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

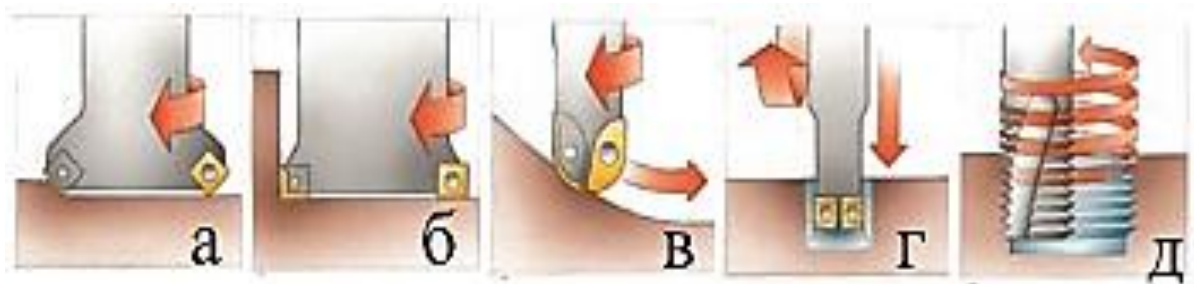


Рисунок 5.8 – Визначення видів фрезерування.

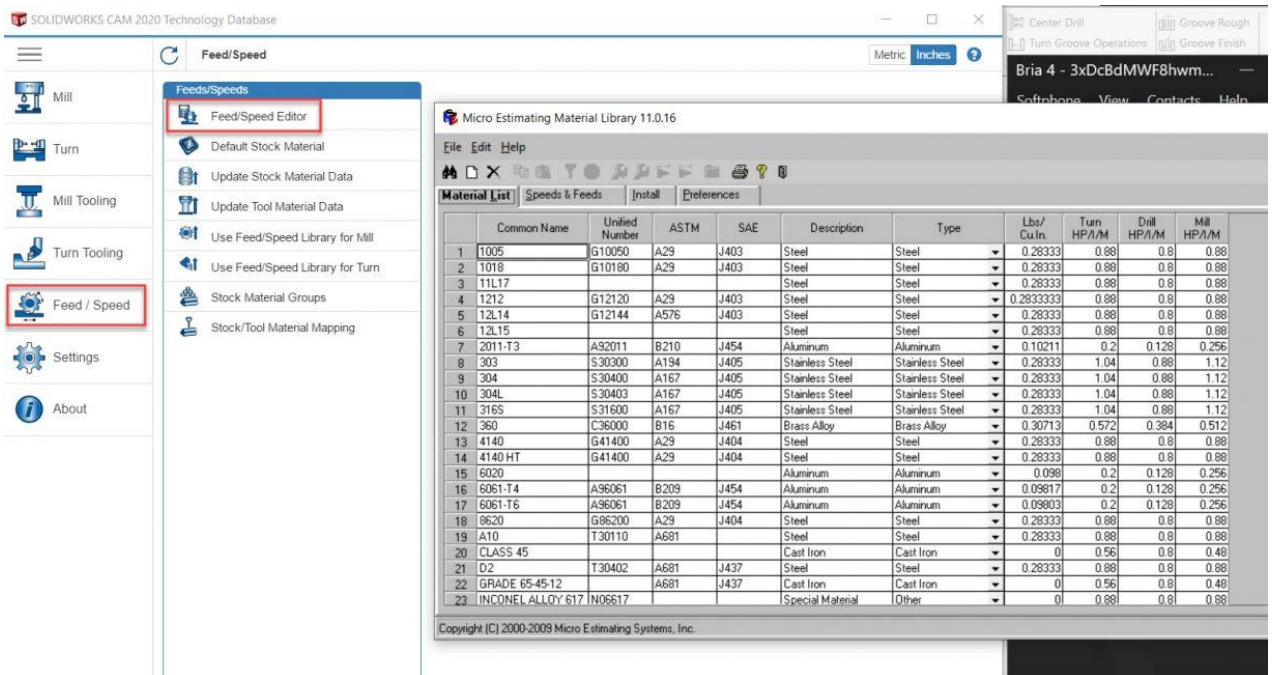
2.Визначення групи оброблюваного матеріалу по ISO (рис. 5.9):

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

1.Вибір типу фрези. Спочатку вибирається крок зубів фрези:

- як перший вибір рекомендується нормальний крок зубів;
- при роботі з більшими вильотами й у нестабільних умовах варто вибрати великий крок зубів;

— при обробці матеріалів, що дають елементну стружку, рекомендується вибирати дрібний крок зубів фрези.



уРисунок 5.9 – Відповідність марок металів за ДСТУ класифікаціям ISO і СМС.

Далі вибирається тип кріплення.

3. Підбираються ріжучі пластини.

Вибирається геометрія передньої поверхні пластин відповідно до операції (рис. 5.10):

— геометрія L - для чистової обробки. Коли необхідно знизити зусилля різання при легких умовах обробки;

— геометрія M - для напівчистової обробки. Універсальна геометрія для різноманітних умов обробки;

— геометрія H - для чорнової обробки. Для важкої обробки поверхонь із кувальною або ливарною кіркою, а також при небезпеці вібрацій.

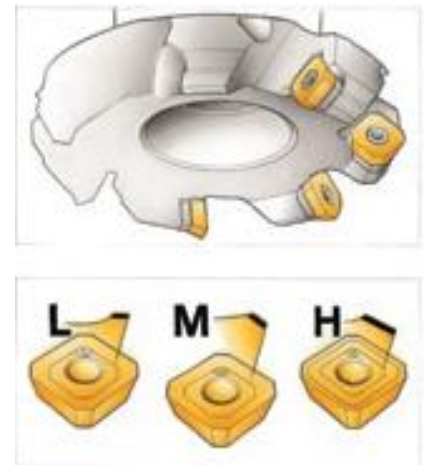


Рисунок 5.10 – Вибір геометрії пластин.

Прикладом вибору різального інструменту для фрезерування буде вибір профільної фрези для операції 020 - переходу 003.

Залежно від типу оброблюваної поверхні, матеріалу деталі вибираємо тип фрези (рис. 5.11).

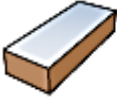













































	CoroMill® 790 Стр. D40	CoroMill® 200 Стр. D60	CoroMill® 300 Стр. D55	CoroMill® 210 Стр. D44	CoroMill® со сферическим концом Стр. D48
Глубина резания (a_p), мм	12, 18	5 / 6 / 8 / 10	1 / 4 / 6	1.2 / 2	8.6 – 44.6
D_c	D_c 25 – 100 мм	D_c 25 – 50 мм D_c 50 – 160 мм	D_c 10 – 42 мм	D_c 25 – 100 мм	D_c 10 – 50 мм
Обрабатываемый материал	N	P M K N S H	P M K N S H	P M K S H	P M K
 Торцевое фрезерование	 **	 **  ***  **		 ***  ***  ***	
 Фрезерование уступов	 ***  ***	 *		 **	
 Профильное фрезерование	 **  ***  ***	 **  ***  ***	 ***  ***  ***	 *  **  ***	 ***  ***  ***
 Фрезерование пазов	 **	 *	 **	 *	 *
Другие виды фрезерования	 *	 *	 *	 ***	 *
Продолжение ...					
*** = Лучший выбор	 Торцевое фрезерование	 Тонкие стенки			
** = Хороший выбор	 Прерывистое фрезерование	 Фрезерование снизу			
* = Допускается использовать	 Фрезерование с большими вылетами	 Фрезерование уступов			

Рисунок 5.11 – Вибір типу фрези.

Даний тип фрези обраний тому, що він підходить для обробки як чавуну, так і алюмінію. А також ця фреза рекомендується для обробки складного профілю.

Далі вибираємо тип кріплення – циліндричний хвостовик, а також крок зубів: у цьому випадку є тільки один варіант для необхідного діаметра фрези (рис. 5.12).

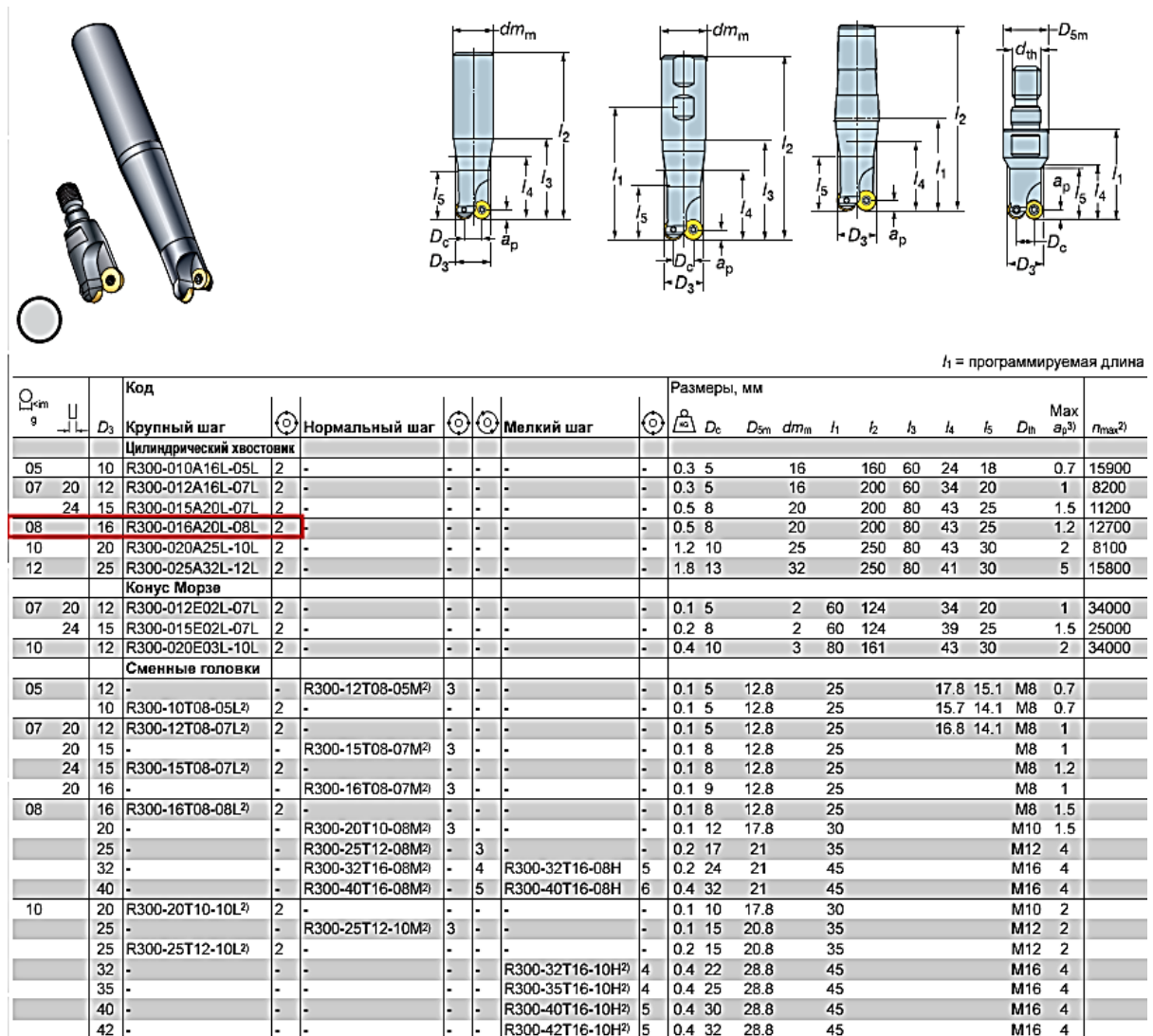
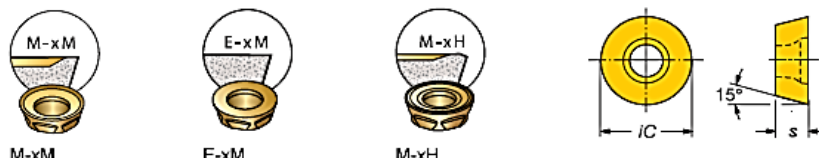


Рисунок 5.12 – Вибір параметрів фрези.

Після, здійснюється вибір пластин (рис. 5.13): визначаємо геометрію пластини – геометрія Н – для чорної обробки, для важкої обробки поверхонь із ливарною кіркою, оскільки заготівля отримана литтям.

Далі здійснюється вибір інструментів для фрезерування за аналогічною схемою для інших переходів операції 020, а результати заносяться у зведену таблицю 5.2.

Вибір кінцевих фрез відрізняється від вибору торцевих і профільних тим, що спочатку вибирається твердий сплав відповідно до матеріалу заготівлі, далі вибирається вид фрезерування, а потім вибирається фреза по розміру обробки.



ГО	Код	P			M			K			N			S			H			Размеры, мм		
		GC	GC	CT	GC	GC	CT	GC	GC	CT	GC	GC	CT	GC	GC	CT	GC	GC	CT	iC	s	
		1025	4020	4030	4040	530	2030	4040	1025	530	3020	3040	4020	4040	530	1025	2030	4040	1025	3020	3040	4020
Получистовая обработка	05	R300-0517E-MM					*													5	1.7	
		R300-0517E-PM	*		*	*		*	*				*	*		*		*		*	5	1.7
	07	R300-0720E-MM					*								*						7	1.99
		R300-0720E-PM	*		*	*		*	*				*	*		*		*		*	7	1.99
		R300-0724E-MM					*								*						7	2.38
		R300-0724E-PM	*		*	*		*	*				*	*		*		*		*	7	2.38
	08	R300-0828E-MM					*								*						8	2.78
		R300-0828E-PM	*		*	*		*	*				*	*		*		*		*	8	2.78
		R300-0828M-MM					*	*						*	*		*		*		8	2.78
		R300-0828M-PM				*									*	*		*		*	8	2.78
	10	R300-1032E-MM					*								*						10	3.18
		R300-1032E-PM	*		*	*		*	*				*	*		*		*		*	10	3.18
		R300-1032M-MM					*	*						*	*		*		*		10	3.18
		R300-1032M-PM			*										*	*		*		*	10	3.18
	12	R300-1240E-MM					*	*							*	*					12	3.97
		R300-1240E-PM	*		*	*		*	*				*	*		*		*		*	12	3.97
R300-1240M-MM						*	*						*	*		*		*		12	3.97	
R300-1240M-PM				*	*	*		*				*	*		*	*		*		12	3.97	
16	R300-1648E-MM					*								*						16	4.76	
	R300-1648E-PM	*		*	*		*	*				*	*		*		*		*	16	4.76	
	R300-1648M-MM					*	*						*	*		*		*		16	4.76	
	R300-1648M-PM			*	*									*	*		*		*	16	4.76	
Тяжелая	08	R300-0828M-KH										*						*		8	2.78	
		R300-0828M-MH					*							*				*		8	2.78	
		R300-0828M-PH	*	*	*						*							*		8	2.78	
	10	R300-1032M-KH					*					*						*		10	3.18	
		R300-1032M-MH					*	*						*	*		*		*	10	3.18	
		R300-1032M-PH	*	*	*	*				*		*	*		*	*		*	*	10	3.18	
	12	R300-1240M-KH					*	*			*	*				*	*		*	12	3.97	
		R300-1240M-MH					*	*						*	*		*	*		12	3.97	
		R300-1240M-PH	*	*	*	*			*		*	*	*		*	*		*	*	12	3.97	
	16	R300-1648M-KH					*	*			*	*			*	*		*	*	16	4.76	
		R300-1648M-MH					*	*						*	*		*	*		16	4.76	
		R300-1648M-PH	*	*	*		*	*			*	*	*		*	*		*	*	16	4.76	

Рисунок 5.13 – Вибір пластин для фрезерування профільною фрезою.

Вибір свердел проводиться за наступною схемою (рис. 5.14):

1.Визначення діаметра й глибини свердління й знаходження цих параметрів у таблицях.

2.Вибір типу свердла для виконуваної операції - чорнової або чистової обробки. Потім перевіряється, чи підходить обране свердло для матеріалу, що підлягає обробці.

3.Вибір типу хвостовика. Необхідно вибрати тип хвостовика, що відповідає устаткуванню, на якому буде робитися свердління.

4.Остаточний вибір свердла. Коли обраний тип свердла, що задовольняє вимогам виконуваної операції, необхідно знайти той діапазон діаметрів, який потрібен, і остаточно визначити код свердла.

5. Вибір ріжучої пластини, якщо необхідно. Необхідно знайти ріжучу пластину для обраного діаметра свердла, підібрати геометрію й марку сплаву відповідно до рекомендацій для конкретного оброблюваного матеріалу.

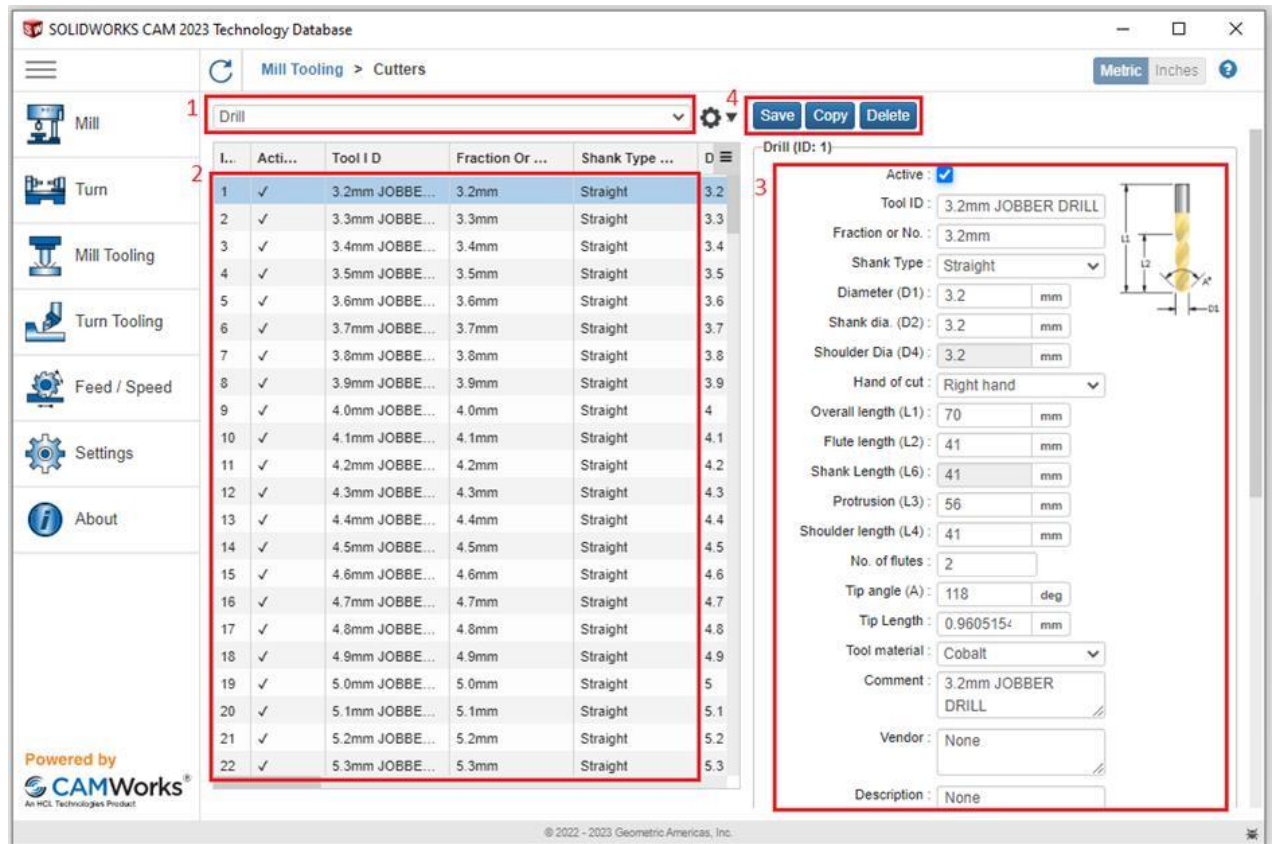































Рисунок 5.14 – Послідовність вибору свердел.

Приклад вибору свердел буде виконуватися для операції 020 - переходу 005.

Спочатку вибираємо вид свердла відповідно до марки оброблюваної деталі і геометрії отвору (рис. 5.15). Далі вибираємо тип свердла (рис. 5.16) і тип хвостовика, а також спосіб підведення ЗОТС.

По аналогічній схемі проводимо вибір свердел для інших переходів операції 020, де застосовується даний вид різального інструменту.

Також, в операції на оброблювальному центрі є переходи, на яких обробляються отвори великих діаметрів. У таких випадках використовують розточувальний інструмент [30].

	CoroDrill® Delta-C			Coromant Delta	CoroDrill® 880	
Стр.	E6 E30			E25	E37	E45
						
D_c мм	0.30-20.00	3.00-16.00	5.00-14.00	3.35-15.00	9.50-30.40	16.5-29.5
Глибина різання	$2 - 7 \times D_c$	$2 - 5 \times D_c$	$2 - 7 \times D_c$	$2 - 3 \times D_c$	$3.5 - 5 \times D_c$	$2 - 4 \times D_c$
Матеріал, що обробляється						
Точність поверхні		IT8-10		IT8-9	IT8-10	IT13 IT11 *)
Чистота поверх. Ra		1-2 мкм		1-2 мкм	1-4 мкм	1-5 мкм
 Звичайне свердління		***		***	***	***
 Ступінчасте свердління та обробка фасок			 ***  *** <i>Taper Mode</i>	 **		
Технологічні можливості	 *  *  **			 *  *  **	 ***  ***  **	 ***  *  ***

*) При предварительной настройке.







*** = Найкращий вибір		Свердління похилої поверхні		Радіальне зміщення
** = Найкращий вибір		Свердління отворів, що перетинаються		Свердління пакетів
* = Допускається використовувати		Свердління неповних отворів		Трепанція

Рисунок 5.15 – Вибір виду свердла.

CoroDrill Delta-C – цілісні
твердосплавні свердла для
високопродуктивного
отримання отворів.



	R840	R841	R842	R844	R846	R850	<i>Tailor Made</i> Спеціальний інструмент
Діаметр свердла D_c мм	0.30-20.00	0.30-20.00	3.00-16.00	8.00-18.00	3.00-16.00	5.00-14.00	до 25,00
Номінальний допуск свердла	m7	m8	m7	на запит	m7	m7	на запит
Глибина свердління	2-7 x D_c	2-7 x D_c	2-5 x D_c	1-1.5 x D_c	2-5 x D_c	2-7 x D_c	up to 15 x D_c
оброблюваний матеріал							
Точність отвору	IT8-10	IT8-9	IT8-10	IT5-6	IT8-10	IT8-10	IT5-10
Чистота поверх. R_a	1-2 μm	1-2 μm	1-2 μm	0.5-1 μm	1-2 μm	1-2 μm	0.5-2 μm

Область застосування



E 12

Звичайне свердління



E 40

Свердління пакетів



E 26

Ступінь та фаска



E 20

Похилі поверхні



E 20

Свердління
перетинаються
отворівВисвердлювання мітчиків.
Розміри свердел для
різбових отворів див. у
"Інформація/Показчик",
глава I

Допуски на свердло та отвір

Допуск на діаметр свердла

Більшість свердел CoroDrill Delta-C виготовляють згідно з DIN 6537 з діаметром D_c , виконаним по m7, і хвостовиком - по h6. У рамках програми Tailor Made можливе виготовлення сверделів та з іншими кваліфікаціями точності.

Точність отвору

Свердло, шліфоване з допуском по m7 (плюс/плюс), свердлимо отвір трохи більшого розміру (max перевищ. + 0,04 мм. Однак точність отвору залежить також від довжини свердла, налаштування, биття, жорсткості верстата та матеріалу заготовки.

D_c мм	Размер резьбы	Код	Наружный подвод СОЖ						Внутренний подвод СОЖ						Размеры, мм			
			P	M	K	N	S	H	P	M	K	N	S	H	d_{m1}	l_2	l_4	l_5
4.3	M5	R840-0430-30-A0A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6	66	17	24
4.36	11/64		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6	66	17	24
4.4		R840-0440-30-A0A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6	66	17	24
4.5		R840-0450-30-A0A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6	66	17	24
4.55	12-24 UNC		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6	66	17	24
4.6		R840-0460-30-A0A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6	66	17	24
4.7		R840-0470-30-A0A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6	66	17	24
4.76	3/16		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6	66	18	26
4.8	12-32 UNF		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6	66	18	26
5		R840-0500-30-A0A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6	66	18	26
5.1		R840-0510-30-A0A	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6	66	18	26
5.16	13/64		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	6	66	18	26

Рисунок 5.16 – Вибір свердла для операції 020 – переходу 005.

Вибір розточувального інструмента виконується за наступною схемою (рис. 5.17):

1.Визначення виду розточування. Знаходження необхідного типу операції в таблиці відповідно до параметрів і матеріалу оброблюваного отвору, операційних обмежень й устаткування.

2.Визначення виду інструмента. Серед номенклатури інструмента для заданого типу операції, потрібно вибрати необхідний тип , що відповідає вимогам чистової або чорнової обробки.

3.Визначення діапазону діаметрів розточування й вимог до отвору. Вибрати по таблиці діапазон діаметрів, що розточують, задовольняючої конкретній операції, вимогам по шорсткості й точності.

4.Визначення головного кута у плані. Виходячи із прийнятого кута в плані, вибирається по таблиці відповідний повзун-вставка. Також необхідно визначити найбільш підходящий тип пластини.

5. Вибір корпусу розточувального інструмента. В основі вибору корпусу лежать:

- розмір з'єднання;
- глибина розточування.

6.Вибір ріжучої пластини. Ріжуча пластина за формою й розміром повинна відповідати рекомендаціям таблиць, по яких здійснюється вибір розточувального інструмента. Вибір марки сплаву ріжучої пластини робиться, виходячи з параметрів оброблюваного матеріалу і умов обробки.

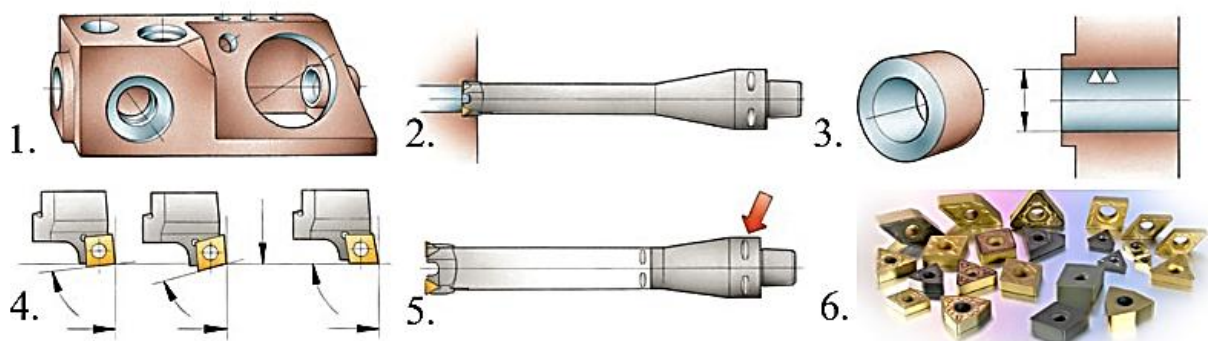
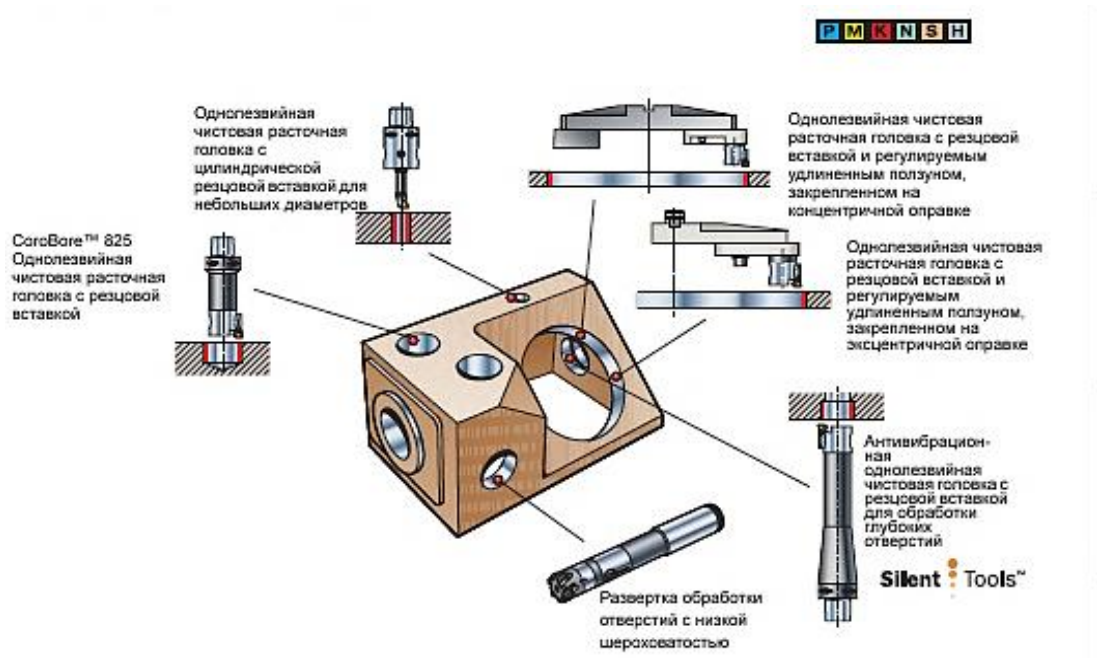


Рисунок 5.17 – Схема вибору розточувального інструмента.

Приклад вибору розточувального інструмента виконаний для операції 020 - переходу 040.

Спочатку вибирається тип операції – у цьому випадку чистове розточування. Відповідно до операції вибирається тип розточувального інструмента (рис. 5.18).



	Чистова розточувальна головка	CoroBore®825 - Інструмент для чистого розточування					- Антивібраційний інструмент для чистого розточування		Фрезерування
Діапазон діаметрів (мм)	3-42	19-176.6	150-324.6	250-581.6	250-981.6	23-176.6	150-324.6	розділ "Фрезерування", глава D.	
Глибина розточування	5 x Dc	4 x D5m	4 x D5m	400 мм	400 мм	6 x Dc	6 x D5m		
Точність отвору	IT6	IT6	IT6	IT6	IT6	IT6	IT6		
оброблюваний матеріал									
Головний кут у плані	90°, 91°, 92°	92°	92°	92°	92°	92°	92°		

Рисунок 5.18 – Вибір виду розточувального інструмента.

Далі на підставі розміру, що розточується, визначається тип різцевої вставки і корпусу (рис. 5.19).

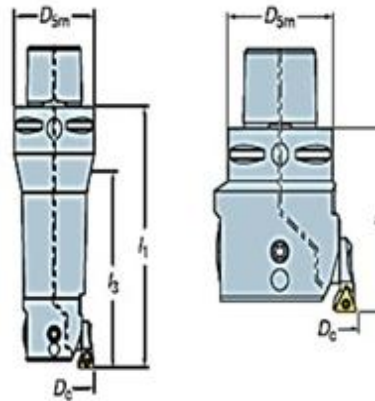
CoroBore™ 825

Діапазон діаметрів, що розточуються. 23 - 176.6 мм

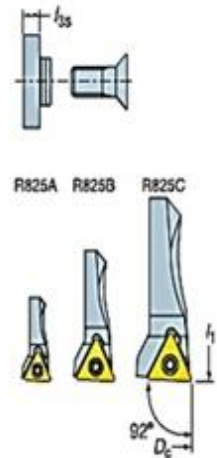
Coromant Capto®



23-176.6 мм
IT6
0.002 мм



Комплект увеличительных проставок



Регулировка производится только от центра к периферии.

Диапазон диаметров ¹⁾	Dc min - max	Главный угол в плане κ	Типоразмер корпуса	Тип пластины ²⁾	Резцовая вставка	Удлиненный ползун	Корпус	Размеры, мм				
					Код	Код	Код	$\frac{D_c}{D_{3m}}$	D_{3m}	h_1	h_2	h_{3s}
23-29		92	C3	TP..06	R825A-AF11STUP06T1A	825A-030A	C3-R825A-AAA065A	0.28	32	76	≈	3.0
29-35 ⁴⁾			C4	TC..06	R825A-AF11STUC06T1A		C4-R825A-AAA074A	0.45	40	85	≈	3.0
28-36		92	C3	TP..06	R825A-AF11STUP06T1A	825A-030A	C3-R825A-AAB072A	0.38	32	83	≈	3.0
34-42 ⁴⁾			C4	TC..06	R825A-AF11STUC06T1A		C4-R825A-AAB084A	0.56	40	95	≈	3.0
35-45		92	C3	TP..09	R825B-AF17STUP0902A	825B-036A	C3-R825B-AAC031A	0.28	32	48	≈	3.6
42-52 ⁴⁾			C4	TC..09	R825B-AF17STUC0902A		C4-R825B-AAC066A	0.61	40	83	≈	3.6
44-56		92	C4	TP..09	R825B-AF17STUP0902A	825B-036A	C4-R825B-AAD039A	0.53	40	56	≈	3.6
51-63 ⁴⁾			C5	TC..09	R825B-AF17STUC0902A		C5-R825B-AAD081A	1.14	50	98	≈	3.6
55-70		92	C5	TP..11	R825C-AF23STUP1103A	825C-048A	C5-R825C-AAE043A	0.98	50	66	≈	4.8
				TC..1102	R825C-AF23STUC1102A							
64.6-79.6 ⁴⁾			C6	TC..1103	R825C-AF23STUC1103A		C6-R825C-AAE097A	2.27	63	120	≈	4.8
69-87		92	C5	TP..11	R825C-AF23STUP1103A	825C-048A	C5-R825C-AAF047A	1.38	50	70	≈	4.8
				TC..1102	R825C-AF23STUC1102A							
78.6-96.6 ⁴⁾			C6	TC..1103	R825C-AF23STUC1103A		C6-R825C-AAF055A	1.87	63	78	≈	4.8
86-107		92	C5	TP..11	R825C-AF23STUP1103A	825C-048A	C5-R825C-AAG053A	2.17	50	76	≈	4.8
95.6-116.6 ⁴⁾				TC..1102	R825C-AF23STUC1102A							
			C6	TC..1103	R825C-AF23STUC1103A		C6-R825C-AAG067A	2.62	63	90	≈	4.8

Рисунок 5.19 – Вибір розточувального інструмента.

За рекомендацією при виборі інструмента вибираємо тип пластини (рис. 5.20).

Далі, за аналогічною схемою, проводимо вибір розточувального інструмента для переходів операції 020, і заносимо отримані дані у зведену таблицю 5.2.

Пластини для загального точення

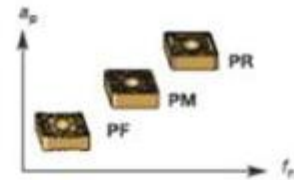
Пластини із задніми кутами CoroTurn® 107

Чорнова обробка



TCMT-MR TCMT-KR TCMT-UR VBMT-PR VBMT-MR VBMT-KR

дана	11-22	11-22	11	16	16	16
стор.	A51	A51	A51	A53	A53	A53



Глибокоочистка стор. A18.



Пластини із задніми кутами CoroTurn 111

Чистова обробка



CPMT-PF CPMT-MF CPMT-KF DPMT-PF DPMT-MF DPMT-KF TPMT-PF TPMT-MF TPMT-KF VCMT-PF

дана	06	06-09	06	07	07	07	06-16	06-16	06-16	11
стор.	A54	A54	A54	A55	A55	A55	A56	A56	A56	A57

CoroTurn® 111

Трикутна пластина



ний Типораз. | Тип

		Код	P						M			K	S		
			06	09	11	16	16	16	06	09	11	16	06	11	
			1025	4015	4025	4035	5015	1025	2015	2025	2035	3215	HT3A	1025	HT3A
Чистова обробка		06	TRMT 06 T1 02-PF				*								
			TRMT 06 T1 04-PF	*	*		*								
		09	TRMT 09 02 02-PF				*								
			TRMT 09 02 04-PF	*	*		*								
		11	TRMT 11 03 02-PF				*								
			TRMT 11 03 04-PF	*	*		*								
		16	TRMT 16 T3 04-PF	*	*										
		06	TRMT 06 T1 02-MF					*						*	
			TRMT 06 T1 04-MF					*	*					*	
		09	TRMT 09 02 02-MF					*	*					*	
			TRMT 09 02 04-MF					*	*					*	
		11	TRMT 11 03 02-MF					*	*					*	
		TRMT 11 03 04-MF					*	*	*				*		
	06	TRMT 06 T1 04-KF									*		*		
	09	TRMT 09 02 04-KF									*		*		
	11	TRMT 11 03 04-KF									*		*		
	16	TRMT 16 T3 04-KF									*		*		

Рисунок 5.20 – Вибір пластини для розточувального інструмента.

Вибір інструментального оснащення здійснюється за наступною схемою:

1. Визначити тип інструментального оснащення. Вибрати модульне або цільне інструментальне оснащення.

2. Вибрати тип адаптера. Використовуючи оглядову таблицю для вибору патрона, відповідно до типу виконуваної операції й застосовуваного устаткування.

3. Визначити типорозмір модульного з'єднання. На відповідній сторінці необхідно вибрати:

- потрібний розмір з'єднання;
- адаптер.

4. Вибрати базовий тримач. Використовуючи оглядову таблицю для вибору базового тримача, відповідно до застосовуваного устаткування, вибрати патрон, що відповідає необхідному типу з'єднання.

5. Вибрати перехідники, якщо це необхідно. Перехідники й подовжувачі потрібно застосовувати при необхідності збільшення вильоту інструмента.

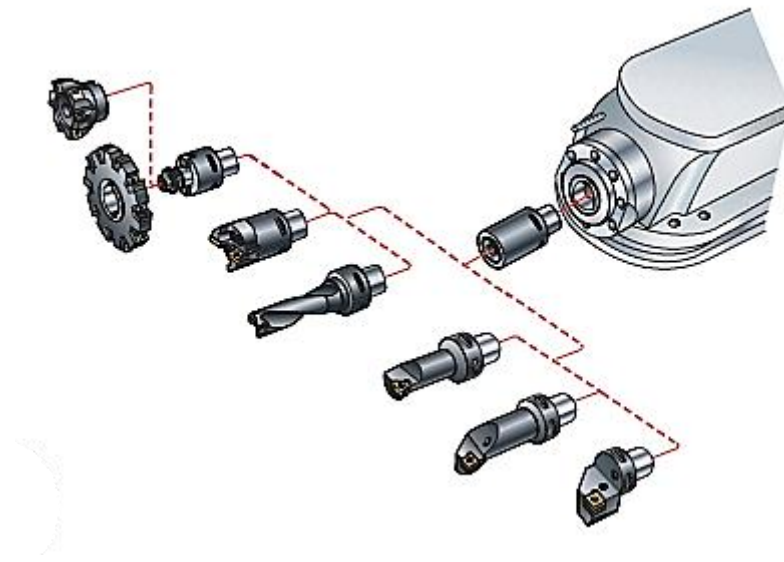


Рисунок 5.21 – Види інструментального оснащення.

Таблиця 5.2 - Зведена таблиця різальних інструмент для обробки деталі типу «Кронштейн» на оброблювальному центрі VA 500.

№ переходу	Тип інструмента	Код інструмента	Код пластини	Матеріал ріжучої частини
002	фреза профільна	R300-010A16L-05L	R300-0517E-PM	СТ 530
003	фреза профільна	R300-016B20L-08L	R300-0828M-KH	GC 3040
004	фреза профільна	R300-016B20L-08L	R300-0828M-KH	GC 3040

№ переходу	Тип інструмента	Код інструмента	Код пластини	Матеріал ріжучої частини
005	свердло	R840-0500-30- АОА	-	GC 1220
006	свердло	R840-0500-30- АОА	-	GC 1220
007	свердло	R840-1100-30- АОА	-	GC 1220
008	свердло	R840-1100-30- АОА	-	GC 1220
009	свердло	R840-1300-30- АОА	-	GC 1220
010	свердло	R840-0500-30- АОА	-	GC 1220
011	свердло	R840-0500-30- АОА	-	GC 1220
012	свердло	R840-1000-30- АОА	-	GC 1220
013	свердло	R840-1400-30- АОА	-	GC 1220
014	свердло	R840-1600-30- АОА	-	GC 1220
015	свердло	R840-1100-30- АОА	-	GC 1220
016	фреза кінцева	R216.24- 20050IAK38P	-	GC 1630
017	фреза кінцева	R215.86- 03000/AC05G	-	GC 1620
018	фреза кінцева	R215.85- 02000/AC30G	-	GC 1620
019	фреза кінцева	R215.85- 02000/AC30G	-	GC 1620
020	фреза кінцева	R215.85- 02000/AC30G	-	GC 1620
021	свердло	R840-2000-30- АОА	-	GC 1220
022	різьбонарізна фреза	R217.14C04510 0AC13N	-	GC 1630
023	різьбонарізна фреза	R217.14C04510 0AC13N	-	GC 1630
024	різьбонарізна фреза	R217.14C07515 0AK21N	-	GC 1630
025	різьбонарізна фреза	R217.14C04510 0AC13N	-	GC 1630
026	різьбонарізна фреза	R217.14C04510 0AC13N	-	GC 1630

№ переходу	Тип інструмента	Код інструмента	Код пластини	Матеріал ріжучої частини
027	різьбонарізна фреза	R217.15C12020 0AK34N	-	GC 1630
028	розточувальний інструмент	R820A- BR11SCFC06A	CCMT060208- KR	GC 3215
029	розточувальний інструмент	R820D- BR18SCFC09A	CCMT09T308- KR	GC 3215
030	розточувальний інструмент	R825B- AF17STUP0902 A	TPMT090204-KF	GC 3215
031	фреза кінцева	R215.64- 32A32-4512	SPMT 12 04 08- WH	H12A
032	фреза кінцева	R215.64- 32A32-4512	SPMT 12 04 08- WH	H12A
034	фреза торцева	R245-050Q22- 12M	R245-12T3M- KM	H13A
035	фреза торцева	R245-050Q22- 12M	R245-12T3M-KL	GC 3020
036	розточувальний інструмент	391.68A-1- 03213C06A	CCMT060204- MM	H10
037	розточувальний інструмент	R820C- BR16SCFC09A	CCMT09T308- KR	GC 3215
038	розточувальний інструмент	R820B- BR12SCFC06A	CCMT060208- KR	GC 3215
039	розточувальний інструмент	R825A- AF11STUP06T 1A	TCGX06T104- AL	H10
040	розточувальний інструмент	R825B- AF17STUP0902 A	TPMT090204-KF	GC 3215
041	фреза кінцева	R215.64- 32A32-4512	SPMT 12 04 08- WH	H12A
042	фреза кінцева	R215.64- 32A32-4512	SPMT 12 04 08- WH	H12A
043	свердло	R840-0794-30- A1A	-	GC 1220
045	фреза кінцева	R215.36- 08050-BC19L	-	GC 1620
046	фреза профільна	R300- 010A16L-05L	R300-0517E-PM	CT 530
047	фреза профільна	R300-016B20L- 08L	R300-0828M-KH	GC 3040

№ переходу	Тип інструмента	Код інструмента	Код пластини	Матеріал ріжучої частини
049	фреза кінцева	R215.64-32A32-4512	SPMT 12 04 08-WH	H12A
050	фреза кінцева	R215.64-32A32-4512	SPMT 12 04 08-WH	H12A
051	фреза торцева	R230-012B16L-05L	R230-12T308E-ML	H13A
053	свердло	R840-0420-30-АОА	-	GC 1220
054	свердло	R840-0800-30-АОА	-	GC 1220
055	фреза кінцева	R215.85-02000/AC30G	-	GC 1620
056	свердло	R840-2000-30-АОА	-	GC 1220
057	різьбонарізна фреза	R217.13-032070AC08N	-	GC 1630

5.5 Висновки

У даному розділі виконувалася розробка технологічного оснащення процесу виготовлення деталі «Кронштейн», при якій був проведений аналіз технічного оснащення, яке застосовується на верстатах із ЧПК в цілому. У якості оснащення були розроблені групове пристосування на базі елементів УЗП-12, що використовується при обробці на вертикальному оброблювальному центрі VA 500 для всіх деталей типу «Кронштейн», для яких складався ГТП; конструкція загарбного пристрою маніпулятора, що переміщає заготовлі й деталі в пристосуваннях на місце робочої зони верстата із ЧПК, далі базує пристосування на столі верстата і т.д., а також обрані основний і допоміжний інструменти для обробки деталей на оброблювальному центрі.

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

6. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «КРОНШТЕЙН»

6.1 Розробка організаційно-технологічної структури системи виготовлення деталі «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA 500

До складу організаційно-технологічної системи виготовлення деталі «Кронштейн» входять: вертикальний оброблювальний центр VA 500, стіл-накопичувач, а також порталний робот MA160П (рис. 6.1).

Для розміщення на ділянці обробки деталі типу «Кронштейн» заготовок, а також готових деталей необхідна наявність накопичувача. У цьому випадку накопичувачем є металевий стіл. На столі розташовані пальці для правильного позиціонування пристосування із заготівлею. Точне позиціонування в цьому випадку необхідно для точного захвату маніпулятором заготівлі із пристосуванням.

Маніпулятор MA160П - промисловий робот (ПР) порталного типу, що здійснює переміщення заготівлі із пристосуванням до робочої зони верстата, установку на елементи базування стола верстата, зняття після обробки пристосування з деталлю, а також переміщення деталі в накопичувач.

Вертикальний оброблювальний центр VA 500 - верстат із ЧПК, що безпосередньо здійснює обробку деталі типу «Кронштейн».

За допомогою програми SolidWorks була змодельована імітаційна модель системи виготовлення деталі «Кронштейн», у яку ввійшли перераховані вище елементи [6].

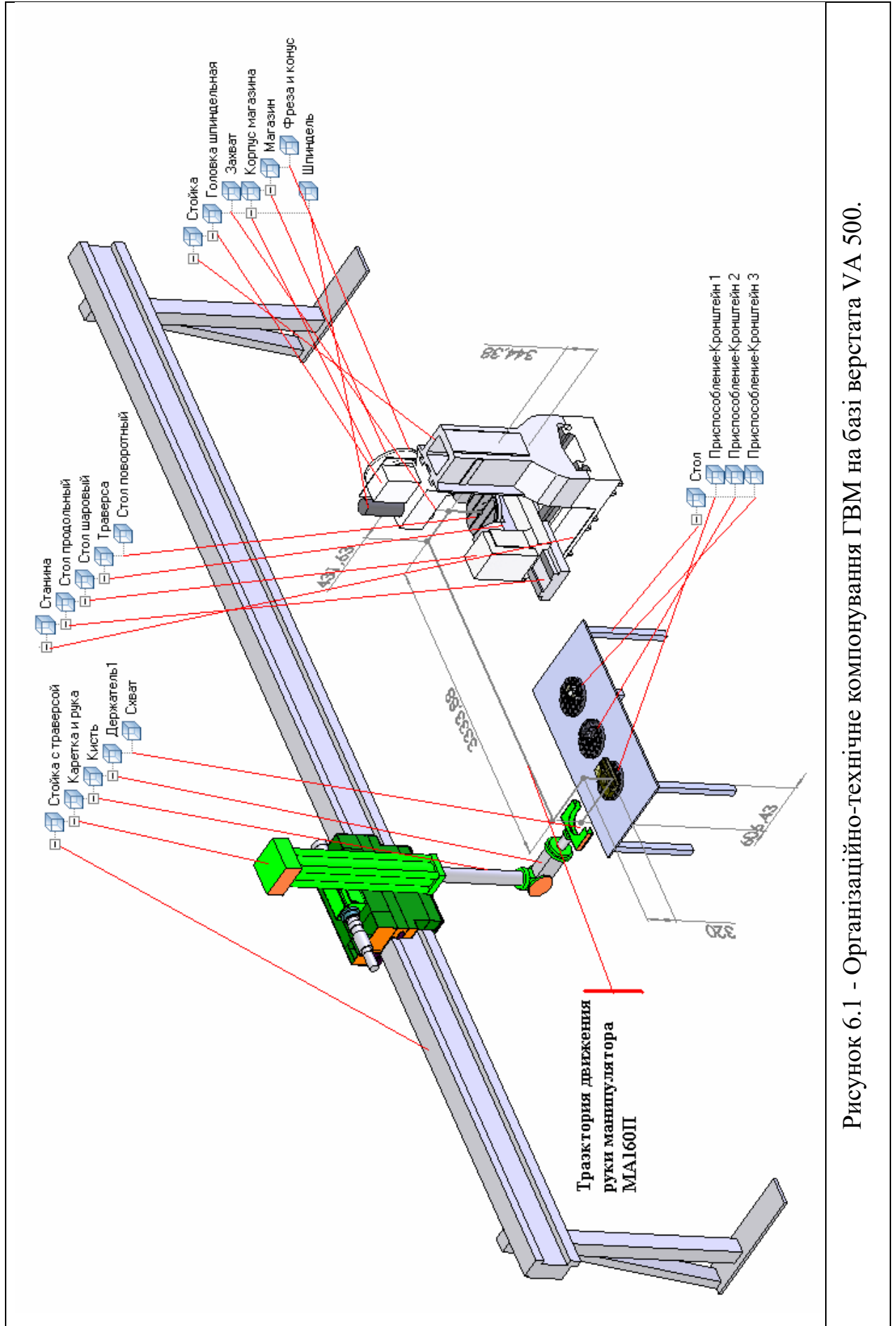


Рисунок 6.1 - Організаційно-технічне комплектування ГВМ на базі верстата VA 500.

6.2 Розробка імітаційної моделі вертикального оброблювального центра VA 500

Вертикальний оброблювальний центр VA 500 компанії TWINHORN (рис. 6.2) – це сучасний верстат із ЧПК, на якому можна виконувати фрезерування, свердління, розточування і т.д.



Рисунок 6.2 – Зовнішній вигляд оброблювального центра VA 500.

Даний верстат може оснащуватися системами числового програмного керування Fanuc Oi-MB, Siemens 802D/810D або Mitsubishi 64S/65S.

Однією з особливостей даного верстата є наявність у нього дуже потужного шпинделя. Такий шпиндель призначений для передачі дуже великих навантажень на швидкості 20000 об/хв і вище. При цьому якість обробки деталей на цьому верстаті порівняно із шліфуванням.

Вертикальний оброблювальний центр VA500 має такі технічні характеристики:

— Максимальна маса заготовлі в кг.....	300
— Потужність двигуна у кВт.....	22,5
— Максимальне число обертів шпинделя у хвилину.....	20000
— Переміщення по осі X у мм	500
— Переміщення по осі Y у мм.....	400
— Переміщення по осі Z у мм	450
— Точність.....	C3

— Розмір стола в мм.....	400×700
— Позиціювання в мм.....	0,005/300
— Стабільність позиціювання в мм.....	±0,003
— Швидка подача в мм/хв по:	
Осям X, Y.....	24000
Осі Z.....	2400
— Розмір конуса.....	BT-40

Оброблювальний центр має такі стандартні приладдя:

- Пристрій автоматичної зміни інструментів без поворотної руки на 16 інструментів;
- Система подачі охолодної рідини;
- Система автоматичного змащення;
- Світильник (система якісного освітлення);
- Повітряне обдування шпинделя;
- Обдування оброблюваної деталі;
- Автоматичне відключення живлення (M30);
- Тверде нарізування різьблення;
- Інтерфейс RS-232 (зв'язок з комп'ютером);
- Повністю закрите огороження від розбрикування охолоджувальної рідини.

Додаткові приладдя:

- Масляний охолоджувач шпинделя;
- Шпиндель зі швидкістю обертання 10000об/хв;
- Шпиндель зі швидкістю обертання 12000 об/хв;
- Пристрій автоматичної зміни інструментів з поворотною рукою на 16 інструментів;
- Теплообмінник;
- Трансформатор (380/220V).

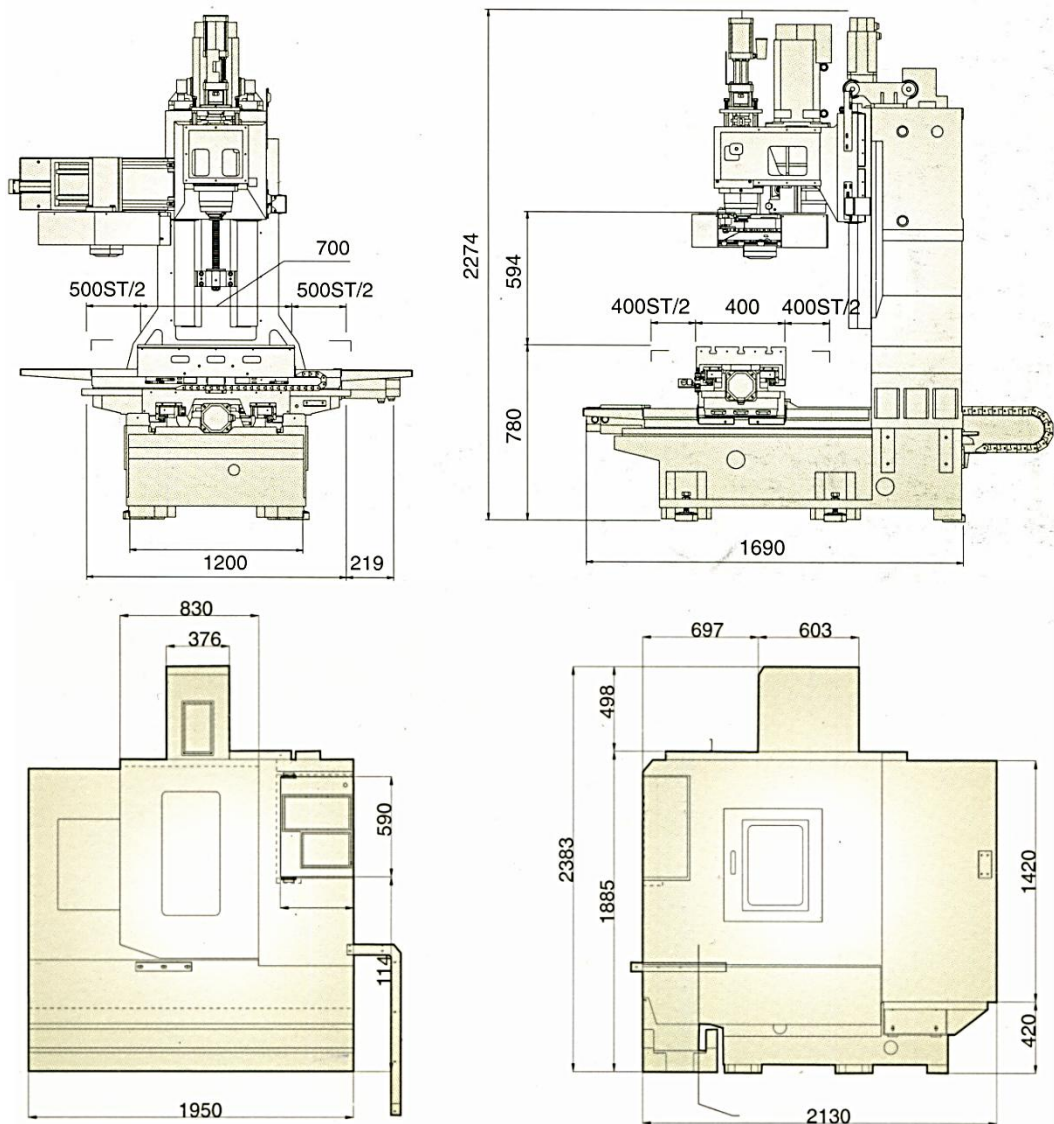


Рисунок 6.3 – Зовнішній вигляд вертикального оброблювального центра VA 500 з габаритними розмірами.

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

1. станина (рис 6.4);
2. стійка (рис 6.5);
3. стіл поздовжнього переміщення (рис 6.6);
4. стіл поперечного переміщення (рис 6.7);
5. шпиндельна головка (рис. 6.8);
6. шпиндель (рис 6.9);
7. інструментальний магазин (рис 6.10);
8. маніпулятор (рис 6.11).

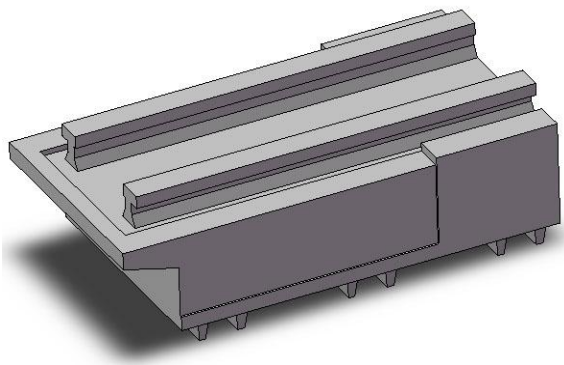


Рисунок 6.4 – Станина
оброблювального центра VA 500.

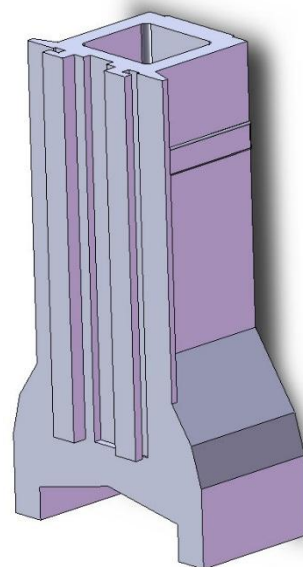


Рисунок 6.5 – Сійка оброблювального
центра VA 500.

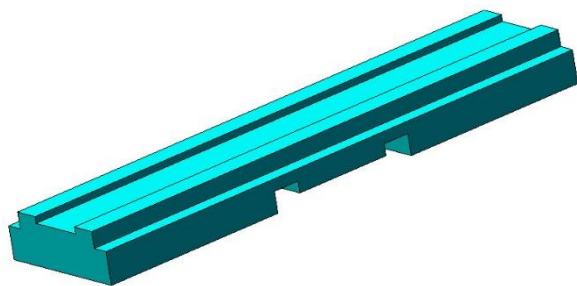


Рисунок 6.6 – Стіл поздовжнього
переміщення оброблювального
центра VA 500.

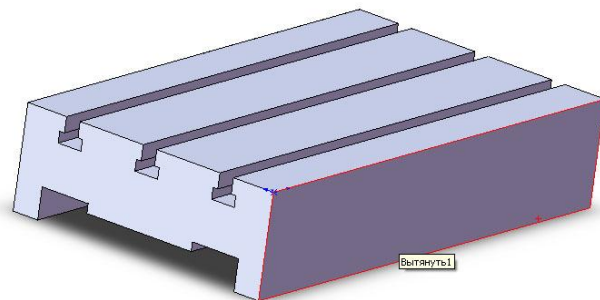


Рисунок 6.7 – Стіл поперечного
переміщення оброблювального
центра VA 500.

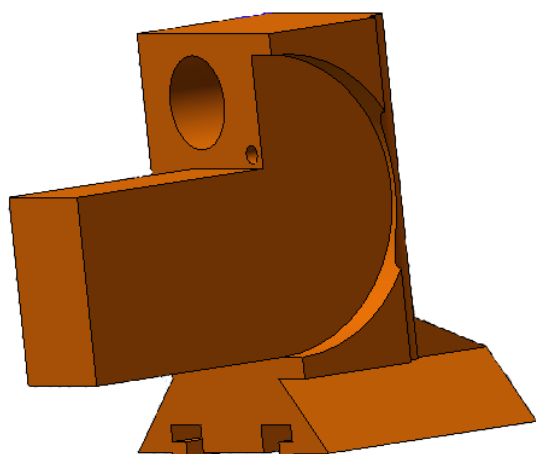


Рисунок 6.8 – Шпиндельна головка
оброблювального центра VA 500.



Рисунок 6.9 – Шпиндель
оброблювального центра VA 500.

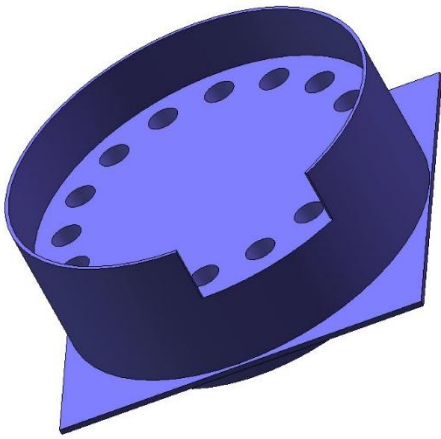


Рисунок 6.10 – Інструментальний магазин оброблювального центра VA 500.



Рисунок 6.11 – Маніпулятор оброблювального центра VA 500.

Для збільшення можливостей обробки складних деталей на верстаті замість стола поперечного переміщення застосовують шаровий стіл (рис. 6.12, а), на який установлюють траверсу (рис. 6.12, б) з поворотним столом (рис. 6.12, в).

Зовнішній вигляд імітаційної моделі оброблювального центра VA 500 представлений на рис. 6.13.

Всі крайні положення вузлів верстата показані на рис. 6.14. Положення *а* – початкове положення всіх вузлів верстата; положення *б* – поворот

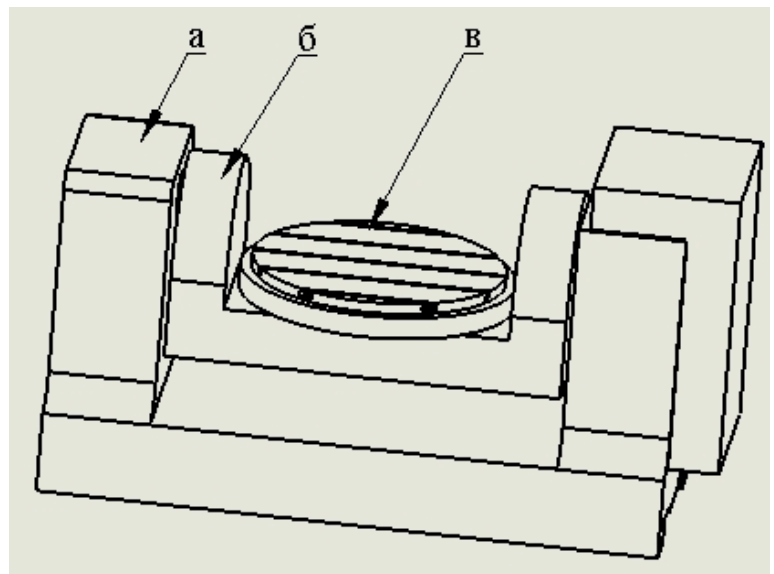


Рисунок 6.12 - Додаткові вузли верстата.

інструментального магазину і висування маніпулятора; положення *в* – захват маніпулятором інструмента; положення *г* – витяг маніпулятором інструмента; положення *д* – поворот маніпулятора на 180°; положення *е* – установка інструментів в магазин і шпиндель; положення *ж* – відвід маніпулятора; положення *з* – поворот маніпулятора у вихідне положення; положення *з* – переміщення шпинделя (і його обертання) до закріпленої заготовлі; положення

и - повернення всіх вузлів у вихідне положення. Також під час завантаження/вивантаження інструмента переміщуються поздовжній і поперечний столи для завантаження/вивантаження заготівлі.

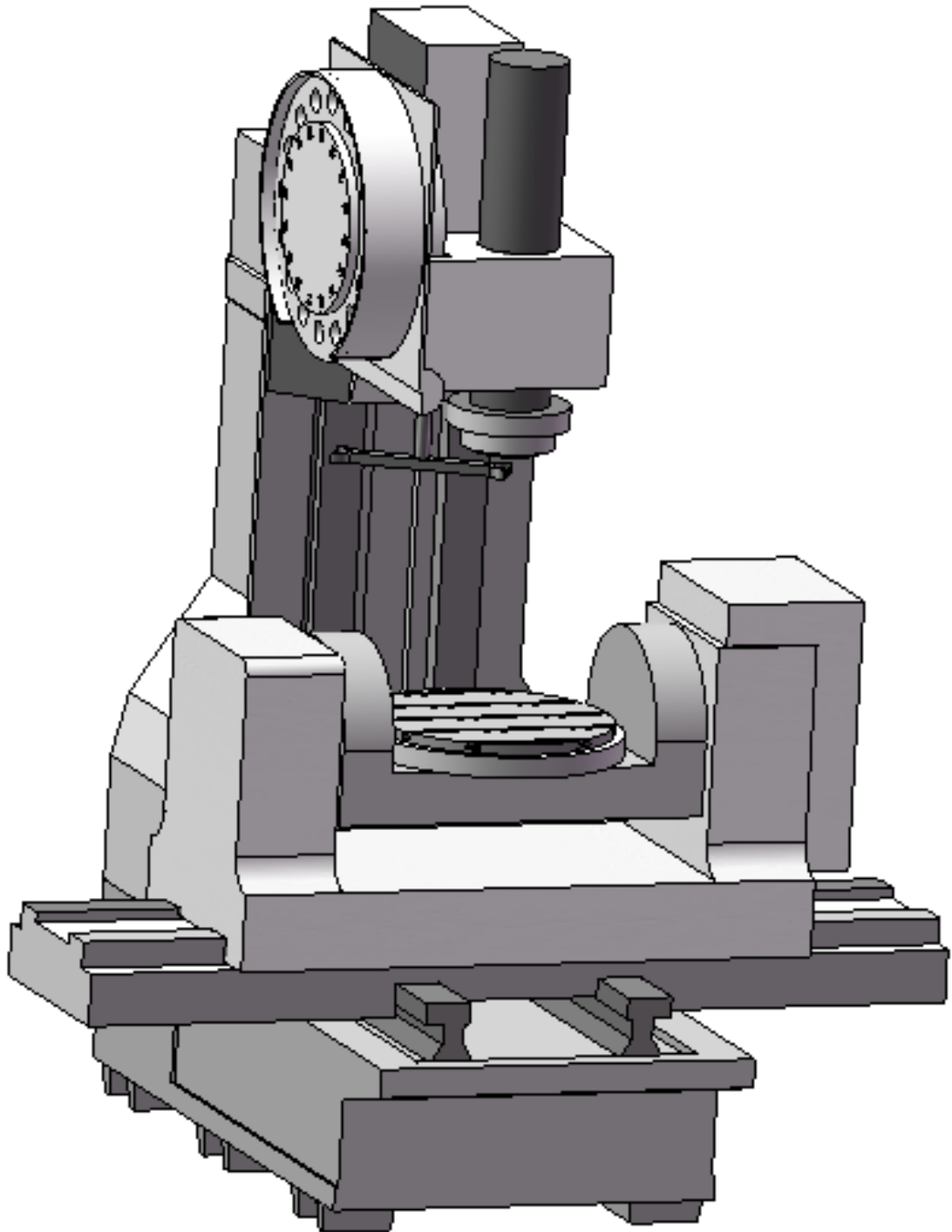


Рисунок 6.13 - Зовнішній вигляд імітаційної моделі вертикального оброблювального центра VA 500.

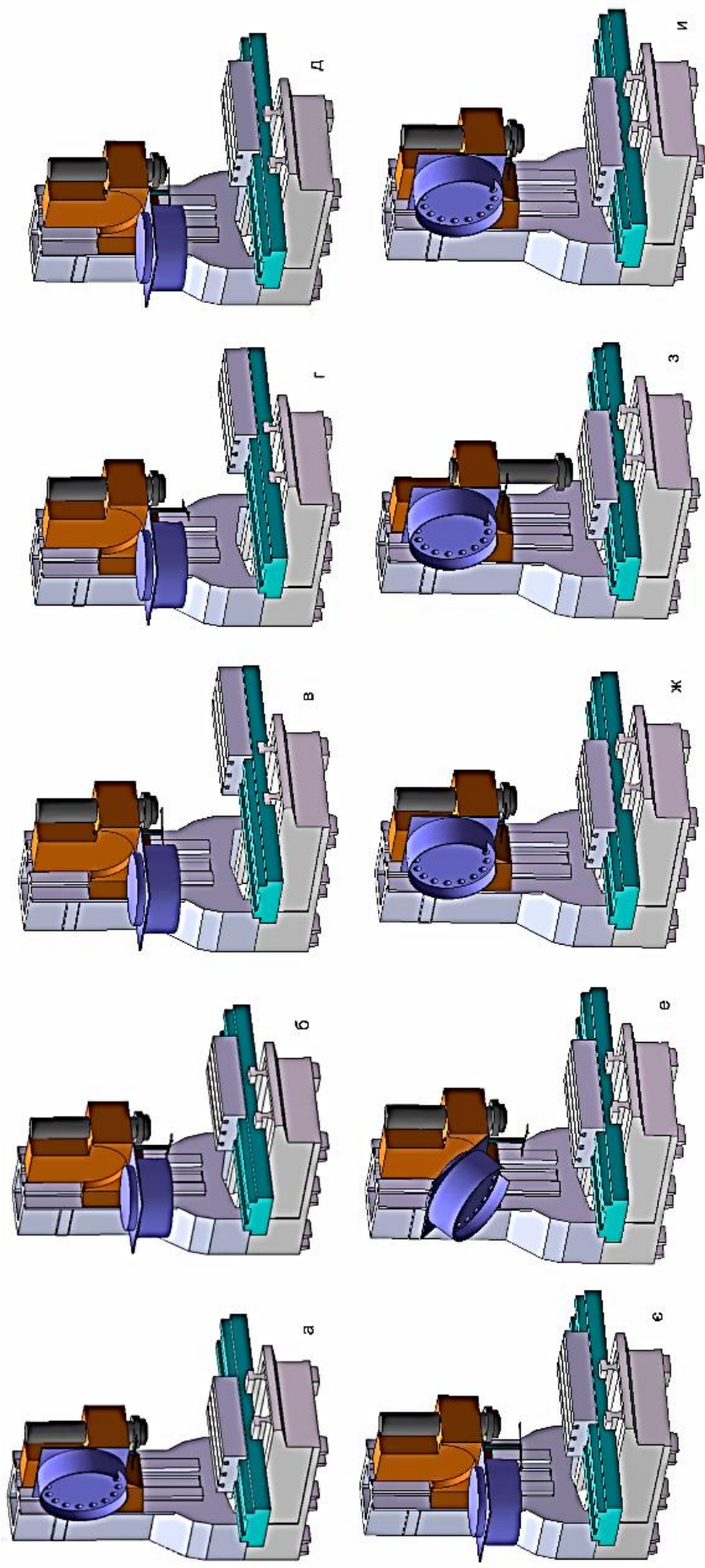


Рисунок 6.14 – Крайні положення вузлів в імітаційній моделі оброблювального центра VA 500.

6.3 Розробка імітаційної моделі накопичувача деталей типу «Кронштейн»

У дрібносерійному виробництві накопичувачами часто є металеві столи. І в цьому випадку саме стіл виступає в ролі накопичувача (рис. 6.15), що був змодельований за допомогою програми SolidWorks.

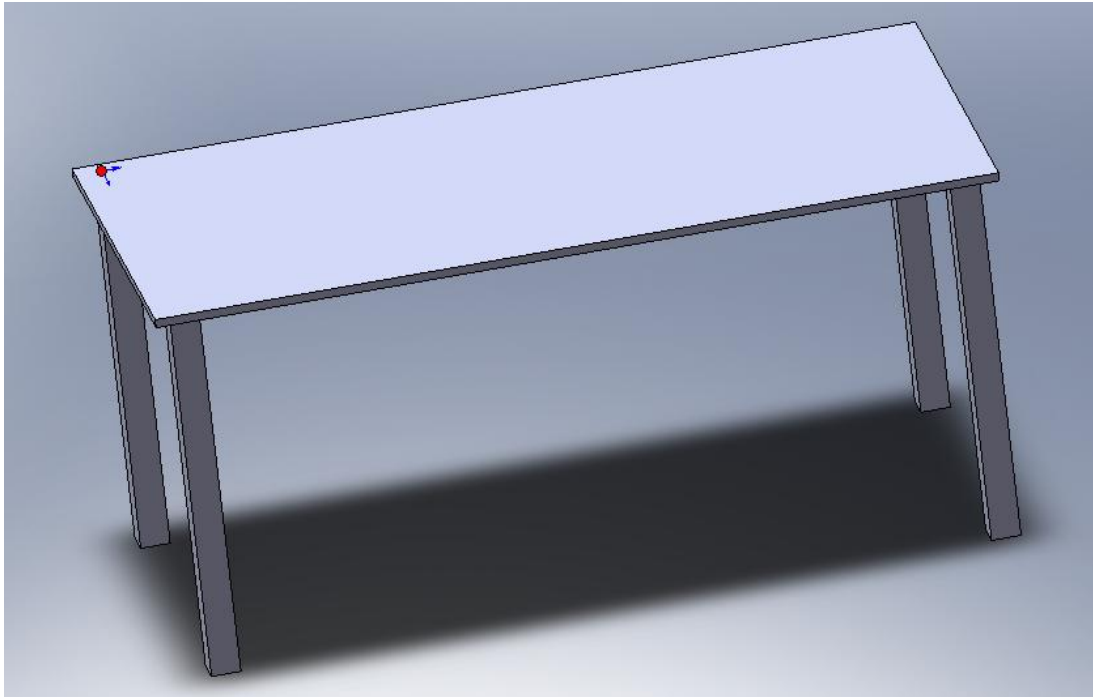


Рисунок 6.15 – Стіл-накопичувач.

Оскільки при обробці деталі типу «Кронштейн» застосовується сучасний оброблювальний центр, відповідно, технологічний процес повинен бути чітко складений, а всі дії, пов'язані з ним, повинні бути чітко налагоджені. Це в першу чергу стосується завантаження-вивантаження деталі в робочу зону.

Для швидкого переміщення, а також точного позиціювання на столі верстата деталі із пристосуванням застосовується робот. Для чіткої ж роботи робота необхідно, щоб пристосування з деталями постійно перебували в одному положенні в накопичувачі. Базування в межах накопичувача забезпечує точну орієнтацію деталі із пристосуванням.

Оскільки пристосування для обробки деталі типу «Кронштейн» було зібрано з елементів УЗП-12, відповідно базовий елемент (плита) має стандартні отвори, а також нижню гладку поверхню (з малою шорсткістю). Ці

отвори й площину можна застосувати як базуючі поверхні пристосування в накопичувачі. У ролі базуючих елементів в накопичувачі виступають площина й два пальці (рис. 6.16). Такий спосіб базування забезпечить легкий доступ маніпулятора до пристосування із заготівлею (рис. 6.17).

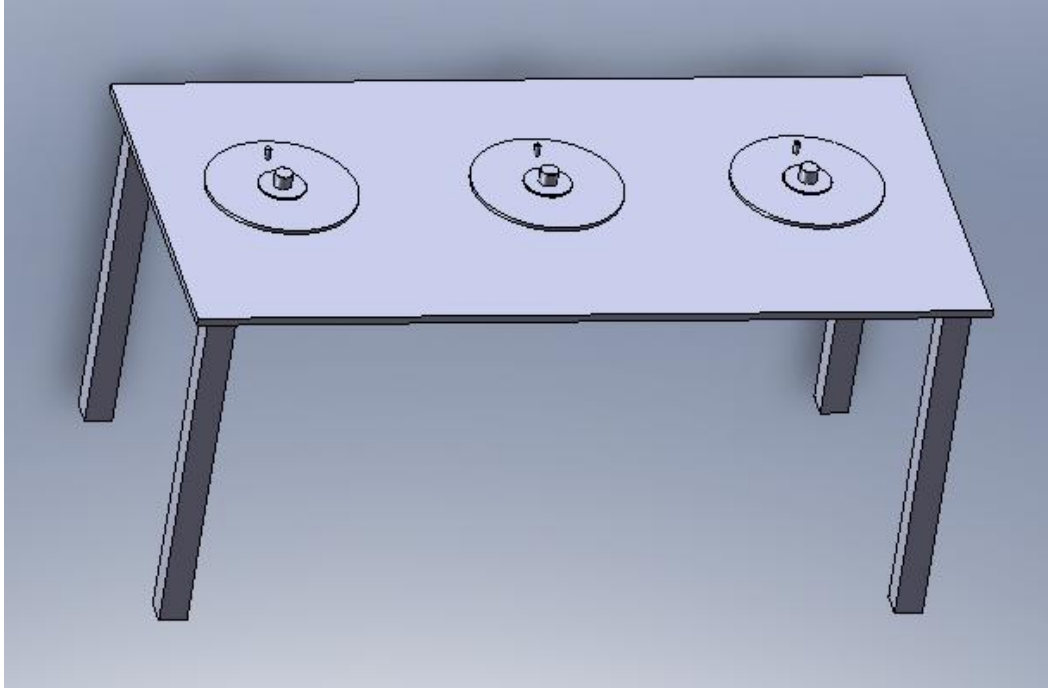


Рисунок 6.16 – Стіл-накопичувач із елементами базування.

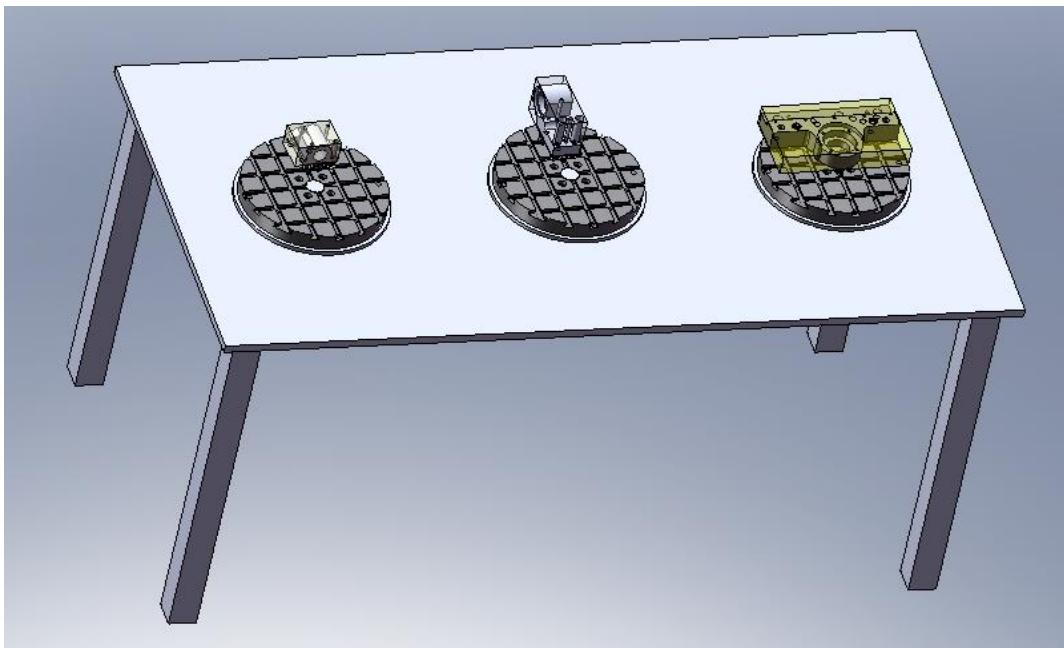


Рисунок 6.17 – Накопичувач, на якому встановлене пристосування з деталями.

6.4 Розробка імітаційної моделі маніпулятора для транспортування виробу «Кронштейн» у зоні обробки й складування вертикального оброблювального центра VA 500

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 (ПР) 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 та інші - призначені для проміжного накопичення і 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).

Промислові роботи типу МА160П агрегатної конструкції призначені для обслуговування металорізальних верстатів і гнучких автоматичних комплексів, що складаються із групи (до чотирьох одиниць) верстатів. ПР типу МА160П дозволяють виконувати всі необхідні для обслуговування верстатів операції: узяття заготівлі з накопичувача й зняття обробленої на верстаті деталі, транспортування заготівлі й деталі до верстатів або накопичувачів, установку заготівлі на верстаті й деталі у вільному осередку прийомної тари накопичувача.

При цьому заготівлі й деталі повинні розташовуватися в накопичувачах в орієнтованому виді.

ПР типу МА160П - робот порталного типу, що характеризується структурною формулою ПМ-ТМ-РВ-КП1-ЗП1-(СТ)-ГПР-УЦМ, у якій:

- ПМ - портал з монорейкою;
- ТМ - візок (каретка) на монорейці;

- РВ - рука висувна;
- КП1 - кисть поворотна з одним ступенем рухливості;
- ЗП1 - загарбний пристрій (схват) одинарний;
- СТ - стіл тактовий (додатковий модуль);
- ГПР - гідравлічний привід регульований;
- УЦМ – Уніфіковане циклове програмне керування (модульне).

На підставі необхідних функцій обране компонування маніпулятора для ПР портального типу (рис. 6.18).

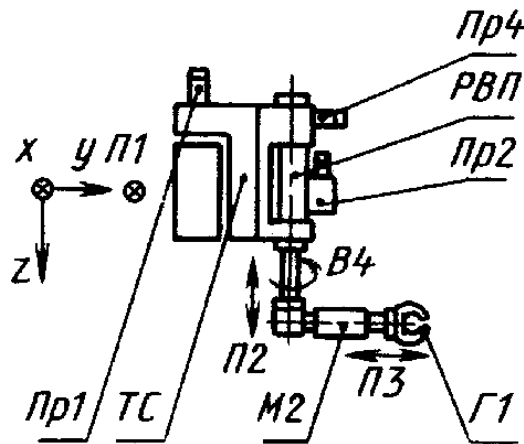


Рисунок 6.18 – Варіант компонування маніпулятора.

Зовнішній вигляд ПР МА160П представлений на рисунку 6.19.

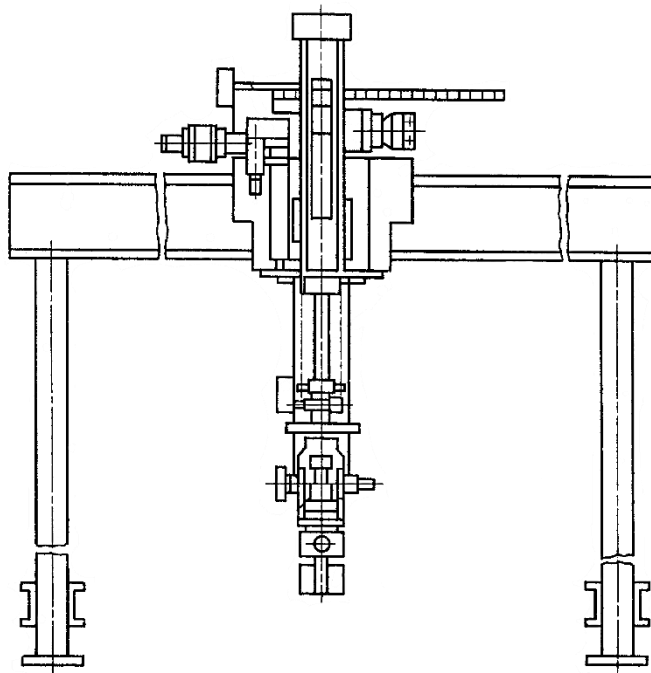


Рисунок. 6.19 – Зовнішній вигляд промислового робота МА160П.

Технічна характеристика промислового робота МА160П:

1. Вантажопідйомність, кг.....60
2. Число ступенів рухливості.....4
3. Найбільші переміщення:
 - каретки по горизонтальній осі, мм.....15850
 - повзуна по вертикальній осі, мм.....590
 - хитання кисті (головки) щодо горизонтальної осі, град.....90
 - повороту головки зі схватом щодо поздовжньої осі, град.....90; 180
4. Найбільші швидкості переміщення, м/с:
 - каретки.....1,2
 - повзуна.....0,6
 - хитання кисті (головки).....0,8
 - повороту головки зі схватом.....0,6
5. Точність позиціонування, мм..... $\pm 1,5$
6. Число схватів.....1;2
7. Час зміни схватів, с.....60
8. Маса (без пристрою керування), кг.....8790

Далі на підставі перерахованого вище й кінематичної схеми (рис. 6.20) будується імітаційна модель промислового робота (рис. 6.21).

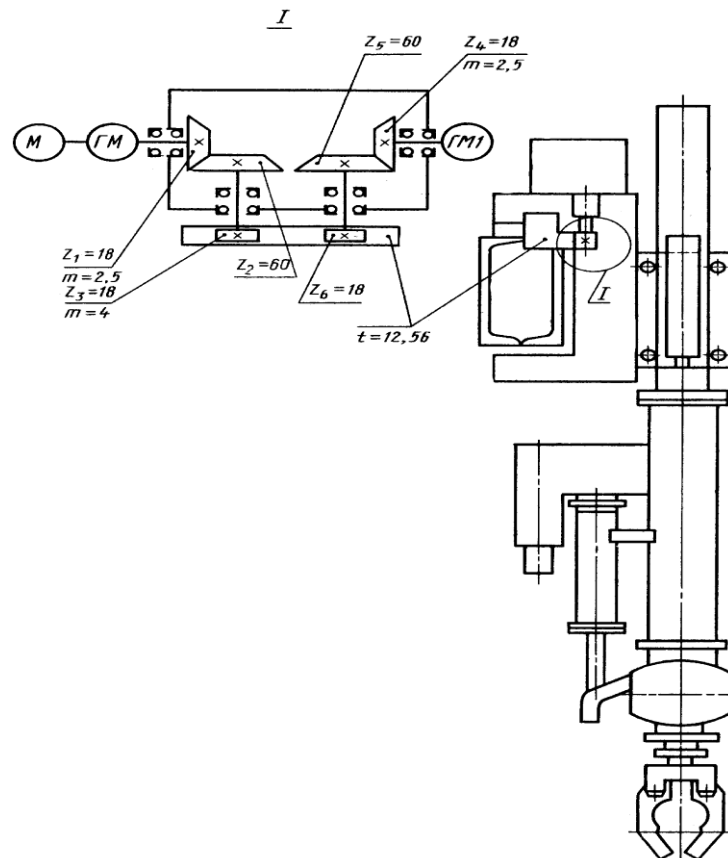


Рисунок 6.20 - Кінематична схема маніпулятора ПР МА160П.

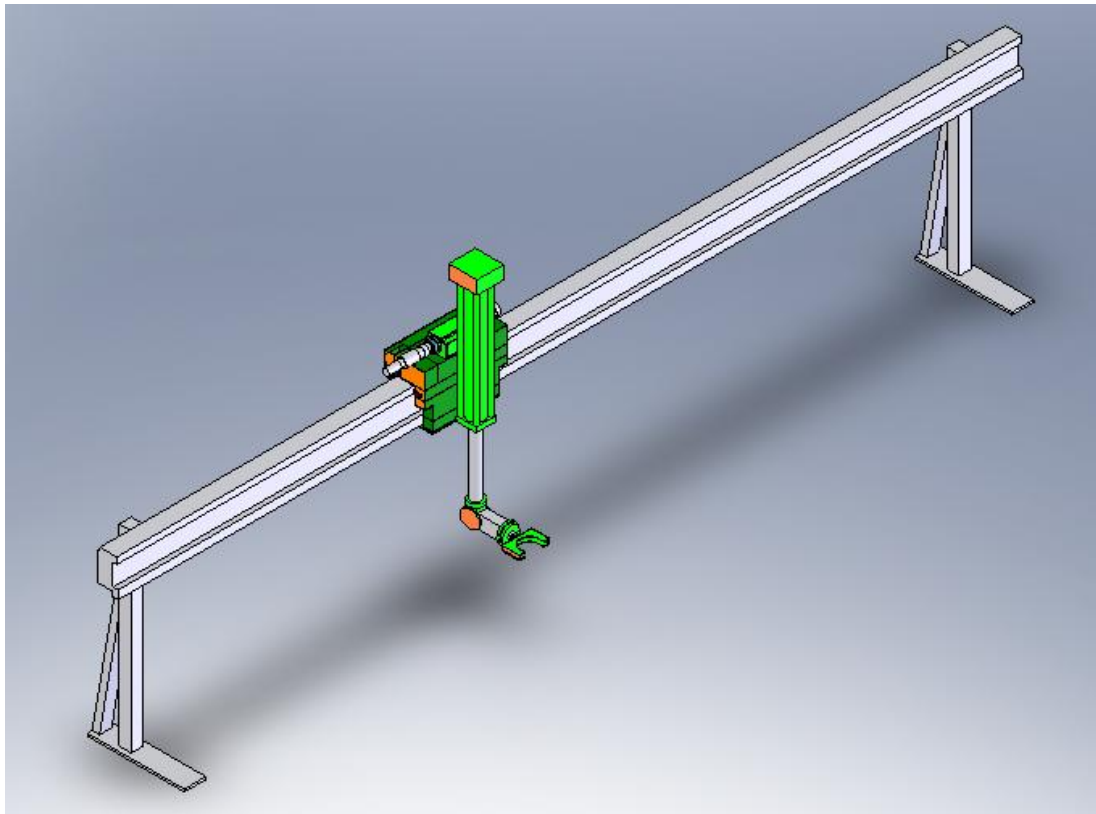


Рисунок 6.21 – Загальний вид імітаційної моделі транспортного робота.

Основні вузли імітаційної моделі промислового робота представлені на рисунку 6.22: 1-портал з колонами; 2-каретка; 3-рука; 4-кисть; 5-тримач; 6-схват.

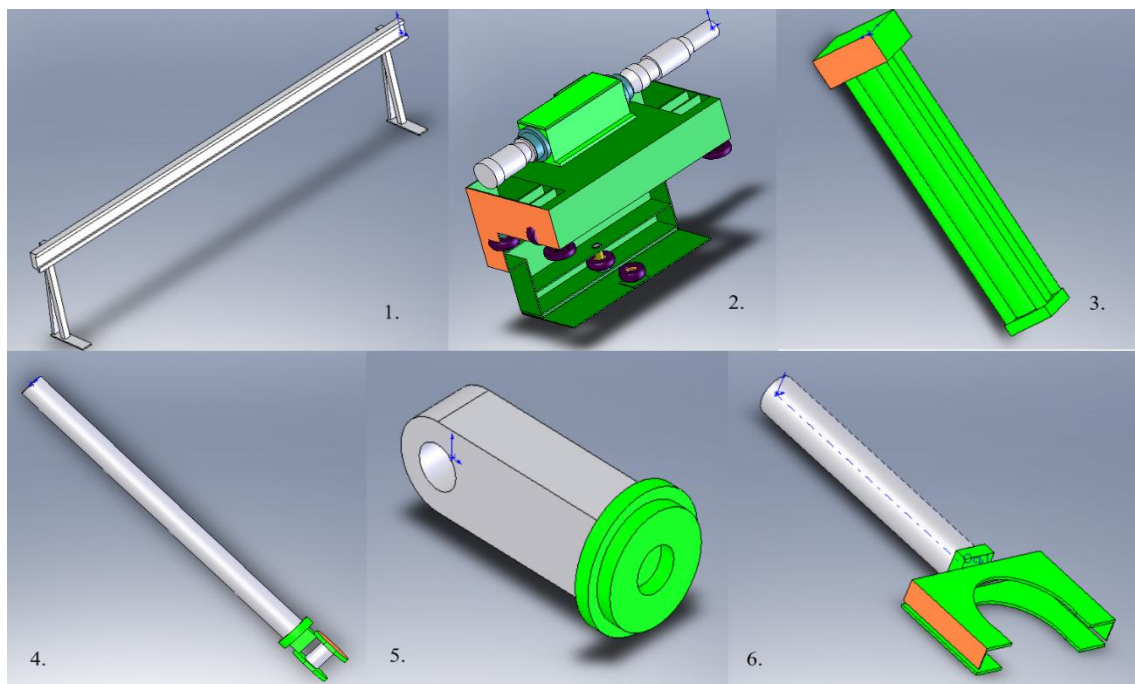


Рисунок 6.22 – Основні вузли імітаційної моделі ПР.

6.5 Розробка імітаційної моделі обробки виробу «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA 500

В імітаційному моделюванні на підставі тривимірних моделей задається послідовність обробки деталі. За допомогою програми «ГПМ 3D редактор», був змодельований алгоритм обробки деталі типу «Кронштейн» на оброблювальному центрі [6].

У першу чергу, заготівлі, які закріплені в пристосуваннях, установлюють у накопичувачі. Далі автоматично виконуються такі дії (рис. 6.23):

- захват маніпулятором заготівлі із пристосуванням;
- підйом заготівлі над столом;
- висування заготівлі за габарити стола;
- переміщення заготівлі до оброблювального центра VA 500;
- переміщення заготівлі в зону обробки;
- базування заготівлі на поворотному столі;
- відвід руки маніпулятора від робочої зони верстата;
- переміщення інструмента в позицію транспортування в магазині;
- поворот корпусу магазину в позицію транспортування;
- вертикальне висування загарбного пристрою інструментів на верстаті;
- захват різального інструменту;
- переміщення інструмента в шпindelь верстата;
- переміщення загарбного пристрою у вихідне положення;
- висування шпинделя в нульову точку;
- повна обробка деталі.

Після обробки виконуються дії у зворотному порядку.

6.6 Нормування процесу обробки виробу «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA 500

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.

У системі «ГПМ 3D редактор» [6] була розроблена імітаційна модель обробки виробу «Кронштейн» на оброблювальному центрі VA 500, 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. 6.24), що буде витратитися на зняття заготівлі з накопичувача, переміщення заготівлі за допомогою маніпулятора, базування пристосування із заготівлею в робочій зоні верстата і т.д.

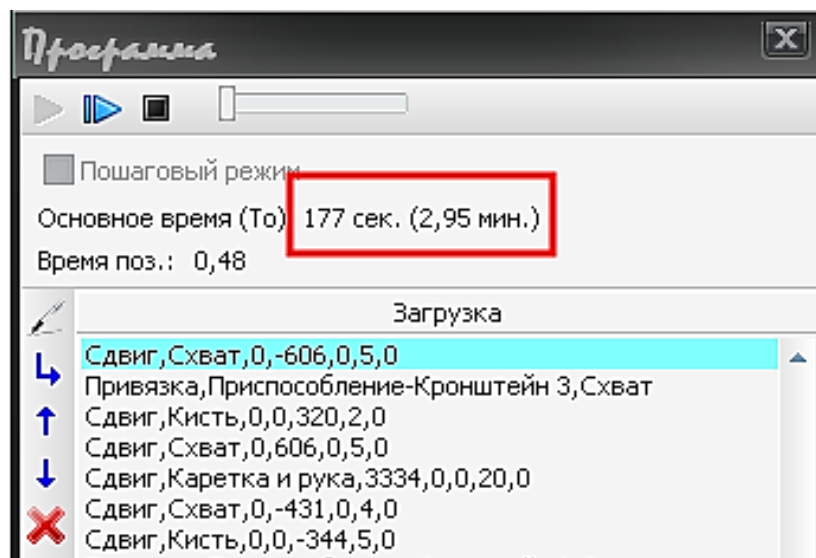


Рисунок 6.24 - Загальний допоміжний час для обробки деталі «Кронштейн» на оброблювальному центрі VA 500.

Основний час визначається за допомогою системи SolidCAM, у якій розроблялася програма керування оброблювальним центром VA 500 (рис. 6.25).

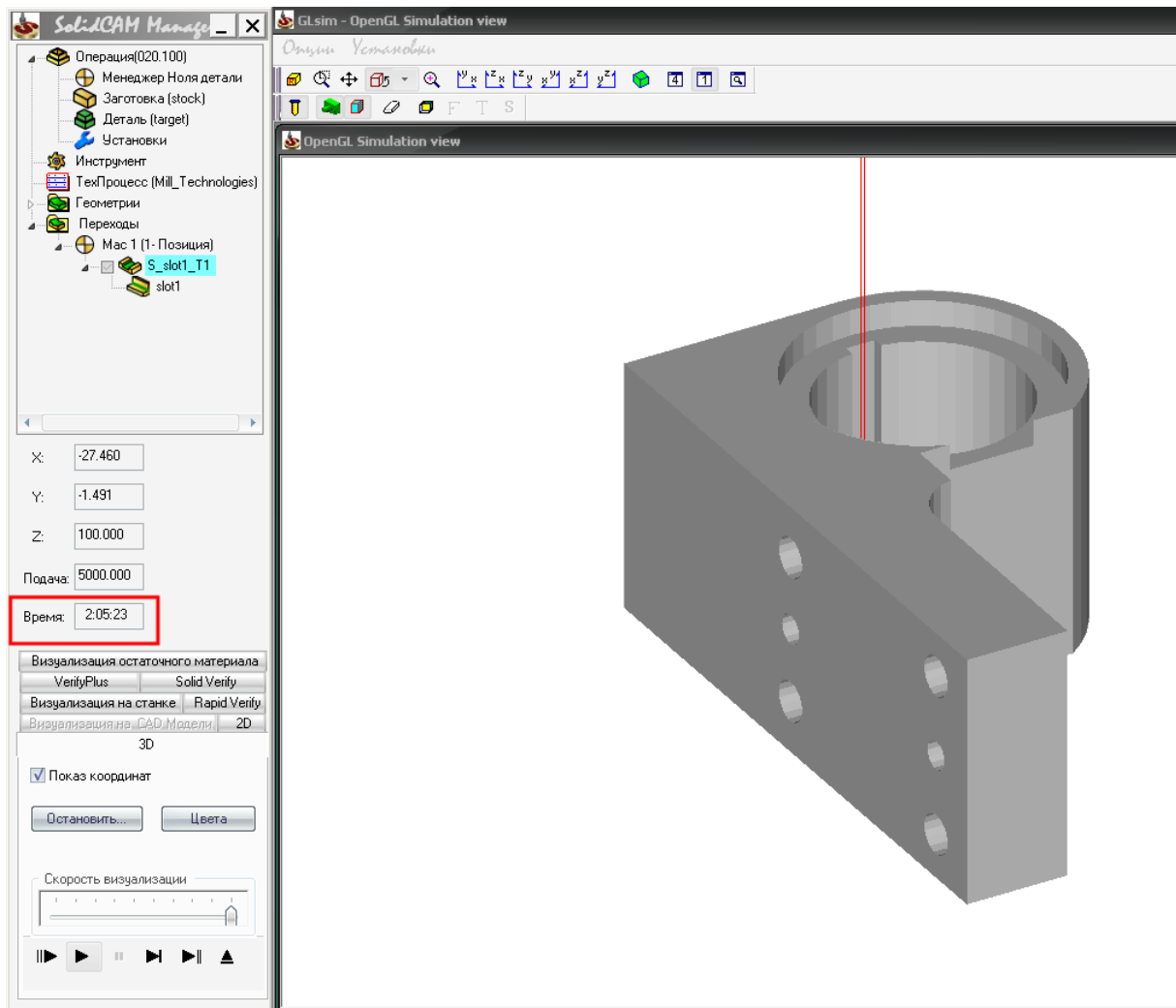


Рисунок 6.25 – Розробка керуючої програми верстатом VA 500 у системі SolidCAM.

Так, загальний нормативний час для обробки деталі «Кронштейн 2», буде розраховуватися по формулі:

$$N_{\text{час.заг.}} = \Sigma T_{\text{шт}} = \Sigma T_o + \Sigma T_{\text{доп}}, \quad (6.1)$$

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.

$$N_{\text{час.заг.}} = 5,757 + 2,95 = 8,707 \text{ (хв).}$$

6.7 Висновки

У даному розділі було виконано імітаційне моделювання системи виготовлення деталі «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA 500. Елементами системи є устаткування, оснащення, які беруть участь у процесі обробки деталі: безпосередньо верстат VA 500, промисловий робот порталного типу MA160П, а також стіл-накопичувач. Кожний з компонентів системи був окремо змодельований у програмі SolidWork_SolidCAM 2017, а далі вони були об'єднані в систему.

Далі, за допомогою програми «ГВМ SolidCAM 3D редактор», була розроблена імітаційна модель обробки деталі «Кронштейн». На підставі розробленого циклу програми було проведене нормування обробки однієї з деталей.

7. РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ «ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ І НАДІЙНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ «КРОНШТЕЙН» НА ВЕРСТАТІ VA 500 ЗА РАХУНОК ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ»

7.1 Постановка цілей факультативного заняття з теми «Дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання»

В таблиці 7.1 наведено оперативні цілі з теми.

Таблиця 7.1 - Постановка цілей факультативного заняття

№	Цілі факультативного заняття	Цілі формування різних рівнів засвоєння навчального матеріалу	Умови досягнення цілей	Результат у вигляді дій здобувачів освіти
1	2	3	4	5
1	Ознайомлення студентів з особливостями продуктивності та надійності обробки деталей «кронштейн» на верстаті VA 500	Засвоєння базових понять про режими різання, параметри обробки та фактори, що впливають на надійність	Використання лекцій, схем, відеоматеріалів та прикладів реальних виробничих процесів	Студенти пояснюють основні фактори, що впливають на продуктивність і надійність обробки, та ідентифікують ключові параметри процесу
2	Розвиток навичок імітаційного моделювання технологічних процесів	Формування аналітичних та практичних умінь моделювати обробку деталей, прогнозувати результат та оптимізувати параметри	Використання CAD/CAM/CAE-систем та програм імітаційного моделювання у лабораторних умовах	Студенти самостійно моделюють процес обробки деталі «кронштейн», визначають критичні зони та оцінюють ефективність режимів
3	Оптимізація технологічних режимів для підвищення продуктивності та надійності	Розвиток умінь застосовувати знання для вирішення практичних завдань оптимізації	Практичні завдання з варіацією параметрів обробки та аналізу результатів моделювання	Студенти пропонують оптимальні режими обробки, обґрунтовують їх вибір і прогнозують вплив на продуктивність та надійність
4	Формування компетентності у прийнятті	Розвиток здатності самостійно оцінювати	Інтерактивні вправи, дискусії, аналіз реальних	Студенти здійснюють обґрунтований вибір параметрів обробки,

№	Цілі факультативного заняття	Цілі формування різних рівнів засвоєння навчального матеріалу	Умови досягнення цілей	Результат у вигляді дій здобувачів освіти
1	2	3	4	5
	виробничих рішень	технологічні процеси та приймати обгрунтовані рішення	прикладів виробничих ситуацій	аналізують ризики та пропонують шляхи підвищення ефективності технологічного процесу
5	Підвищення практичної готовності до роботи на сучасних верстатах	Інтеграція теоретичних знань та практичних навичок для роботи в цифровому виробничому середовищі	Виконання комплексних лабораторних робіт з моделювання, аналізу та оптимізації процесів	Студенти демонструють здатність виконувати повний цикл обробки деталі «кронштейн» на основі моделювання та прогнозування результатів

7.2. Перелік літературних джерел з теми

- 1.Бондаренко, О. М. Цифрові технології у підготовці фахівців машинобудівної галузі. – Київ: Видавничий дім «Наука і освіта», 2021. – 248 с.
- 2.Ковальчук, І. П. Імітаційне моделювання технологічних процесів обробки деталей. – Харків: Машинобудування, 2020. – 192 с.
- 3.Левченко, В. С. Оптимізація режимів різання та підвищення продуктивності верстатів. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2019. – 210 с.
- 4.Петренко, М. Г. Сучасні CAD/CAM/CAE-системи у машинобудуванні: теорія та практика. – Дніпро: Наукова думка, 2022. – 276 с.

7.3. Конструювання дидактичних матеріалів з теми «Дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання»

Конструювання дидактичних матеріалів для підготовки фахівців машинобудівних підприємств з дослідження продуктивності та надійності обробки деталей «кронштейн» на верстаті VA 500 передбачає створення

системи навчальних ресурсів, яка інтегрує теоретичні знання, цифрові інструменти моделювання та практичні завдання. Основною метою конструювання є забезпечення високої ефективності навчального процесу через поєднання аналітичного мислення, практичних навичок та компетентностей у роботі з цифровими виробничими системами.

При розробці дидактичних матеріалів доцільно виділити кілька ключових блоків. Перший блок включає теоретичні матеріали, що охоплюють властивості матеріалів, геометричні особливості деталей «кронштейн», принципи роботи п'ятиосьового верстата VA 500, режими різання та фактори, які впливають на продуктивність і надійність обробки. Ці матеріали формують базу знань, необхідну для подальшого моделювання та практичної роботи.

Другий блок складається з інтерактивних цифрових ресурсів, включаючи CAD/CAM/CAE-моделі деталей, симуляції процесів обробки та віртуальні лабораторні роботи. За допомогою таких ресурсів студенти можуть експериментувати з параметрами обробки, прогнозувати вплив змін режимів різання на точність і міцність деталі, а також вивчати критичні зони для контролю якості. Імітаційне моделювання дозволяє відпрацьовувати алгоритми прийняття рішень у цифровому середовищі без ризику пошкодження реального обладнання.

Третій блок включає практичні завдання та вправи, спрямовані на розвиток професійних умінь і навичок. До них належать: аналіз креслень і визначення технологічних критичних зон, розробка послідовності обробки на верстаті, моделювання та оптимізація технологічних режимів, підготовка рекомендацій для підвищення продуктивності та надійності. Практичні завдання забезпечують формування компетентностей, що безпосередньо застосовуються у виробничому процесі.

Для ефективного конструювання дидактичних матеріалів важливо передбачити контрольні та оцінювальні засоби, що дозволяють перевіряти рівень засвоєння знань, умінь і навичок студентів. До таких засобів належать тестові завдання, контрольні питання, кейс-стаді, а також оцінка результатів імітаційного моделювання.

Особлива увага приділяється інтеграції навчальних ресурсів у єдину систему, яка забезпечує логічну послідовність від засвоєння теоретичних знань до формування практичних навичок. Це включає використання електронних навчальних платформ, інтерактивних тренажерів, мультимедійних матеріалів та лабораторних стендів, що дозволяє підвищити мотивацію студентів та ефективність навчального процесу.

Таким чином, конструювання дидактичних матеріалів для дослідження продуктивності і надійності обробки деталей «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання забезпечує комплексний підхід до підготовки фахівців, який поєднує теоретичні знання, цифрове моделювання та практичні навички, формує професійні компетентності та готує студентів до ефективної роботи на сучасних високотехнологічних виробничих комплексах.

7.4 Аналіз базових умов навчання з теми «Дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання»

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

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

Перелік базових понять, законів, способів дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3
Технологічні дисципліни	<p>Метод – усне опитування. Форма – фронтальна. Засіб – контрольні питання.</p> <p>1. Які основні фактори впливають на продуктивність механічної обробки деталей «кронштейн»? 2. Назвіть види обробки, що застосовуються для деталей складної конфігурації. 3. Як режими різання впливають на надійність та точність обробки? 7. В чому полягає специфіка обробки деталей з кронштейновими виступами та отворами?</p>	<p>Використання навчальних кейсів і проблемних ситуацій, які демонструють практичні аспекти застосування п'ятиосьового друку у реальному виробництві Студенти аналізують конкретні приклади виробів, визначають критичні зони, оцінюють вплив параметрів друку</p>

Перелік базових понять, законів, способів дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3
	5. Які методи підвищення продуктивності обробки використовуються на сучасних верстатах?	та пропонують шляхи оптимізації процесу. Такий підхід сприяє поєднанню теоретичних знань із практичними навичками і формує здатність приймати обґрунтовані рішення.
Дисципліни з комп'ютерного моделювання та автоматизації	<p>1. Які основні функції CAD/CAM/CAE-систем у процесі підготовки обробки деталей?</p> <p>2. Що таке імітаційне моделювання технологічного процесу і яку користь воно дає?</p> <p>3. Як цифрове моделювання допомагає прогнозувати надійність обробки?</p> <p>4. Наведіть приклади програмних інструментів для оптимізації режимів різання.</p> <p>5. Яким чином симуляція процесу обробки знижує ризик пошкодження верстата та деталі?</p>	
Дисципліни з матеріалознавства та контролю якості	<p>1. Які матеріали найчастіше використовуються для виготовлення деталей «кронштейн» і чому?</p> <p>2. Як властивості матеріалу впливають на вибір режимів обробки?</p> <p>3. Назвіть основні методи контролю геометричних параметрів оброблених деталей.</p> <p>4. Які параметри характеризують надійність обробки деталей?</p> <p>5. Як проводиться оцінка продуктивності обробки та прогнозування її результатів?</p>	
Дисципліни з організації виробництва та інженерної підготовки	<p>1. Які основні етапи підготовки виробничого процесу на верстаті VA 500?</p> <p>2. Як планування технологічних операцій впливає на продуктивність та надійність обробки?</p> <p>3. Які аспекти безпеки необхідно враховувати під час роботи на сучасних верстатах?</p> <p>4. Які вимоги до кваліфікації оператора при роботі з цифровими виробничими комплексами?</p> <p>5. Як інтеграція теоретичних знань та практичних навичок підвищує ефективність підготовки фахівців?</p>	

7.5. Проектування мотиваційних технологій навчання з теми «Дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання»

На рис. 7.3 представимо характеристику мотиваційних технологій навчання.

Таблиця 7.3 - Визначення способів реалізації мотивації

Способи реалізації мотивації	Внутрішня мотивація
1	2
Вступна мотивація	<p>Доброго дня, шановні здобувачі освіти! Сучасне машинобудування активно впроваджує цифрові та автоматизовані технології, що дозволяють підвищувати продуктивність та надійність обробки деталей. Особливу увагу приділяють деталям складної конфігурації, таким як «кронштейн», які часто використовуються в вузлах конструкцій і від правильності їх обробки залежить безпека та довговічність виробів. Традиційні методи навчання операторів і інженерів, що базуються на ручних розрахунках та спостереженні за процесом, вже не забезпечують достатнього рівня компетентності у роботі з сучасними верстатами високого класу, такими як VA 500. Імітаційне моделювання відкриває широкі можливості для набуття практичних навичок без ризику пошкодження обладнання або деталей. Використовуючи цифрові моделі та симуляції, фахівець може передбачити поведінку матеріалу під час обробки, оцінити продуктивність процесу та визначити оптимальні режими різання. Це дозволяє значно скоротити час на виробничі експерименти, підвищити точність операцій та зменшити кількість браку. Мотивація до вивчення цієї теми полягає в тому, що опанування імітаційного моделювання та цифрових технологій обробки на верстаті VA 500 формує у студентів критичне мислення, здатність до самостійного аналізу технологічних процесів і прийняття обґрунтованих виробничих рішень. Здобуті знання та навички безпосередньо застосовуються у виробничих умовах і підвищують конкурентоспроможність фахівця на сучасному ринку праці.</p> <p>Таким чином, вивчення теми «Дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання» є важливим кроком у формуванні висококваліфікованого інженера, здатного ефективно застосовувати сучасні цифрові технології для оптимізації виробничих процесів, підвищення якості продукції та надійності деталей.</p>

7.6. Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті з теми «Дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання»

Вибір методів, форм та засобів формування ООД наведено в таблиці 7.4

Таблиця 7.4 - Способи формування ООД на факультативному занятті

Рівень засвоєння (Блум)	Форми організації навчання	Методи навчання	Засоби навчання
1	2	3	4
Запам'ятовування	Фронтальні заняття, лекційні блоки	Усне опитування, пояснення, демонстрація прикладів	Презентації, схеми верстата VA 500, креслення деталей «кронштейн»
Розуміння	Групові та індивідуальні дискусії	Пояснення, аналіз технологічних процесів, обговорення прикладів	Креслення, відеоматеріали, технічна документація верстата
Застосування	Практичні заняття у комп'ютерному класі та на тренажері	Імітаційне моделювання, виконання лабораторних завдань, розрахунок режимів обробки	CAD/CAM/CAE-системи, цифрові симулятори процесу обробки, стенди для практичних вправ
Аналіз	Робота в малих групах, кейс-стаді	Аналіз результатів моделювання, порівняння різних технологічних рішень, оцінка продуктивності і надійності	Комп'ютерні моделі деталей, результати симуляцій, таблиці порівняння параметрів
Синтез	Проектні роботи, індивідуальні завдання	Розробка оптимальної технологічної послідовності, створення рекомендацій для підвищення продуктивності	CAD/CAM-системи, програмне забезпечення для імітаційного моделювання, робочі креслення
Оцінювання	Захист результатів проектів, презентації	Самооцінка, взаємооцінка, обговорення результатів експериментів і моделювання	Звіти про моделювання, контрольні таблиці, графіки продуктивності та надійності обробки

7.7 Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті з теми «Дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання»

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

Таблиця 7.5 -Способи формування виконавчих дій з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу	Форми, методи, засоби
1	2
I, II, III, IV	<p>Практична вправа 1. Аналіз креслення деталі «кронштейн» Мета: Визначення критичних зон обробки та можливих складнощів у технологічному процесі. Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ознайомитися з технічним кресленням деталі. 2. Визначити геометрично складні ділянки та місця концентрації напружень. 3. Оцінити вплив цих зон на продуктивність та надійність обробки. <p>Очікуваний результат: Студент окреслює критичні ділянки деталі, що потребують особливої уваги під час обробки, та формує план їх аналізу у моделюванні.</p>
	<p>Практична вправа 2. Розробка технологічної послідовності обробки Мета: Формування навичок планування процесу обробки на верстаті VA 500. Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Скласти послідовність операцій для обробки деталі «кронштейн». 2. Визначити оптимальні режими різання для кожної операції. 3. Визначити точки контролю продуктивності та надійності. <p>Очікуваний результат: Студент створює логічно обґрунтований технологічний процес обробки деталі з урахуванням параметрів верстата.</p>
	<p>Практична вправа 3. Імітаційне моделювання обробки деталі Мета: Набуття навичок використання цифрових симуляторів для прогнозування процесу обробки. Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Створити цифрову модель деталі у CAD-системі. 2. Виконати імітаційне моделювання обробки на VA 500. 3. Визначити можливі дефекти та зони підвищеного зносу інструменту. <p>Очікуваний результат: Студент отримує візуалізацію процесу обробки, визначає проблемні зони та формує пропозиції щодо оптимізації.</p>

Продовження табл. 7.5

1	2
	<p>Практична вправа 7. Оптимізація режимів різання та оцінка продуктивності</p> <p>Мета: Навчитися підбирати оптимальні параметри для підвищення продуктивності та надійності обробки.</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Визначити вплив зміни швидкості подачі, глибини різання та частоти обертання інструменту на продуктивність. 2. Виконати розрахунки та порівняти результати. 3. Вибрати оптимальні режими для максимальної надійності та якості обробки. <p>Очікуваний результат: Студент пропонує оптимальні параметри обробки та обґрунтовує їх вибір.</p>
	<p>Практична вправа 5. Підготовка рекомендацій щодо підвищення надійності та якості обробки</p> <p>Мета: Формування здатності до самостійного аналізу та прийняття рішень.</p> <p>Завдання:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. На основі моделювання та розрахунків скласти звіт про результати обробки деталі «кронштейн». 2. Визначити основні фактори, що впливають на надійність виробу. 3. Розробити рекомендації щодо оптимізації технологічного процесу та підвищення продуктивності. <p>Очікуваний результат: Студент створює практичний звіт з рекомендаціями, які можуть бути застосовані у виробничих умовах.</p>

7.8 Проектування контрольних дій з теми «Дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання»

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

Таблиця 7.6 - Засоби контролю з теми факультативного заняття

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми, методи, засоби
1	2
III рівень	<p>Контрольні питання.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Які основні параметри впливають на продуктивність обробки деталей «кронштейн» на верстаті VA 500? 2. В чому полягає специфіка обробки деталей складної форми, таких як «кронштейн»? 3. Як режими різання впливають на точність і надійність обробки?

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми, методи, засоби
1	2
	<p>4.Які методи підвищення продуктивності та зниження браку використовуються при механічній обробці?</p> <p>5.Які особливості контролю якості обробки деталей із виступами та отворами?</p> <p>6.Що таке імітаційне моделювання технологічного процесу та які його основні цілі?</p> <p>7.Як CAD/CAM/CAE-системи допомагають прогнозувати продуктивність і надійність обробки?</p> <p>8.Назвіть основні етапи створення цифрової моделі деталі для симуляції обробки.</p> <p>9.Яким чином імітаційне моделювання дозволяє оптимізувати режими різання?</p> <p>10.Як використання симуляцій знижує ризик пошкодження верстата та браку деталей?</p> <p>11.Які фактори слід враховувати при оцінці надійності обробки деталі «кронштейн»?</p> <p>12.Як визначити критичні зони деталі для контролю процесу обробки?</p> <p>13.Яким чином результати моделювання можуть бути використані для підвищення продуктивності?</p> <p>14.Як проводиться порівняльний аналіз різних технологічних рішень?</p> <p>15.Які методи оптимізації технологічного процесу обробки є найбільш ефективними для деталей складної геометрії?</p> <p>16.Які компетентності формуються у фахівців під час роботи з імітаційним моделюванням?</p> <p>17.Як набуті навички застосовуються для прийняття рішень у виробничих умовах?</p> <p>18.Яким чином цифрові технології допомагають підвищити безпеку та ефективність роботи на VA 500?</p> <p>19.Як інтеграція теоретичних знань і практичних навичок впливає на якість підготовки фахівця?</p> <p>20.Які переваги для виробництва дає використання моделювання перед фактичними експериментами на верстаті?</p>

7.9 Розробка сценарію факультативного заняття з теми «Дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання»

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

Таблиця 7.7- 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 при роботі на верстаті VA 500.
2	Повідомлення теми і мети заняття	Тема: «Дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання». Мета: сформувані у студентів теоретичні знання та практичні навички оцінки продуктивності і надійності обробки, використання цифрового моделювання для оптимізації технологічного процесу.
3	Мотивація навчальної діяльності	Обговорення актуальності теми: підвищення ефективності виробництва, зменшення відходів, оптимізація часу обробки та підвищення якості деталей. Демонстрація прикладів застосування імітаційного моделювання для прогнозування результатів обробки деталей складної форми.
4	Актуалізація базових знань	Усне опитування студентів щодо: • Основних властивостей матеріалів для обробки кронштейнів; • Принципів роботи верстата VA 500; • Впливу режимів різання на продуктивність та надійність; • Основ імітаційного моделювання та цифрового прогнозування. Методи: дискусія, усне опитування. Форма: фронтальна. Засоби: креслення, схеми, контрольні питання.
5	Формування нового навчального досвіду (ООД)	Демонстрація процесу імітаційного моделювання обробки кронштейна на VA 500. Студенти аналізують симуляцію, виявляють критичні зони обробки та 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 деталі та визначення критичних зон навантаження; 2. Розробка послідовності обробки та режимів різання; 3. Імітаційне моделювання обробки у CAD/CAM-системі; 7. Оптимізація параметрів обробки для підвищення надійності; 5. Підготовка рекомендацій щодо підвищення продуктивн
7	Формування компетентності (КД)	Обговорення результатів практичних робіт та контрольні питання: • Вплив режимів різання на продуктивність і точність; • Методи підвищення надійності обробки кронштейнів; • Використання цифрового моделювання для оптимізації процесів; • Оцінка результатів симуляцій і практичних розрахунків.
8	Підбиття підсумків, видача домашнього завдання	Підсумок заняття: важливість імітаційного моделювання для підвищення продуктивності та надійності обробки кронштейнів, оптимізація режимів різання та використання цифрових технологій. Домашнє завдання: підготувати звіт із цифрового моделювання обробки деталі, аналізом критичних зон та рекомендаціями щодо оптимізації процесу.

7.10 Висновки

Розроблений дидактичний проєкт факультативного заняття забезпечує комплексний підхід до підготовки фахівців машинобудівних підприємств, поєднуючи теоретичні знання про продуктивність і надійність обробки деталей з практичним освоєнням методів імітаційного моделювання. Використання цифрових технологій у навчальному процесі дозволяє студентам аналізувати критичні зони деталей, прогнозувати результати обробки та оптимізувати режими різання, що сприяє підвищенню точності та надійності виробів.

Факультативне заняття спрямоване на формування у студентів ключових професійних компетентностей: здатності оцінювати продуктивність та надійність технологічних процесів, самостійно моделювати обробку деталей у CAD/CAM/CAE-середовищах, а також розробляти рекомендації щодо підвищення ефективності виробництва. Практичні справи та моделювання дозволяють закріпити теоретичні знання та сформувати вміння приймати обґрунтовані технологічні рішення.

Впровадження запропонованого дидактичного проєкту у навчальний процес сприяє підвищенню якості професійної підготовки фахівців, здатних ефективно працювати на сучасних верстатах із числовим програмним керуванням, використовувати цифрові моделі для прогнозування параметрів обробки та приймати оптимальні технологічні рішення. Це забезпечує не лише зростання продуктивності та надійності обробки деталей, а й підвищення конкурентоспроможності машинобудівних підприємств за рахунок підготовки кваліфікованих та компетентних кадрів.

Таким чином, реалізація дидактичного проєкту демонструє ефективність інтеграції теоретичного навчання та практико-орієнтованого моделювання, що дозволяє досягти високих результатів у формуванні професійних знань, умінь та компетентностей у сфері обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання випускної кваліфікаційної роботи на тему «Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання» було досягнуто мети дослідження — підвищення продуктивності ділянки механічної обробки шляхом застосування групових методів, оптимізації технологічного маршруту та використання засобів імітаційного моделювання.

У ході роботи було отримано такі основні результати:

1. Проведено аналіз конструктивних і технологічних особливостей деталей типу «Кронштейн», визначено їх типові ознаки, що дозволило обґрунтувати можливість застосування групових технологічних процесів у дрібносерійному виробництві.

2. Розроблено груповий технологічний процес механічної обробки деталей типу «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA-500. Запропонований маршрут уніфікує базування, скорочує кількість переналагоджень та допоміжний час, що забезпечує зростання ефективності виробництва.

3. Створено методіку формування групових технологічних операцій, яка враховує геометричну та технологічну подібність деталей, що дозволяє об'єднувати їх у типові групи для спільної обробки.

4. Розроблено керуючу програму для обробки деталі типу «Кронштейн» на обробному центрі VA-500, що забезпечує автоматизацію процесу і стабільну якість виготовлення.

5. Виконано імітаційне моделювання виробничої системи, яке дало змогу визначити вузькі місця технологічного процесу, оцінити вплив параметрів партійності, часу підготовки та черговості операцій на продуктивність.

6. Обґрунтовано вибір технологічного оснащення і засобів автоматизованого транспортування (робота-маніпулятора), що забезпечують

раціональну організацію виробництва в умовах гнучкої автоматизованої ділянки.

7.Проведено технологічну оцінку, за результатами якої підтверджено доцільність упровадження розробленого групового процесу. Отримано скорочення тривалості обробки, зниження собівартості та підвищення коефіцієнта використання обладнання. 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.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження розробленого групового технологічного процесу на ділянках механічної обробки дрібносерійного виробництва для деталей типу «Кронштейн». Це сприятиме підвищенню гнучкості виробництва, зменшенню часу переналагодження, економії ресурсів та зростанню конкурентоспроможності підприємства.

8.Розроблений дидактичний проєкт факультативного заняття, який забезпечує комплексний підхід до підготовки фахівців машинобудівних підприємств, поєднуючи теоретичні знання про продуктивність і надійність обробки деталей з практичним освоєнням методів імітаційного моделювання. Використання цифрових технологій у навчальному процесі дозволяє студентам аналізувати критичні зони деталей, прогнозувати результати обробки та оптимізувати режими різання, що сприяє підвищенню точності та надійності виробів.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>
2. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>
3. EROWA System Solution. General Gatalog. - Copyright © EROWA AG2022. – 420р.
4. Frezy CNC. Режими різання: теорія та параметри для ЧПУ. — Онлайн-ресурс. https://frezycnc.in.ua/tehnichni-dani/rezhymy-rizannya-2?utm_source=chatgpt.com
5. ISO 513:2012. Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges. — Geneva: ISO, 2012.
6. The official SolidCAM website — “Documentation” / “Downloads / Documentation Downloads” section — official PDF roadmaps, user guides, courses, and manuals are available here. [Електронний ресурс]. — https://solidcam.com/subscription/documentation/?utm_source=chatgpt.com
7. CNC Machines VA Series Vertical Machining Center—catalog, technical specifications, [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.twinhorn.com/product/vertical-machining-center/va-series-vertical-machining-center?utm_source=chatgpt.com
8. SCHUNK. Toolholders. – Schunk GmbH – 2023. – 473р.
9. Автоматизовані системи проектування різальних інструментів [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування/ КПП ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л.М. Данилова. – Електронні текстові данні (1 файл: 14,254 Мбайт). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 118 с.
10. Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>
11. Гевко Б. І., Пасічник В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. — Тернопіль: ТНТУ, 2012. — 310 с.

12. 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
13. Горбатюк Є.О. Технологія машинобудування: Навчальний посібник / Є.О. Горбатюк, М.П. Мазур, А.С. Зенкін, В.Д. Каразей. – Львів: "Новий Світ-2000", 2012. – 358 с.
14. Гузій В. М. Різальний інструмент: навчальний посібник / В. М. Гузій. — Київ: Вища школа, 2010. — 280 с.
15. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
16. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги.
17. Загальний каталог інструментів Sandvik Coromant Tool Guide [Електронний ресурс] URL: <https://tddomen.com.ua/obshhij-katalog-instrumenta-sandvik-coromant/>.
18. Капустін В. В. Металорізальні інструменти: конструювання та розрахунок. — Дніпро: ДНУ, 2013. — 260 с.
19. Каталог інструментів www.coromant.sandvik.com.
20. Кирилович В. А., Мельничук П. П., Яновський В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ: навч. посіб. / Житомир: ЖІТІ, 2001. — 600 с. Режим доступу: https://koha.tntu.edu.ua/bib/104044?utm_source=chatgpt.com
21. Коваленко В. М. Технологія машинобудування: підручник / В. М. Коваленко, С. В. Якименко. — К. : Ліра-К, 2018. — 472 с.
22. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 204 с.
23. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 174 с.

24. Косаковський А. Л. Технологія машинобудування. Частина 1: Основи теорії різання. — Київ: НАУ, 2011. — 240 с.
25. Лебедик Л.В., Стрельников В.Ю., Стрельников М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельников, М. В. Стрельников. – Полтава: АСМІ, 2020. – 303 с.
26. Мазур М. П. Основи теорії різання матеріалів: підруч. для вищ. навч. закладів / М. П. Мазур (гол. ред.). — Львів: Новий Світ-2000, 2009. - 422 с.
Режим доступу:
https://web.kpi.kharkov.ua/cutting/book4/?utm_source=chatgpt.com
27. Мельник А. П. Верстати з ЧПК: принципи, системи управління, обслуговування. — Харків: Техніка, 2021. — 312 с.
28. Методика професійної освіти: навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ : Компринт, 2027. – 224 с.
29. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УПА, 2027. – 82 с.
30. All Sandvik Coromant catalogs and technical brochures. — Режим доступу:
https://pdf.directindustry.com/pdf/sandvik-coromant-14460.html?utm_source=chatgpt.com
31. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>
32. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» першого (бакалаврського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

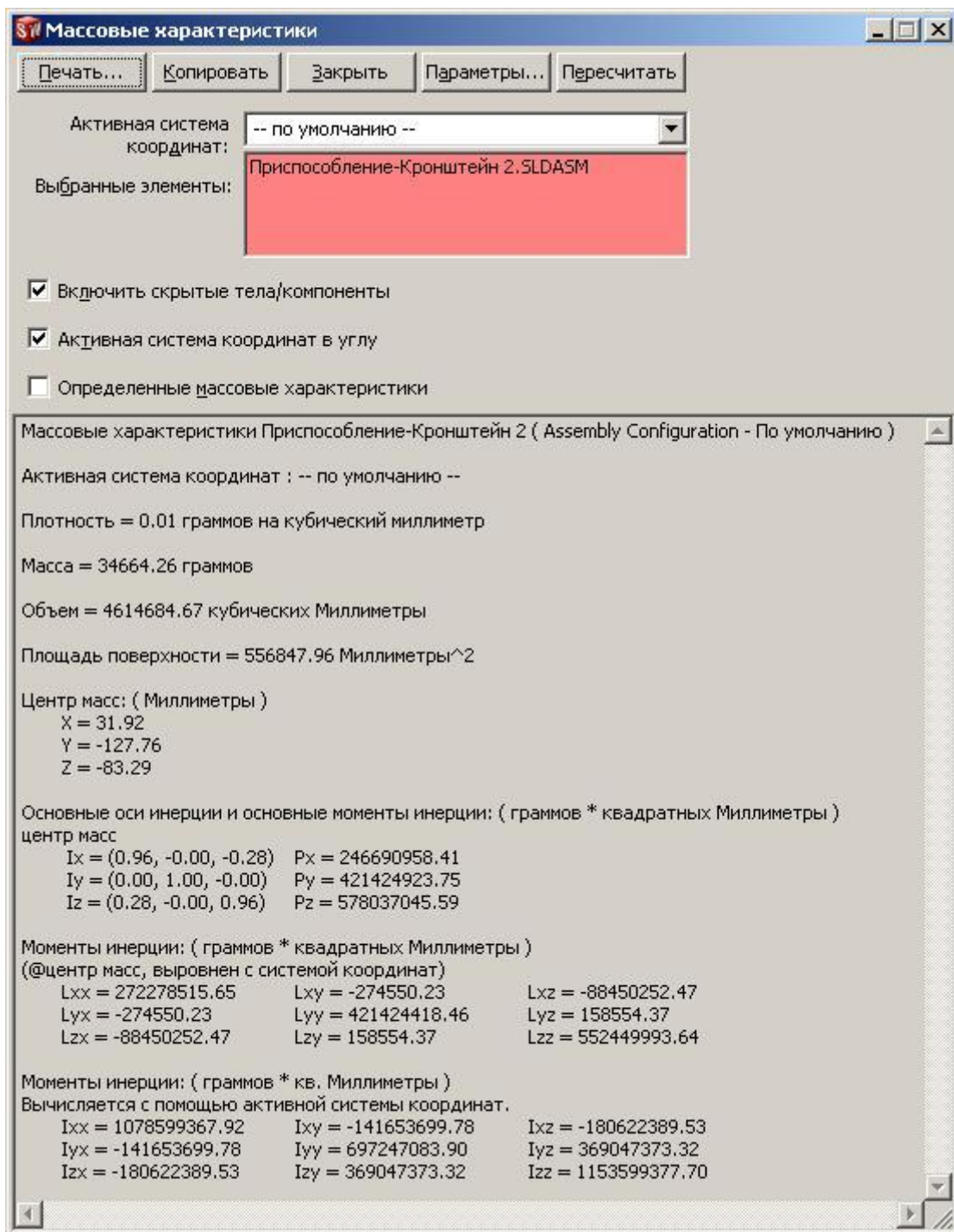
33. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» другого (магістерського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.
34. Основи теорії різання матеріалів: Підручник для вищ. навч. закладів / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий Світ-2000, 2009. – 422 с.
35. Основи технічного нормування [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ftv.ptngu.com/index8.html>
36. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
37. Поліщук В. А. Проектування заготовок у машинобудуванні : навчальний посібник. / В. А. Поліщук. – Миколаїв : НУК, 2017 – 274 с.
38. Проектування різальних інструментів. Фрези [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавр за освіт. програмою “Конструювання та дизайн машин” спец. 131 – Прикладна механіка/ В. І. Солодкий : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2-ге вид. перероблене та доповн. – Електрон. текст. дані (1 файл). — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 178 с.
39. Процеси виготовлення машин. Частина 1: Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник / А.В. Гагалюк, Ю.Є. Паливода. – Тернопіль: Осадца Ю. В., 2025. – 308 с.
40. Рахуба В. М. Металорізальні інструменти: конструкція, розрахунок, виготовлення. — Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. — 325 с.
41. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>
42. 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.

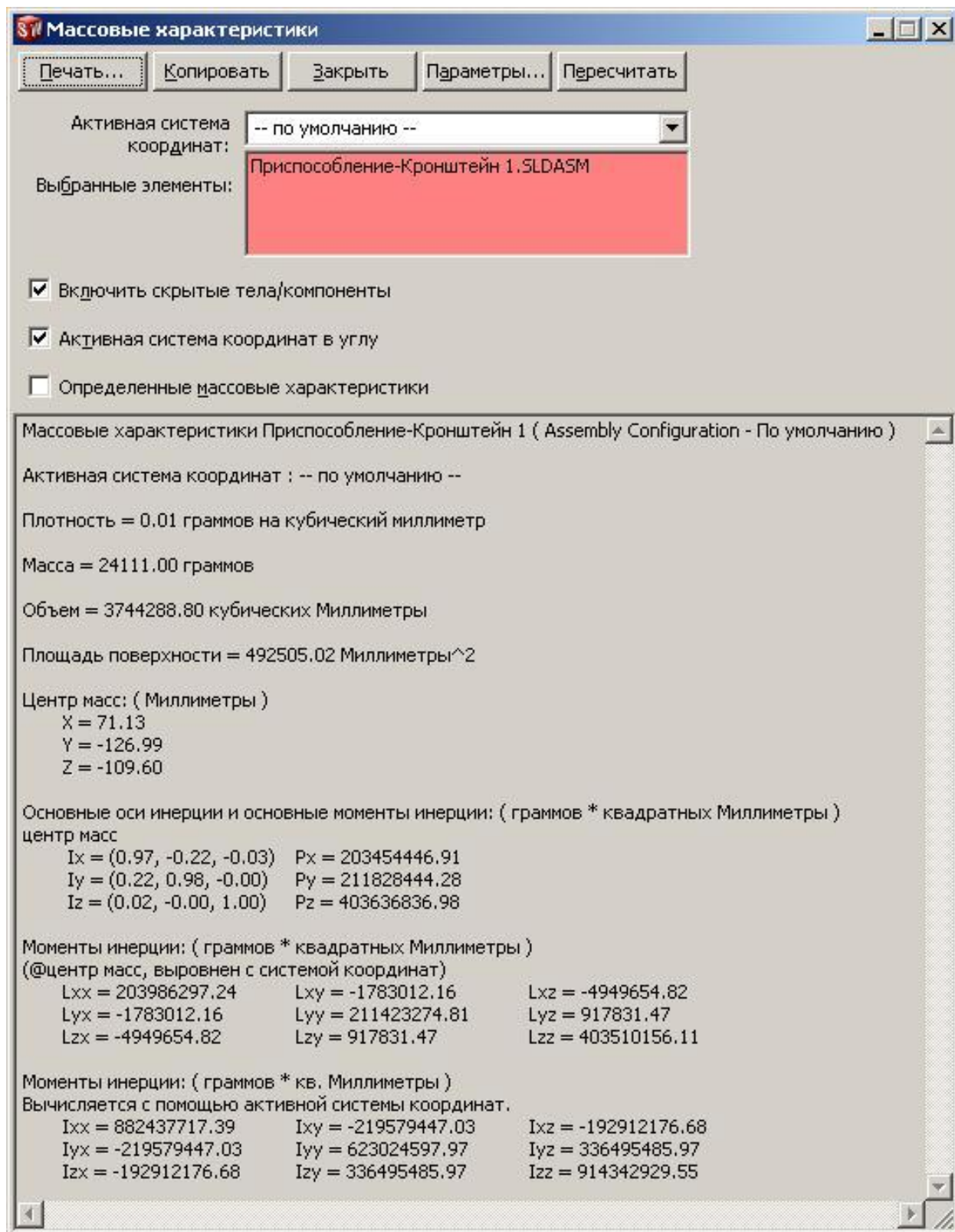
43. Сидоренко І. М. Інструментознавство: навчальний посібник. — Харків: НТУ "ХПІ", 2015. — 256 с.
44. Таблиці режимів різання для ЧПУ / inner. ua. – Режим доступу: <https://inner.ua/articles/7-praktichnykh-tablits-rezhimov-rezaniya-dlya-chpu/>
45. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Дерібо О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В. — Вінниця: ВНТУ, 2023. — 116 с
46. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>
47. Федосов С. Г. Числове програмне керування у верстатах. — К.: Либідь, 2019. — 264 с.
48. Яковенко І. Е., Пермяков О. А., Фесенко А. В. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 –Прикладна механіка, 133 –Галузеве машинобудування / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, А.В. Фесенко – Харків: НТУ «ХПІ», 2022. – 421с.
49. Яковенко І.Е. Гнучкі виробничі системи: навчальний посібник для студентів напрямку 131 / – Прикладна механіка / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, О. М. Шелковой. Харків: «Діса плюс», 2019. – 246с.
50. Яковенко І.Е. Я 47 Технологічна оснастка. Конструкції. Перспективи.: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков – Харків: НТУ «ХПІ», 2024. – 312с.

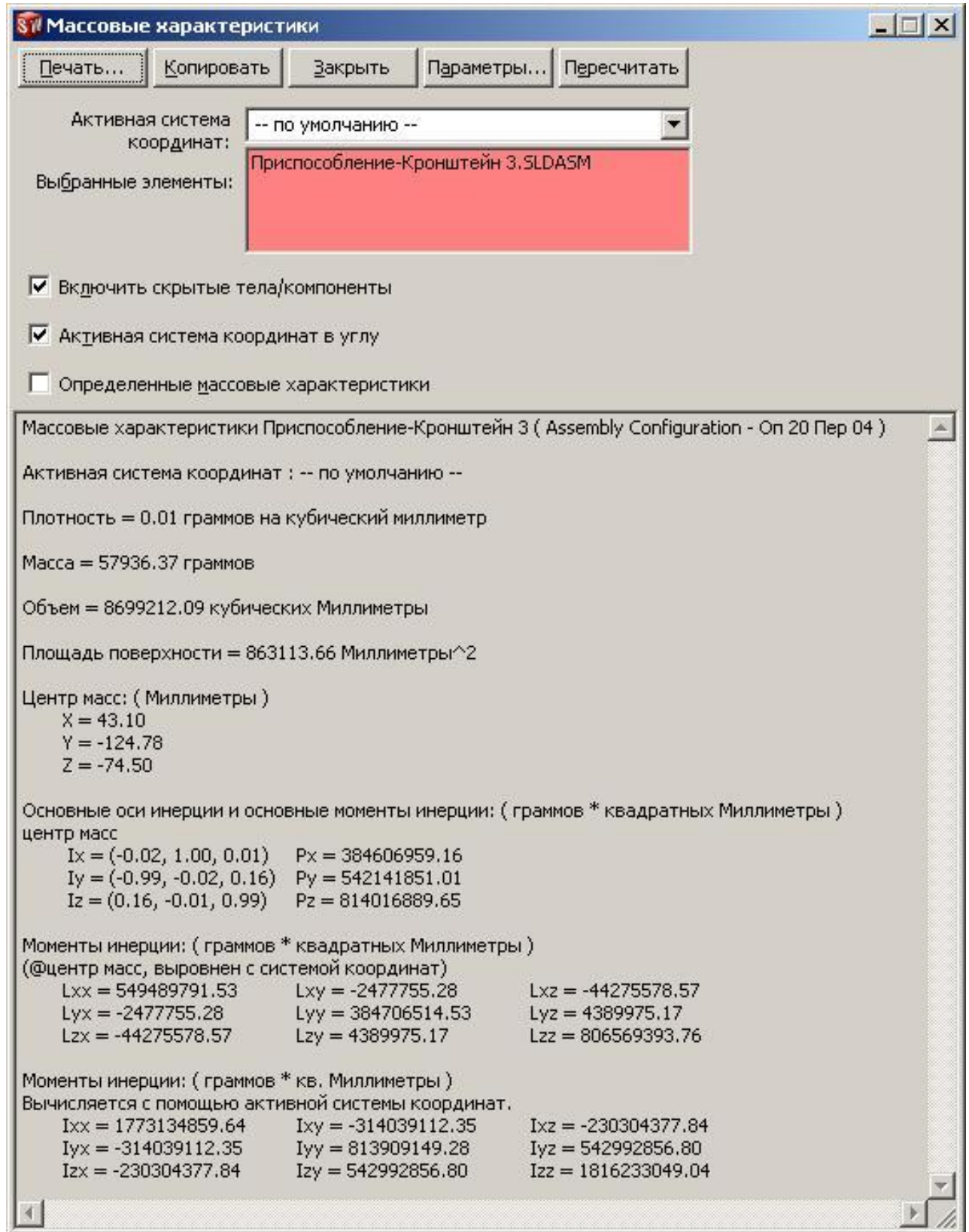
ДОДАТОК А

Додаток А

Автоматично розроблена керуюча програма вертикальним оброблювальним центром VA500 за допомогою системи SolidCAM-2021.







```

ос.add_heading('4. Перелік операцій (послідовність) — повна циклограма', level=2)
ops = [
("010", "Установка заготовки, перевірка баз, WCS"),
("020", "Фейсінг (Face milling) — чистка опорної площини до нульової висоти"),
("030", "Обробка зовнішнього профілю (чернова) — Adaptive/НРС"),
("040", "Обробка виступів/ступенів — чорнова/напівчистова"),
("050", "Фрезерування отвірної лунки під підшипник Ø35Н7 (чорнова + чистова
розточка)"),
("060", "Свердління отвори по координатах (Ø4, Ø5, Ø7, Ø8, Ø11 ... згідно таблиці)"),
("070", "Розгортання/розточування отворів під Н7/Н14 до посадок"),
("080", "Нарізання різьб (М5, М6, М10 — по точках"),
("090", "Фаскування 0.5×45° та 1×45° на краях"),
("100", "Чистова обробка критичних поверхонь (тонкий обхід"),
("110", "Контроль розмірів, співвісності, чистоти поверхні"),
("120", "Видалення деталі, очистка від стружки, маркування")
]
ops_table = doc.add_table(rows=1, cols=3)
ops_table.style = 'Table Grid'
hdr = ops_table.rows[0].cells
hdr[0].text = 'Код'
hdr[1].text = 'Операція'
hdr[2].text = 'Коментарі / налаштування'
for code, desc in ops:
    r = ops_table.add_row().cells
    r[0].text = code
    r[1].text = desc
    if code == "020":
        r[2].text = "Інструмент: торцева фреза Ø63, а_р 1.0–2.0 мм, S ~800 об/хв, F ~350–450
мм/хв"
    elif code == "050":
        r[2].text = "Основний отвір Ø35Н7: чорнова фрезерна/розточна операція + чистове
розточування під Н7"
    elif code == "060":
        r[2].text = "Свердління з використанням циклів G81/G83 (Fanuc) за координатами"
    else:
        r[2].text = ""
doc.add_heading('5. Таблиця інструментів (рекомендована)', level=2)
tools = [
("Т1", "Торцева фреза Ø63 мм, 4–6 зубів, вставні твердосплавні", "Face milling"),
("Т2", "Циліндрична кінцева фреза Ø20 мм, 4 зуби, карбід", "Rough profile"),
("Т3", "Кінцева фреза Ø12 мм, 4 зуби, карбід", "Semi-finish/finish"),
("Т4", "Кінцева фреза Ø8 мм, 4 зуби, карбід", "Finish профілів та пазів"),
("Т5", "Свердло Ø4 мм (Н14 premachined)", "Отвори Ø4"),
("Т6", "Свердло Ø5 мм", "Отвори Ø5"),
("Т7", "Свердло Ø7 мм", "Отвори Ø7"),
("Т8", "Свердло Ø8 мм", "Отвори Ø8"),
("Т9", "Свердло Ø11 мм", "Отвори Ø11"),
("Т10", "Розгортка Ø35Н7 або токарна/розточна голова для Ø35Н7", "Головний отвір під
підшипник"),
("Т11", "Свердло/розвертка/зенкер під різьбу М5/М6/М10", "Нарізання різьб"),

```

```

("T12","Фасонна фреза / фаска 45°", "Фаски 0.5×45° / 1×45°"),
]
t_table = doc.add_table(rows=1, cols=3)
t_table.style = 'Table Grid'
hdr = t_table.rows[0].cells
hdr[0].text = 'Інструмент'
hdr[1].text = 'Опис'
hdr[2].text = 'Призначення'
for t, desc, purpose in tools:
    row = t_table.add_row().cells
    row[0].text = t
    row[1].text = desc
    row[2].text = purpose
doc.add_heading('6. Режими різання (орієнтовні) для СЧ20', level=2)
doc.add_paragraph(
    "Загальні рекомендації: застосовувати твердосплавні інструменти з позитивною геометрією. Чавун добре піддається різанню, але важливо уникати вібрацій.\n"
    "Параметри наведені орієнтовно — остаточні значення підбираються на основі інструменту та станка (VA-500):\n", style='Normal')
# Modes table
modes = [
("Операція", "Інструмент", "S (об/хв)", "f_z (mm/z)", "F (мм/хв)", "a_p (мм)", "a_e"),
("Face milling", "Ø63", "600-900", "0.06", "≈600-1200", "1.0-2.0", "повний"),
("Rough profile (Adaptive)", "Ø20", "800-1200", "0.06", "≈960-1440", "2-4", "30-50% D"),
("Semi-finish", "Ø12", "800-1600", "0.03-0.06", "≈288-1152", "0.5-1.0", "10-20% D"),
("Finish contours", "Ø8", "1200-2000", "0.02-0.04", "≈192-640", "0.1-0.3", "8-15% D"),
("Drilling Ø4-Ø11", "drills", "1000-1800", "—", "80-250", "—", "—"),
("Reaming / Boring Ø35H7", "ream/boring", "400-800", "—", "50-150 (feed)", "—", "—"),
]

m_table = doc.add_table(rows=1, cols=6)
m_table.style = 'Table Grid'
hdr = m_table.rows[0].cells
hdr[0].text = 'Операція'
hdr[1].text = 'Інструмент'
hdr[2].text = 'S (об/хв)'
hdr[3].text = 'f_z (mm/z)'
hdr[4].text = 'F (мм/хв)'
hdr[5].text = 'a_p / a_e'
for row in modes[1:]:
    r = m_table.add_row().cells
    for i, val in enumerate(row):
        r[i].text = str(val)
doc.add_heading('7. Алгоритм налаштування SolidCAM (коротко)', level=2)
doc.add_paragraph(
    "1. Створити CAM-проект у внутрішньому SLDPRT файлі.\n"
    "2. Налаштувати Machine Definition під VA-500 (Fanuc): ходи, АТС, шпиндель.\n"
    "3. Вказати Stock з припуском 2-3 мм.\n"
    "4. Створити WCS відповідно до зазначеного базування.\n"

```

```

"5. Поопераційно задати toolpaths: Face → Adaptive rough → Semi-finish → Finish →
Drilling → Reaming → Chamfer.\n"
"6. Виконати повну симуляцію з перевіркою колізій.\n"
"7. Обрати постпроцесор Fanuc і згенерувати NC-файл.\n", style='Normal')
doc.add_heading('8. Приклад фрагмента NC-коду (Fanuc)', level=2)
doc.add_paragraph(
    "Фрагмент для контролю (перед реальним запуском протестувати на dry-run):",
    style='Normal')
doc.add_paragraph(
    "O0100 (KRONSHCHEN - VA500)\n"
    "G21 G17 G90 G40 G49 G80\n"
    "T1 M6 (FACE MILL Ø63)\n"
    "G54 S800 M3\n"
    "G0 X0 Y0 Z100\n"
    "G43 H1 Z5 M8\n"
    "G1 Z-2.0 F350\n"
    "G1 X100 Y0 F380\n"
    "G0 Z100\n"
    "M5\n"
    "T2 M6 (DRILL Ø4)\n"
    "G54 S1200 M3\n"
    "G0 X10 Y20\n"
    "G81 Z-15 R2 F80\n"
    "G80\n"
    "M30\n", style='Normal')
doc.add_heading('9. Контрольні операції та виміри', level=2)
doc.add_paragraph(
    "- Перевірити Ø35H7 (основний отвір) — калібрація H7, співвісність з опорною
площиною.\n"
    "- Перевірити різьби M5, M6, M10 на відповідність глибинам та різьбовим
відстаням.\n"
    "- Перевірити усі Ø...H14 отвори — відповідність допускам (через калібри чи
СММ).\n"
    "- Виміряти критичні розміри (79×86, 35×1 тощо) за кресленням.\n", style='Normal')
doc.add_heading('10. Орієнтовний час обробки', level=2)
doc.add_paragraph(
    "- Повний цикл (одночасно): ~20–35 хв (залежить від кріплення, кількості
інструментальних змін та оптимізації toolpaths).\n", style='Normal')
doc.add_paragraph("\n\nДокумент підготовлено автоматично. Для додаткових правок
(наприклад, конкретні інструменти від постачальника або точні S/F за конкретною маркою
пластин) надайте інформацію — і я оновлю документ.", style='Italic')
# Save document
out_path = "/mnt/data/Kronshtein_Technological_Map.docx"
doc.save(out_path)
out_path
-----
IndexError                                Traceback (most recent call last)
Cell In[1], line 193
    191 r = m_table.add_row().cells
    192 for i, val in enumerate(row):

```

```
--> 193     r[i].text = str(val)
195 doc.add_heading('7. Алгоритм налаштування SolidCAM (коротко)', level=2)
196 doc.add_paragraph(
197     "1. Створити CAM-проект у внутрішньому SLDPRT файлі.\n"
198     "2. Налаштувати Machine Definition під VA-500 (Fanuc): ходи, АТС, шпиндель.\n"
(...) 202     "6. Виконати повну симуляцію з перевіркою колізій.\n"
203     "7. Обрати постпроцесор Fanuc і згенерувати NC-файл.\n", style='Normal')
```

IndexError: tuple index out of range

Анализ ошибочен

python

Всегда показывать подробности

Копировать код

```
from docx import Document
from docx.shared import Inches, Pt
from docx.enum.text import WD_ALIGN_PARAGRAPH
from docx.oxml.ns import qn
from docx.shared import Cm
# Create document
doc = Document()
doc.styles['Normal'].font.name = 'Times New Roman'
doc.styles['Normal']._element.rPr.rFonts.set(qn('w:eastAsia'), 'Times New Roman')
doc.styles['Normal'].font.size = Pt(11)
# Title
doc.add_heading('Технологічна карта (Циклограма) обробки деталі «Кронштейн»',
level=1)
p = doc.add_paragraph('Матеріал: СЧ20 (сірий чавун) · Верстат: VA-500 (Fanuc) · Формат:
повна карта\n', style='Normal')
p.alignment = WD_ALIGN_PARAGRAPH.LEFT
# Insert image if available
try:
    doc.add_paragraph().add_run().add_picture('/mnt/data/bc6a1b82-2de7-477d-983b-
295b4e9ea0d6.png', width=Cm(12))
except Exception as e:
    doc.add_paragraph('**(Зображення креслення не знайдено/не вдалося вставити)**')
doc.add_heading('1. Вихідні дані', level=2)
doc.add_paragraph(
    "Загальні дані:\n"
    "- Деталь: «Кронштейн». \n"
    "- Матеріал: СЧ20 (сірий чавун). \n"
    "- Заготовка: виліток з припуском ~2–3 мм на всі поверхні (за замовчуванням). \n"
    "- Базування: опорна (нижня) площина → Z0; бічна площина → X0; торець → Y0. \n"
    "- Контролер: Fanuc (постпроцесор Fanuc для VA-500). \n"
    "- WCS: верхня робоча площина (User specified WCS встановлено як робоча точка у
SolidCAM).", style='Normal')
doc.add_heading('2. Таблиця позначених розмірів (згідно з підданими даними)',
level=2)
features = [
    ("1", "79×86"),
    ("2", "35×1"),
```

```

("3", "12×79"),
("4", "12×79"),
("5", "R12H14"),
("6", "∅8H7"),
("7", "1×45°"),
("8", "M5-6H"),
("9", "∅4H14"),
("10", "1×45°"),
("11", "∅8H14"),
("12", "M10-7H"),
("13", "1×45°"),
("14", "∅7H14"),
("15", "∅11H14"),
("16", "∅5H14"),
("17", "∅11H14"),
("18", "M6-7H"),
("19", "∅11H14"),
("20", "∅5H14"),
("21", "M6-7H"),
("22", "∅7H14"),
("23", "∅11H14"),
("24", "∅11H14"),
("25", "∅7H14"),
("26", "0,5×45°"),
("27", "M6-7H"),
("28", "∅5H14"),
("29", "M6-7H"),
("30", "∅5H14"),
("31", "0,5×45°"),
("32", "∅7H14"),
("33", "∅11H14"),
("34", "∅35H7"),
("35", "1×45°"),
]
table = doc.add_table(rows=1, cols=3)
table.style = 'Table Grid'
hdr_cells = table.rows[0].cells
hdr_cells[0].text = 'Позначка'
hdr_cells[1].text = 'Розмір / Опис'
hdr_cells[2].text = 'Примітка (інтерпретація)'
for num, val in features:
    row_cells = table.add_row().cells
    row_cells[0].text = num
    row_cells[1].text = val
    note = ""
    if "∅" in val or "R" in val:
        note = "Отвір/радіус — потребує прийому (свердління/розточування/зенкер)"
    elif "M" in val:
        note = "Різьба — нарізання / свердління під метричну різьбу"
    row_cells[2].text = note

```

```

doc.add_heading('3. Базування і встановлення деталі', level=2)
doc.add_paragraph(
    "- Встановити деталь у лещата або на плиту з призматичною опорою.\n"
    "- WCS: верхня оброблена площина (після первинного фейсінгу) як Z0 для подальших операцій.\n"
    "- Базові поверхні: нижня площина - опора (використовується для грубої прив'язки),\n бічна граня - X0 для координатної прив'язки, торець - Y0 для розташування отворів.\n- Забезпечити затиск без деформацій; при необхідності використовувати дерев'яні прокладки/м'які вклади.\n", style='Normal')
doc.add_heading('4. Перелік операцій (послідовність) — повна циклограма', level=2)
ops = [
    ("010", "Установка заготовки, перевірка баз, WCS"),
    ("020", "Фейсінг (Face milling) — чистка опорної площини до нульової висоти"),
    ("030", "Обробка зовнішнього профілю (чернова) — Adaptive/HPC"),
    ("040", "Обробка виступів/ступенів — чорнова/напівчистова"),
    ("050", "Фрезерування отвірної лунки під підшипник Ø35H7 (чорнова + чистова розточка)"),
    ("060", "Свердління отвори по координатах (Ø4, Ø5, Ø7, Ø8, Ø11 ... згідно таблиці)"),
    ("070", "Розгортання/розточування отворів під H7/H14 до посадок"),
    ("080", "Нарізання різьб (M5, M6, M10 — по точках)"),
    ("090", "Фаскування 0.5×45° та 1×45° на краях"),
    ("100", "Чистова обробка критичних поверхонь (тонкий обхід)"),
    ("110", "Контроль розмірів, співвісності, чистоти поверхні"),
    ("120", "Видалення деталі, очистка від стружки, маркування")
]
ops_table = doc.add_table(rows=1, cols=3)
ops_table.style = 'Table Grid'
hdr = ops_table.rows[0].cells
hdr[0].text = 'Код'
hdr[1].text = 'Операція'
hdr[2].text = 'Коментарі / налаштування'
for code, desc in ops:
    r = ops_table.add_row().cells
    r[0].text = code
    r[1].text = desc
    if code == "020":
        r[2].text = "Інструмент: торцева фреза Ø63, a_p 1.0–2.0 мм, S ~800 об/хв, F ~350–450 мм/хв"
    elif code == "050":
        r[2].text = "Основний отвір Ø35H7: чорнова фрезерна/розточна операція + чистове розточування під H7"
    elif code == "060":
        r[2].text = "Свердління з використанням циклів G81/G83 (Fanuc) за координатами"
    else:
        r[2].text = ""
doc.add_heading('5. Таблиця інструментів (рекомендована)', level=2)
tools = [
    ("T1", "Торцева фреза Ø63 мм, 4–6 зубів, вставні твердосплавні", "Face milling"),
    ("T2", "Циліндрична кінцева фреза Ø20 мм, 4 зуби, карбід", "Rough profile"),
    ("T3", "Кінцева фреза Ø12 мм, 4 зуби, карбід", "Semi-finish/finish"),

```

```

("T4", "Кінцева фреза Ø8 мм, 4 зуби, карбід", "Finish профілів та пазів"),
("T5", "Свердло Ø4 мм (H14 premachined)", "Отвори Ø4"),
("T6", "Свердло Ø5 мм", "Отвори Ø5"),
("T7", "Свердло Ø7 мм", "Отвори Ø7"),
("T8", "Свердло Ø8 мм", "Отвори Ø8"),
("T9", "Свердло Ø11 мм", "Отвори Ø11"),
("T10", "Розгортка Ø35H7 або токарна/розточна голова для Ø35H7", "Головний отвір під
підшипник"),
("T11", "Свердло/розвертка/зенкер під різьбу M5/M6/M10", "Нарізання різьб"),
("T12", "Фасонна фреза / фаска 45°", "Фаски 0.5×45° / 1×45°"),
]
t_table = doc.add_table(rows=1, cols=3)
t_table.style = 'Table Grid'
hdr = t_table.rows[0].cells
hdr[0].text = 'Інструмент'
hdr[1].text = 'Опис'
hdr[2].text = 'Призначення'
for t, desc, purpose in tools:
    row = t_table.add_row().cells
    row[0].text = t
    row[1].text = desc
    row[2].text = purpose
doc.add_heading('6. Режими різання (орієнтовні) для СЧ20', level=2)
doc.add_paragraph(
    "Загальні рекомендації: застосовувати твердосплавні інструменти з позитивною
геометрією. Чавун добре піддається різанню, але важливо уникати вібрацій.\n"
    "Параметри наведені орієнтовно — остаточні значення підбираються на основі
інструменту та станка (VA-500):\n", style='Normal')
modes = [
("Face milling", "Ø63", "600-900", "0.06", "≈600-1200", "1.0-2.0"),
("Rough profile (Adaptive)", "Ø20", "800-1200", "0.06", "≈960-1440", "30-50% D"),
("Semi-finish", "Ø12", "800-1600", "0.03-0.06", "≈288-1152", "0.5-1.0"),
("Finish contours", "Ø8", "1200-2000", "0.02-0.04", "≈192-640", "0.1-0.3"),
("Drilling Ø4-Ø11", "drills", "1000-1800", "-", "80-250", "-"),
("Reaming / Boring Ø35H7", "ream/boring", "400-800", "-", "50-150", "-"),
]
m_table = doc.add_table(rows=1, cols=6)
m_table.style = 'Table Grid'
hdr = m_table.rows[0].cells
hdr[0].text = 'Операція'
hdr[1].text = 'Інструмент'
hdr[2].text = 'S (об/хв)'
hdr[3].text = 'f_z (мм/z)'
hdr[4].text = 'F (мм/хв)'
hdr[5].text = 'a_p / a_e'
for row in modes:
    r = m_table.add_row().cells
    for i, val in enumerate(row):
        r[i].text = str(val)
doc.add_heading('7. Алгоритм налаштування SolidCAM (коротко)', level=2)

```

```

doc.add_paragraph(
    "1. Створити САМ-проект у внутрішньому SLDPRT файлі.\n"
    "2. Налаштувати Machine Definition під VA-500 (Fanuc): ходи, АТС, шпиндель.\n"
    "3. Вказати Stock з припуском 2-3 мм.\n"
    "4. Створити WCS відповідно до зазначеного базування.\n"
    "5. Поопераційно задати toolpaths: Face → Adaptive rough → Semi-finish → Finish →
Drilling → Reaming → Chamfer.\n"
    "6. Виконати повну симуляцію з перевіркою колізій.\n"
    "7. Обрати постпроцесор Fanuc і згенерувати NC-файл.\n", style='Normal')
doc.add_heading('8. Приклад фрагмента NC-коду (Fanuc)', level=2)
doc.add_paragraph(
    "Фрагмент для контролю (перед реальним запуском протестувати на dry-run):",
style='Normal')
doc.add_paragraph(
    "O0100 (KRONSHCHEN - VA500)\n"
    "G21 G17 G90 G40 G49 G80\n"
    "T1 M6 (FACE MILL Ø63)\n"
    "G54 S800 M3\n"
    "G0 X0 Y0 Z100\n"
    "G43 H1 Z5 M8\n"
    "G1 Z-2.0 F350\n"
    "G1 X100 Y0 F380\n"
    "G0 Z100\n"
    "M5\n"
    "T2 M6 (DRILL Ø4)\n"
    "G54 S1200 M3\n"
    "G0 X10 Y20\n"
    "G81 Z-15 R2 F80\n"
    "G80\n"
    "M30\n", style='Normal')
doc.add_heading('9. Контрольні операції та виміри', level=2)
doc.add_paragraph(
    "- Перевірити Ø35H7 (основний отвір) — калібрація H7, співвісність з опорною
площиною.\n"
    "- Перевірити різьби M5, M6, M10 на відповідність глибинам та різьбовим
відстаням.\n"
    "- Перевірити усі Ø...H14 отвори — відповідність допускам (через калібри чи
СММ).\n"
    "- Виміряти критичні розміри (79×86, 35×1 тощо) за кресленням.\n", style='Normal')
doc.add_heading('10. Орієнтовний час обробки', level=2)
doc.add_paragraph(
    "- Повний цикл (одночасно): ~20–35 хв (залежить від кріплення, кількості
інструментальних змін та оптимізації toolpaths).\n", style='Normal')
doc.add_paragraph("\n\nДокумент підготовлено автоматично. Для додаткових правок
(наприклад, конкретні

```

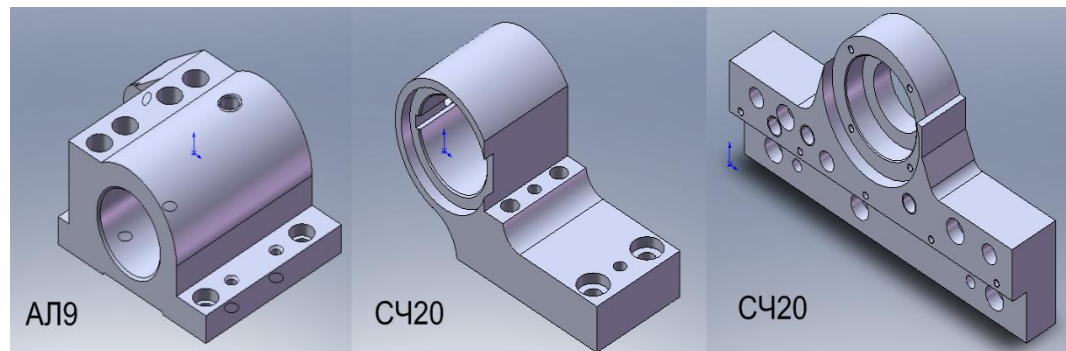
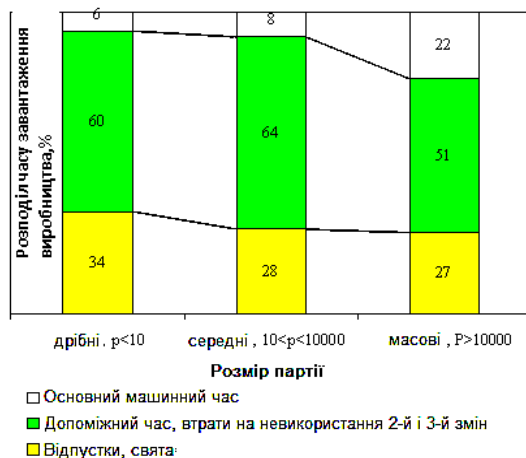
ДОДАТОК Б
(ПРЕЗЕНТАЦІЯ)

Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання

(Розробка конструкторсько-технологічного забезпечення системи обробки деталі «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA 500 в умовах дрібносерійного виробництва)

Діаграма розподілу часу завантаження виробництва

Деталі типу «Кронштейн»



Основною метою випускної роботи є підвищення продуктивності ділянки механічної обробки різанням деталей типу «Кронштейн» на основі застосування групових методів обробки в умовах дрібносерійного автоматизованого виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

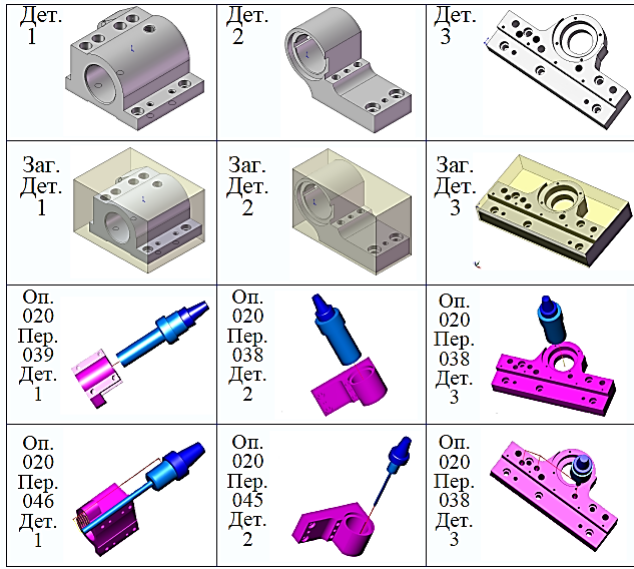
1. виконати аналіз літературних даних по даній тематиці;
2. розробити технологічну документацію для обробки деталей типу «КРОНШТЕЙН» в умовах дрібносерійного автоматизованого виробництва;
3. підібрати технологічне оснащення для базування й транспортування об'єкта обробки;
4. вибрати основне й допоміжне технологічне устаткування;
5. виконати моделювання системи виготовлення деталі «Кронштейн»;
6. виконати нормування процесу обробки виробу «Кронштейн» на обробному центрі VA 500.

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 «Кронштейн».

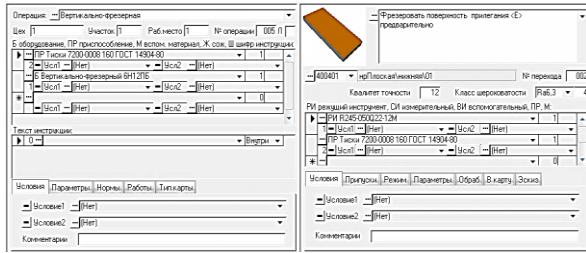
Необхідно враховувати особливості конструкції, габарити оброблюваних деталей для підбора основного й допоміжного устаткування, пристрою, а також для вибору способу транспортування й робота, що буде виконувати перенос деталей і заготівель.

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

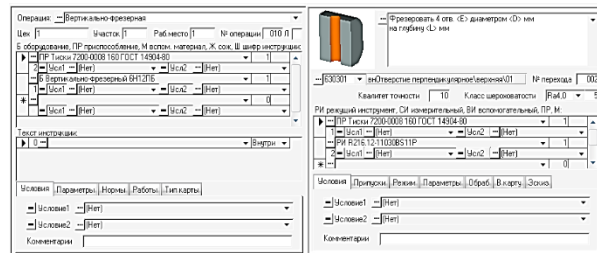
РОЗРОБКА ГРУПОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛІ «КРОНШТЕЙН» У СИСТЕМІ Solid CAM®



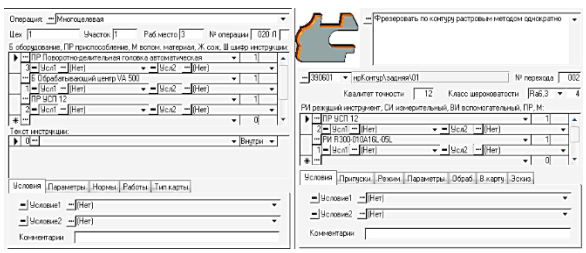
Операція 005:



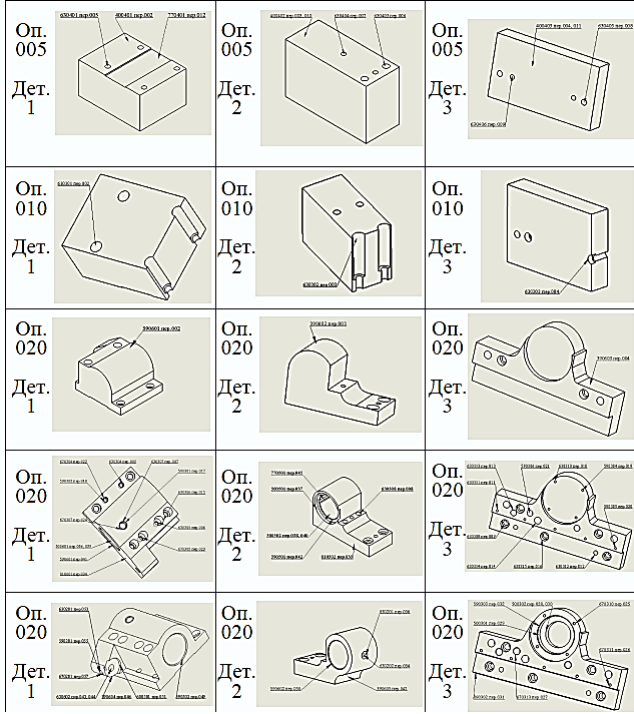
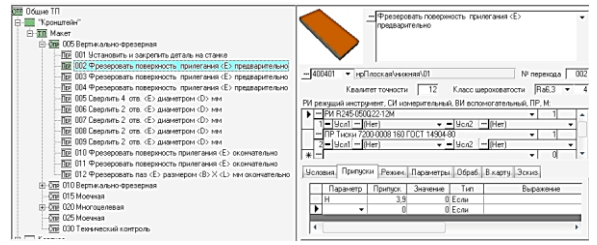
Операція 010:



Операція 020:



Припуски в побудові ТП.



ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ

Визначення подачі на зуб для обробки торцевою фрезою

Визначення швидкості різання при обробці торцевою фрезою

Торцеве фрезерування		Рекомендує подачі		ФРЕЗЕРУВАННЯ	
Кут, 45°	Геометрія пластини	Розмір пластини	Подача на зуб, fz (мм/зуб)	Матеріал	Розмір
CotoMill 245	E-FL, E-ML, E-KL	Легка 12	0.14 (0.08-0.21)	GC3030, GC3020, GC2040, GC2030, GC2040, GC2020	12
	M-FL, M-KL	Легка 12	0.17 (0.08-0.21)	CTS30, H13A, H10, GC1025	12
	M-PM, M-KM	Середня 12	0.24 (0.10-0.28)	CTS30, H13A	12
	K-MAM	Середня 12	0.23 (0.10-0.28)		12
	M-PM, M-KM	Середня 12	0.12 (0.05-0.19)	CTS30, H13A	12
	M-PM, M-KM	Середня 12	0.35 (0.10-0.42)		12
	E-AL, E-EL	Тяжка 12	0.24 (0.10-0.28)		12
	E, E	Кераміка 12	0.21 (0.10-0.30)	CC2050	12
	E	СВН 12	0.14 (0.07-0.21)	CB20	12
	E	PCD 12	0.14 (0.07-0.21)	CB10	12
T-MAX 45	LNCX -11	Середня 12	0.35 (0.10-0.70)		12
	-11	Середня 12	0.35 (0.10-0.70)		12
	-32	Середня 12	0.35 (0.10-0.70)		12
AUTO	TNMF-WL, TNMF-WL	Тяжка 12	0.17 (0.08-0.21)		12
	TNMF-CA, TNMF-CA, TNMF-65, TNMF-65, TMLN, TNEN, TNEN	Тяжка 12	0.24 (0.10-0.42)		12
RUL260.3	TNMF-WL, TNMF-WL	Тяжка 12	0.24 (0.10-0.42)		12
	TNMF-CA, TNMF-CA	Тяжка 12	0.24 (0.10-0.42)		12
	TNMF-65, TNMF-65	Тяжка 12	0.35 (0.10-0.70)		12
	TM LN, TNEN, TNEN	Тяжка 12	0.24 (0.10-0.28)		12

ФРЕЗЕРУВАННЯ		Режими різання – рекомендації по ширині різання		
Фрезерування з малою шириною контакту		Швидкість різання	Твердість по Шредеру	
B	CNC Кол.	Обробляються матеріали	НМ	пс
		Карбюрідні сплави	НМ	пс
N	30.11	Деформуються, в т.ч. в холодному стані на поверхню створення	400	60
		Деформуються, в т.ч. на поверхню створення	650	100
C	30.21	Литьє, на поверхню створення	600	75
		Литьє, в т.ч. на поверхню створення	700	90
C	30.3	Литьє, в т.ч. на поверхню створення	350	30
		Литьє, в т.ч. на поверхню створення	1065	1045-1030
D	30.41	Литьє, 13-15% Si	700	130
		Литьє, 18-22% Si	700	130
D	30.42	Литьє, в т.ч. на поверхню створення	550	110
		Литьє, в т.ч. на поверхню створення	650	90
D	30.5	Литьє, в т.ч. на поверхню створення	1550	100
		Литьє, в т.ч. на поверхню створення	275	305
E	30.6	Литьє, в т.ч. на поверхню створення	2400	200
		Литьє, в т.ч. на поверхню створення	2600	280
E	30.11	Литьє, в т.ч. на поверхню створення	2500	250
		Литьє, в т.ч. на поверхню створення	2800	350
E	30.21	Литьє, в т.ч. на поверхню створення	2600	250
		Литьє, в т.ч. на поверхню створення	3000	300
E	30.3	Литьє, в т.ч. на поверхню створення	2700	200
		Литьє, в т.ч. на поверхню створення	3100	320
E	30.41	Литьє, в т.ч. на поверхню створення	3000	250
		Литьє, в т.ч. на поверхню створення	3300	300
E	30.5	Литьє, в т.ч. на поверхню створення	3100	250
		Литьє, в т.ч. на поверхню створення	3400	300
F	30.11	Литьє, в т.ч. на поверхню створення	1400	900
		Литьє, в т.ч. на поверхню створення	1600	1000

АВТОМАТИЗОВАНА РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ВЕРТИКАЛЬНИМ ОБРОБЛЮВАЛЬНИМ ЦЕНТРОМ VA 500 У СИСТЕМІ SOLIDCAM-2007 ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «КРОНШТЕЙН»

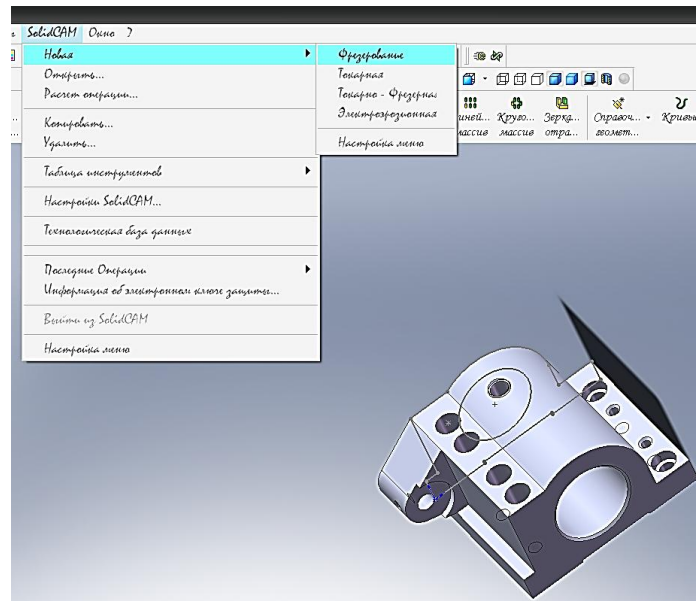
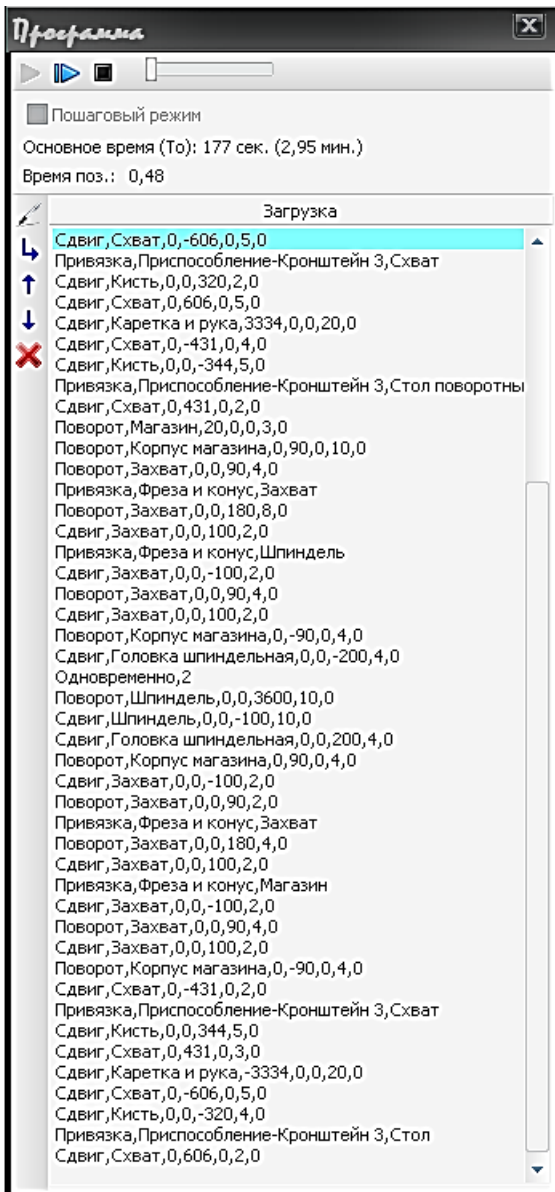
Циклограма виготовлення деталі «Кронштейн».

Створення нової операції в програмі SolidCAM через програму SolidWorks.

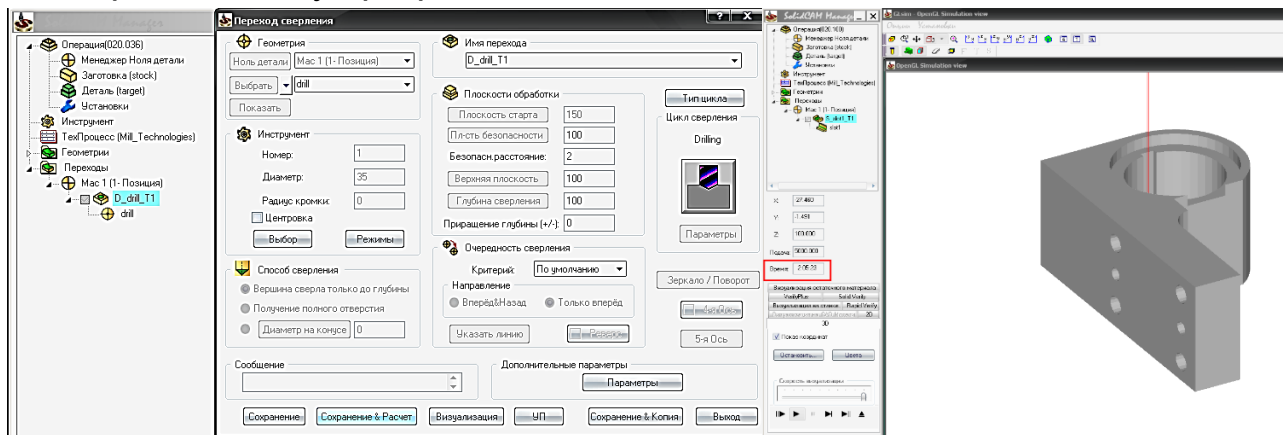
Приклад отриманої програми керування за допомогою системи SolidCAM є програма обробки основного отвору деталі

«Кронштейн 1»

```
O5000 (D DRILL T1.TAP)
(MCV-OP) (04=JUN-2009)
(SUBROUTINES: O2 .. O0)
G90 G17
G80 G49 G40
G54
G91 G28 Z0
G90
M01
N1 M6 T1
(TOOL -1- ROUGH DIA 35.0 MM )
G90 G00 G40 G54
G43 H1 D31 G0 X41. Y25. Z100.
S1364 M3
M8
(-i-i-i-i-i-i-i-i-i)
(D-DRILL-T1 - DRILL)
(-i-i-i-i-i-i-i-i-i)
X41. Y25. Z100.
G98 G81 Z0. R102. F0.25
G80
M30
```

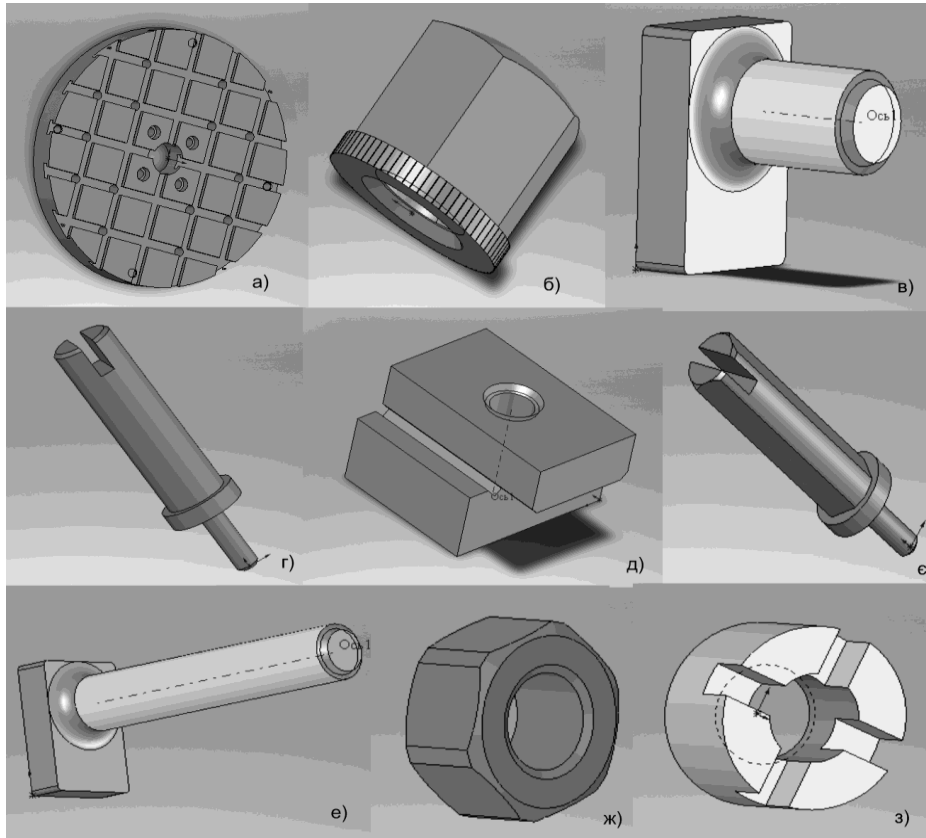


Визначення умов переходу для моделювання обробки деталі типу «Кронштейн» у програмі SolidCAM.

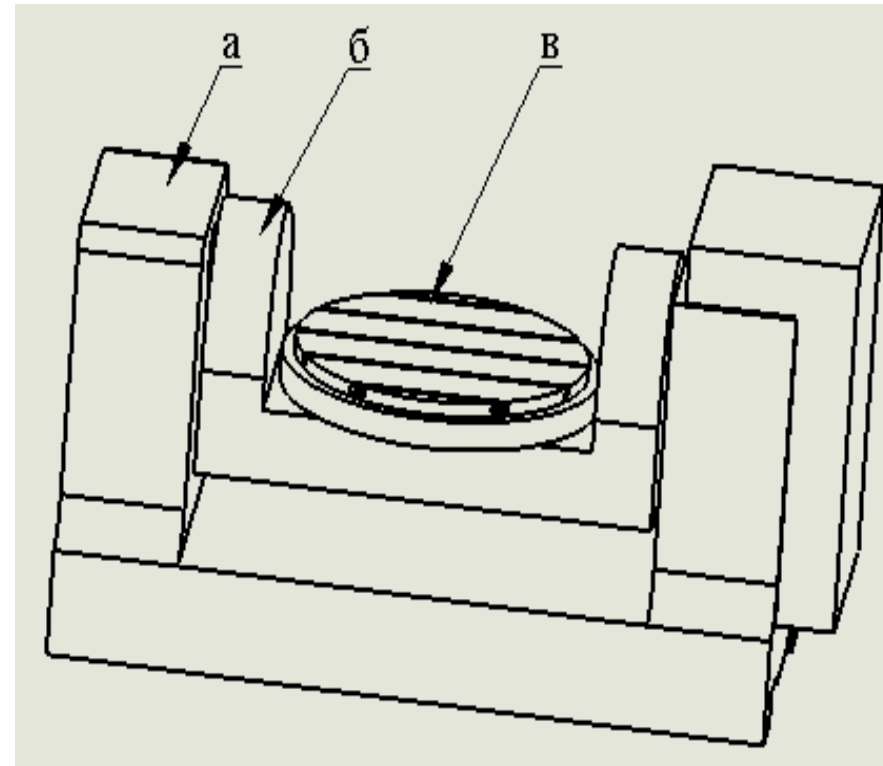
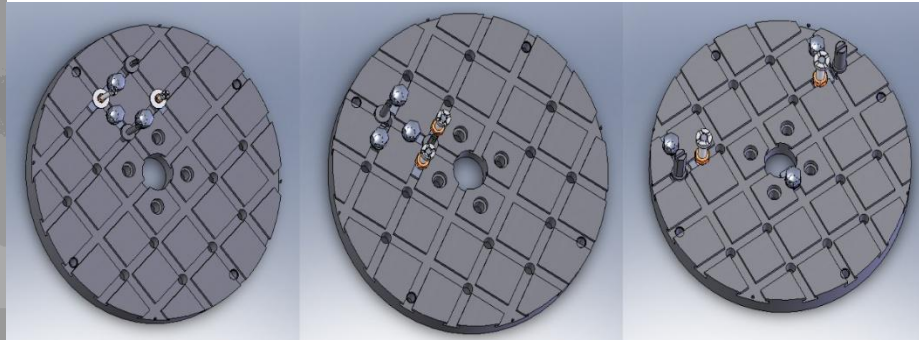


Розробка групового пристосування на основі комплекту УЗП-12 для установки і базування заготовки деталі «Кронштейн» на оброблювальному центрі VA 500

Елементи пристосування для обробки «Кронштейна»

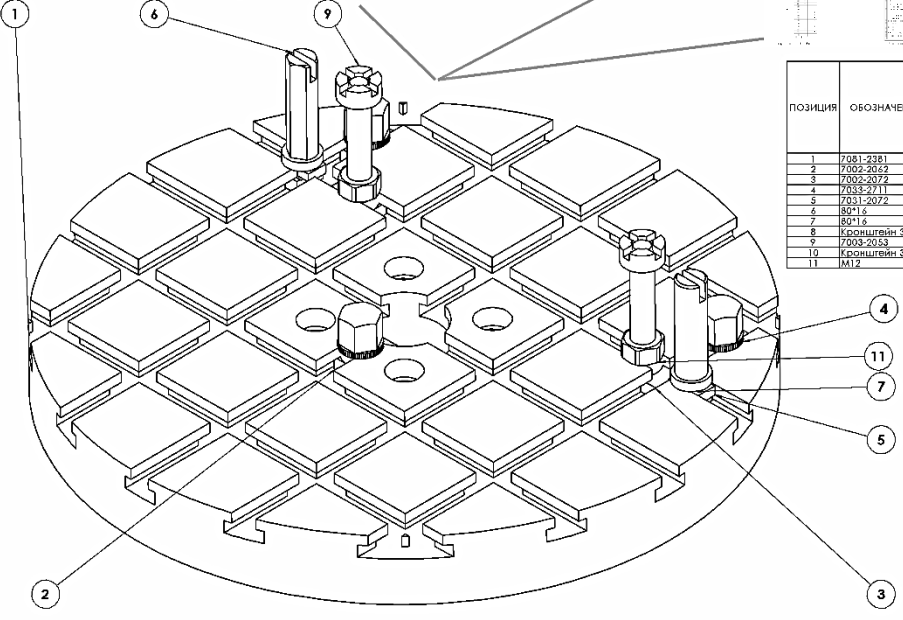
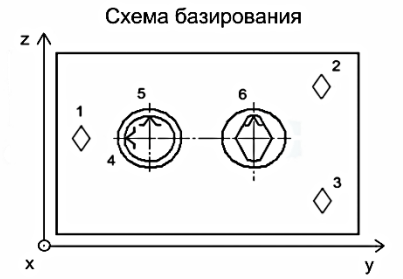
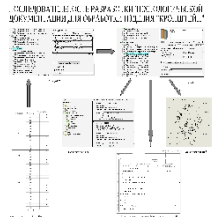
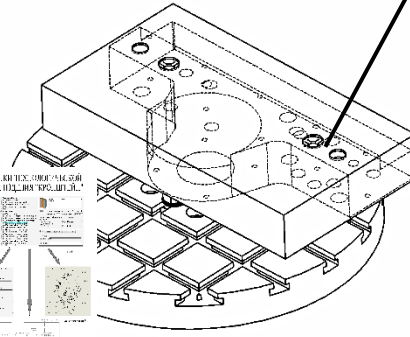
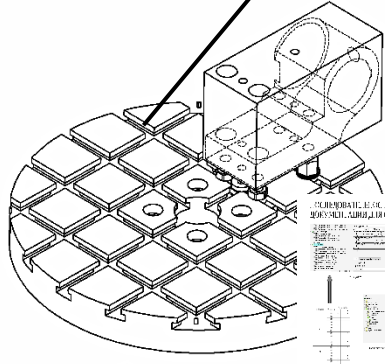
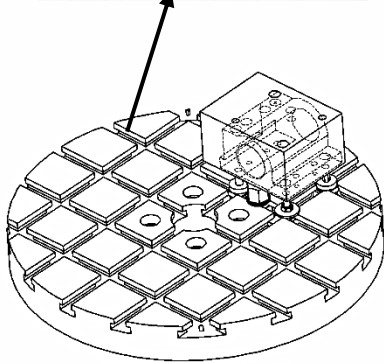
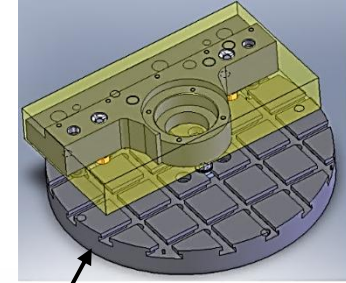
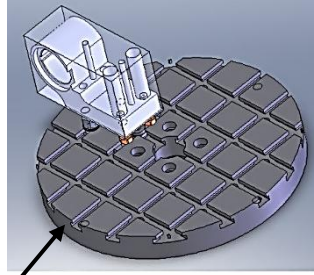
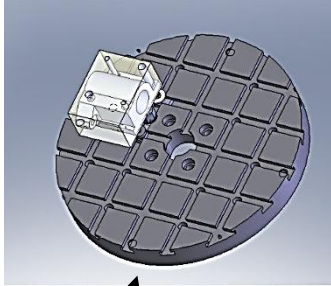


Зовнішній вигляд пристосування для обробки деталей «Кронштейн».



- Плита ДСТУ 15197-93 (1 шт.);
- Болт пазовий ДСТУ 15379-93 (5 шт.);
- Опора ДСТУ 15411-93 (3 шт.);
- Шпонка ДСТУ 15345-93 (2 шт.);
- Гайка ДСТУ 15395-93 (2 шт.);
- Гайка ДСТУ 5915-93 (2 шт.);
- Шайба ДСТУ 18123-72 (2 шт.);
- Палець базовий циліндричний (1 шт.);
- Палець базовий зрізаний (1 шт.).

"КРОНШТЕЙН"



ПОЗИЦИЯ	ОБОЗНАЧЕНИЕ ДЕТАЛИ	КВО
1	7081-2081	1
2	7082-2082	2
3	7083-2072	2
4	7083-2071	2
5	7081-2072	2
6	801-15	1
7	801-16	1
8	Кронштейн 3 Заготовка	1
9	7083-2033	2
10	Кронштейн 3 Деталь	1
11	M12	2

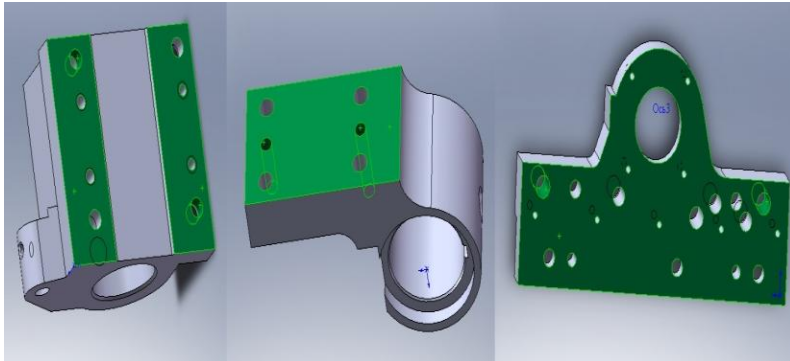
Формула базирования
 $3+2+1=6$
 ↳ опорная ТБ (6)
 ↳ двойная опорная ТБ (4, 5)
 ↳ установочная ТБ (1, 2, 3)

1, 2, 3 - $\downarrow x \begin{matrix} \curvearrowright y \\ \curvearrowright z \end{matrix}$
 4, 5 - $\downarrow y \begin{matrix} \curvearrowright x \\ \curvearrowright z \end{matrix}$
 6 - $\curvearrowright x$

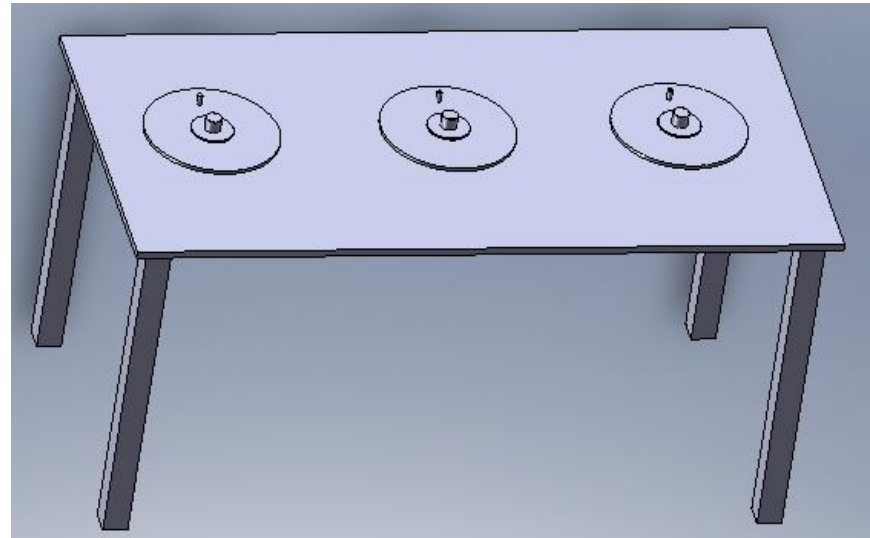
Fingers

Technical drawing details:
 H8: $\varnothing 12 \begin{matrix} +0.027 \\ 0 \end{matrix}$
 H12: $\varnothing 12 \begin{matrix} +0.18 \\ 0 \end{matrix}$
 h10: $\varnothing 12 \begin{matrix} 0 \\ -0.07 \end{matrix}$
 H9: $\varnothing 12 \begin{matrix} +0.043 \\ 0 \end{matrix}$
 D1, D2: Hole diameters
 L: Distance between hole centers
 b: Finger width
 $\delta_{пальцев}$: Finger thickness
 $\delta_{отверстий}$: Hole thickness

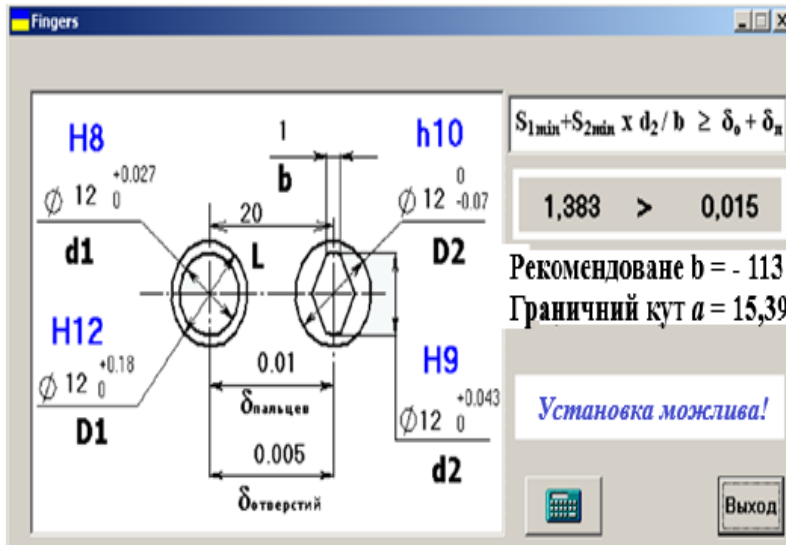
Calculation window:
 $S_{1min} + S_{2min} \times d_2 / b \geq \delta_0 + \delta_{п}$
1,383 > 0,015
 Рекомендуемое $b = -113$
 Предельный угол $\alpha = 15,39$
Установка возможна!
 Выход



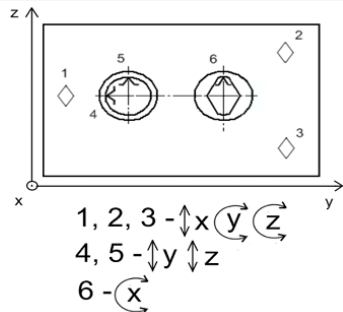
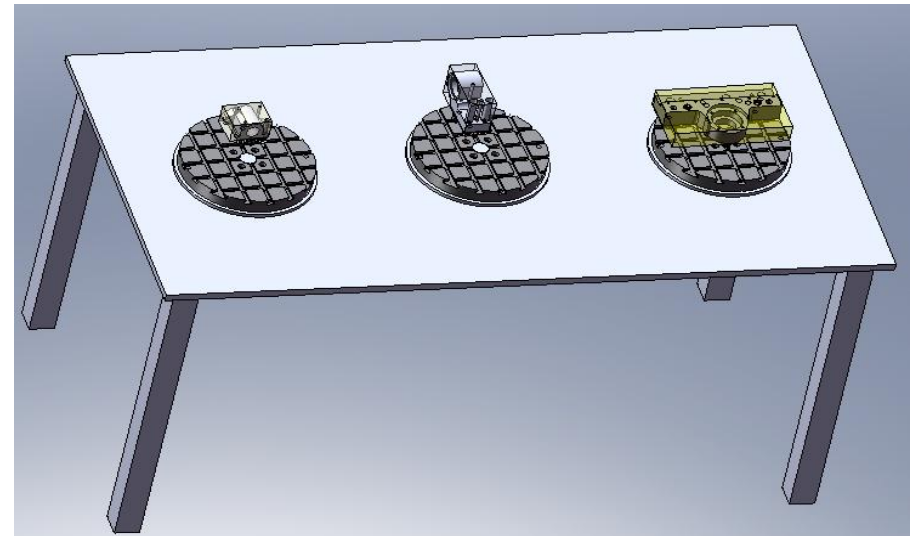
Стіл-накопичувач із елементами базування



Програма для розрахунку погрішності базування деталі на пальцях.



Накопичувач, на якому встановлене пристосування з деталями



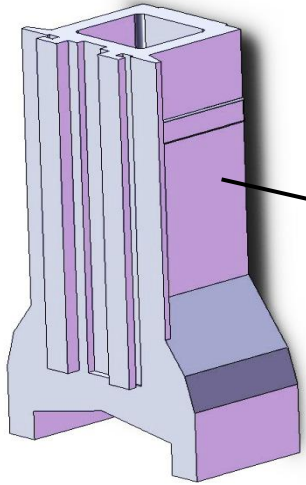
Формула базування:

$$3+2+1=6$$

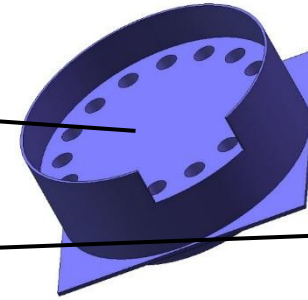
- опорна ТБ (6)
- двійна опорна ТБ (4, 5)
- установочна ТБ (1, 2, 3)

РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОБРОБЛЮВАЛЬНОГО ЦЕНТРА VA 500 10

Стійка оброблювального
центра VA 500.



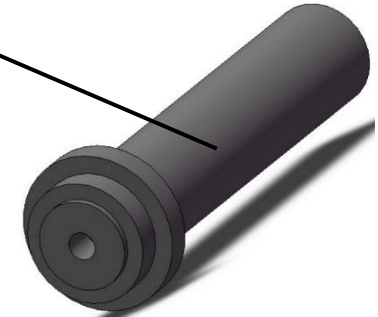
Інструментальний
магазин



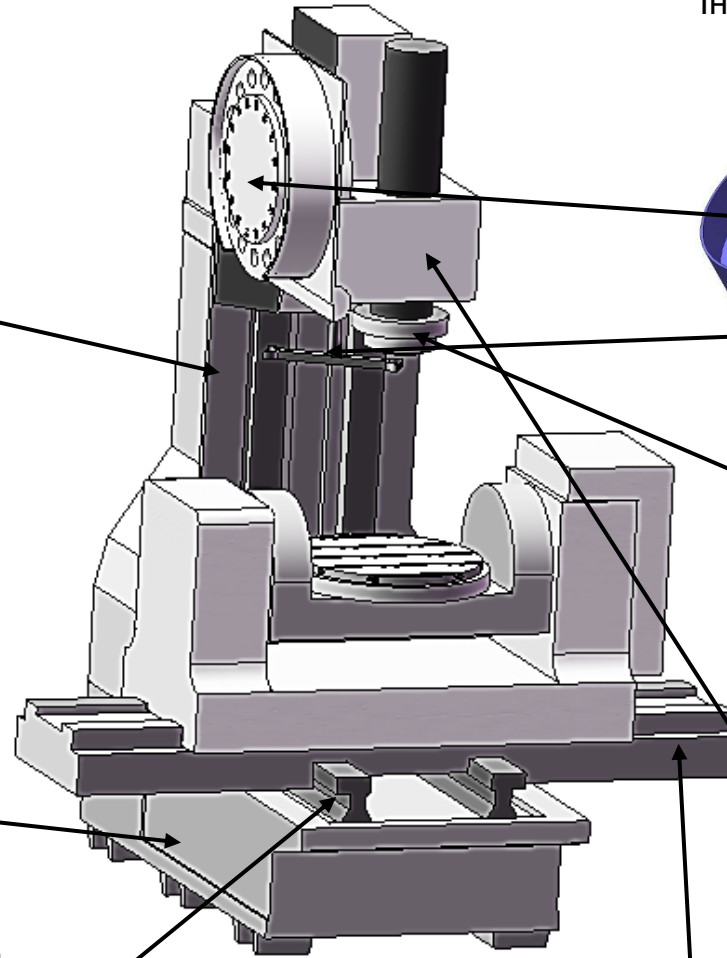
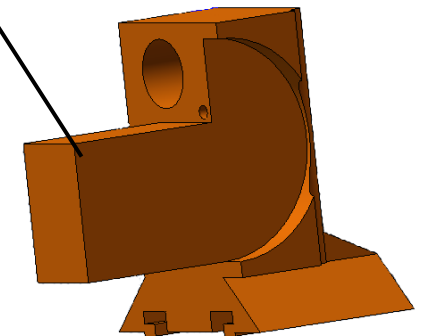
Маніпулятор



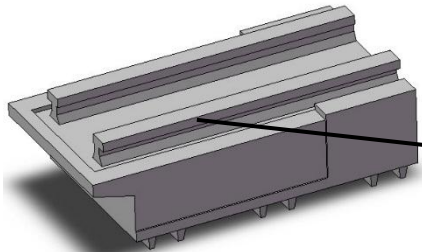
Шпиндель



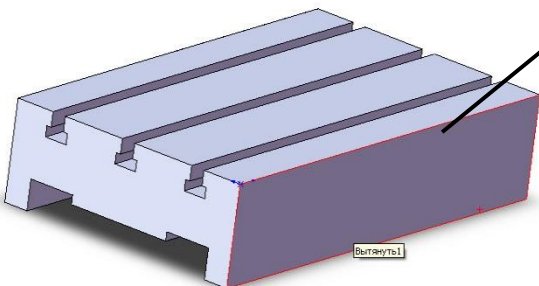
Шпиндельна головка



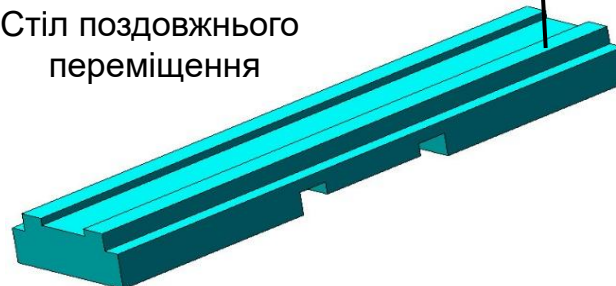
Станина оброблювального
центра VA 500



Стіл поперечного переміщення

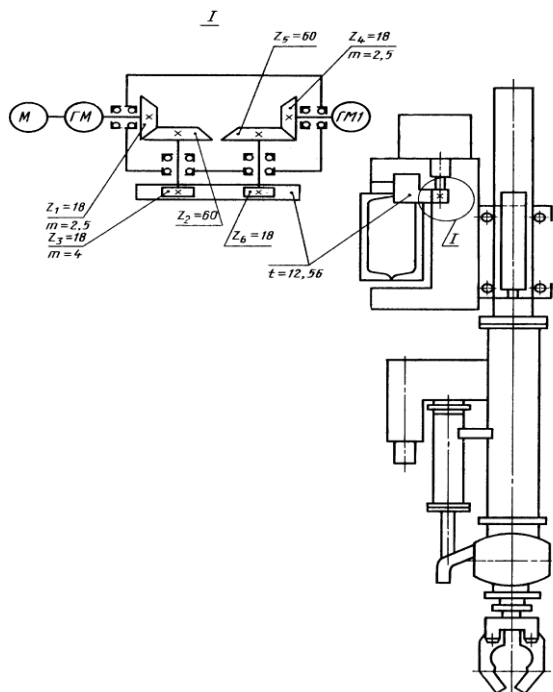
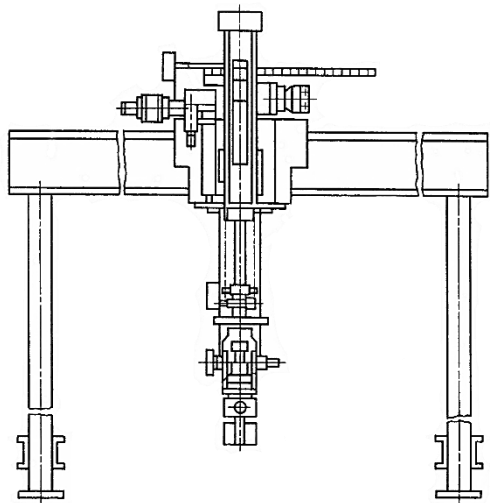


Стіл поздовжнього
переміщення

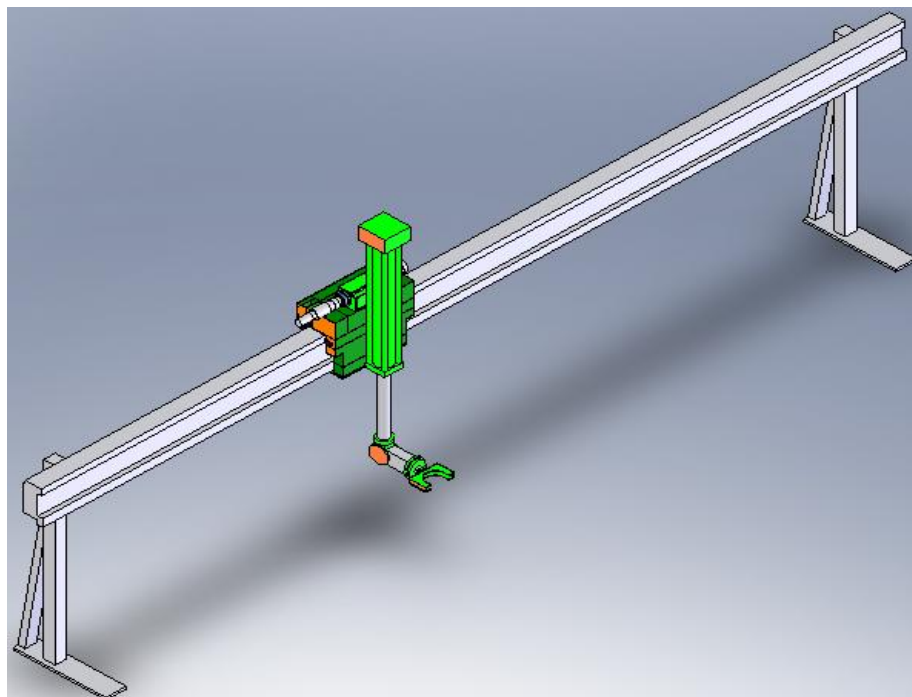


Розробка імітаційної моделі маніпулятора для транспортування виробу «Кронштейн» у зоні обробки і складування вертикального оброблювального центра VA 500

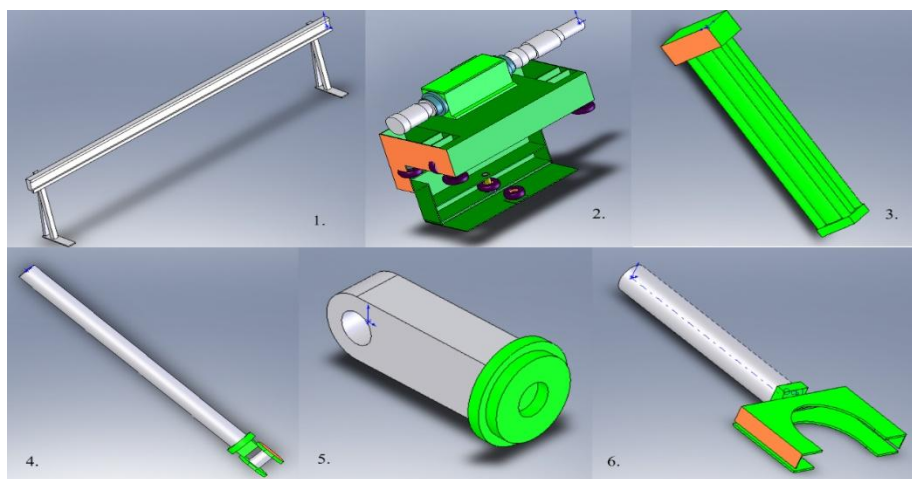
Зовнішній вигляд промислового робота МА160П



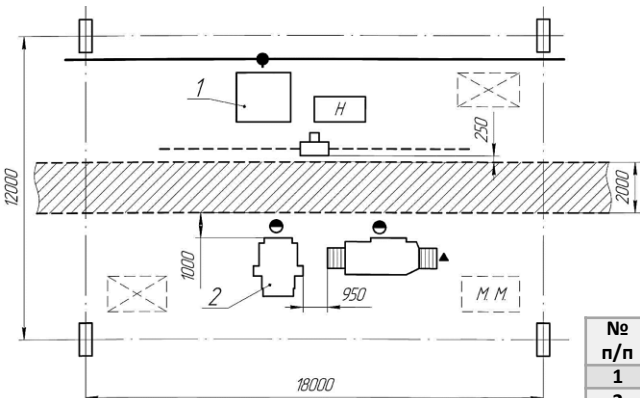
Загальний вид імітаційної моделі транспортного робота



Основні вузли імітаційної моделі ПР



Планування ділянки по обробці деталі типу "КРОНШТЕЙН"

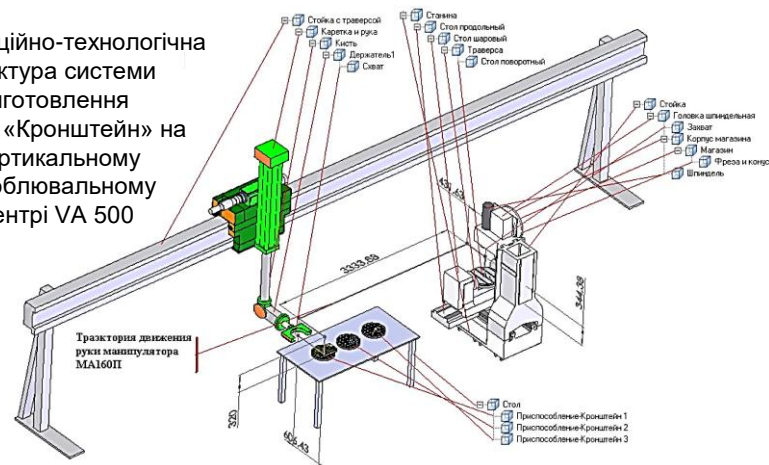


Умовні позначення

- місце майстра,
- тара,
- прохід;
- портальний ПР;
- шинпробій закритий на підвісках,
- точка підбору пару,
- колона;
- накопичувач,
- місце робітника для верстата,
- машина мийна.

№ п/п	Модель верстата	Потужність двигуна	Примітки
1	VA 500	22,5	
2	6Н12ПБ	10	

Організаційно-технологічна структура системи виготовлення деталі «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA 500



$$T_{\text{час.зар.}} = 5,757 + 2,95 = 8,707 \text{ (хв.)}$$

Шаг 1. Захват приспособления с заготовкой

Шаг 2. Подъем заготовки над столом.

Шаг 3. Выдвижение заготовки за границы стола.

Шаг 4. Перемещение заготовки к обрабатывающему центру VA500

Шаг 5. Перемещение заготовки в зону обработки

Шаг 6. Взаправление заготовки на поворотном столе

Шаг 7. Отвод руки манипулятора от рабочей зоны станка VA500

Шаг 8. Перемещение инструмента в позицию транспортирования

Шаг 9. Поворот корпуса магнита в позицию транспортирования

Шаг 10. Вертикальное выдвижение захватного устройства

Шаг 11. Захват режущего инструмента

Шаг 12. Перемещение инструмента в шпиндель станка.

Шаг 13. Перемещение захватного устройства в исходное положение.

Шаг 14. Выдвижение шпинделя в "нулевую" точку

Исходное состояние элементов ГЕМ верха обробочної деталі типу "КРОНШТЕЙН"

Исходное положение формы и магнитной станка VA500

Исходное положение захватного устройства

Примеры схемы позиции обработки на станке мол. VA-500

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання випускної кваліфікаційної роботи на тему «Професійна підготовка фахівця машинобудівних підприємств з дослідження продуктивності і надійності обробки деталей типу «кронштейн» на верстаті VA 500 за рахунок імітаційного моделювання» було досягнуто мети дослідження — підвищення продуктивності ділянки механічної обробки шляхом застосування групових методів, оптимізації технологічного маршруту та використання засобів імітаційного моделювання.

У ході роботи було отримано такі основні результати:

1. Проведено аналіз конструктивних і технологічних особливостей деталей типу «Кронштейн», визначено їх типові ознаки, що дозволило обґрунтувати можливість застосування групових технологічних процесів у дрібносерійному виробництві.
2. Розроблено груповий технологічний процес механічної обробки деталей типу «Кронштейн» на вертикальному оброблювальному центрі VA-500. Запропонований маршрут уніфікує базування, скорочує кількість переналагоджень та допоміжний час, що забезпечує зростання ефективності виробництва.
3. Створено методику формування групових технологічних операцій, яка враховує геометричну та технологічну подібність деталей, що дозволяє об'єднувати їх у типові групи для спільної обробки.
4. Розроблено керуючу програму для обробки деталі типу «Кронштейн» на обробному центрі VA-500, що забезпечує автоматизацію процесу і стабільну якість виготовлення.
5. Виконано імітаційне моделювання виробничої системи, яке дало змогу визначити вузькі місця технологічного процесу, оцінити вплив параметрів партійності, часу підготовки та черговості операцій на продуктивність.
6. Обґрунтовано вибір технологічного оснащення і засобів автоматизованого транспортування (робота-маніпулятора), що забезпечують раціональну організацію виробництва в умовах гнучкої автоматизованої ділянки.
7. Проведено технологічну оцінку, за результатами якої підтверджено доцільність упровадження розробленого групового процесу. Отримано скорочення тривалості обробки, зниження собівартості та підвищення коефіцієнта використання обладнання. 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.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження розробленого групового технологічного процесу на ділянках механічної обробки дрібносерійного виробництва для деталей типу «Кронштейн». Це сприятиме підвищенню гнучкості виробництва, зменшенню часу переналагодження, економії ресурсів та зростанню конкурентоспроможності підприємства.

8. Розроблений дидактичний проєкт факультативного заняття, який забезпечує комплексний підхід до підготовки фахівців машинобудівних підприємств.