

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Віталій ІВАНОВ

_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності _____ 131 «Прикладна механіка» _____

освітньо-професійної програми _____ «Технологія машинобудування» _____

на тему: Удосконалення технологічного процесу виготовлення напрямного апарата НК 02.00.02.01 шляхом автоматизації вибору різального інструменту та режимів різання на механічних операціях

Здобувача групи _____ ТМ.мз-21с _____ Дремлюга Максим Станіславович _____
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Максим ДРЕМЛЮГА _____

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник _____ ст. викладач, канд. техн. наук Андрій ДОВГОПОЛОВ _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Консультант _____ ст. викладач кафедри прикладної екології та _____ природозахисних технологій, канд. техн. наук
з питань _____ Віра ФАЛЬКО _____
охорони праці _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер _____ доцент кафедри, канд. техн. наук, доцент, _____ Олександр ІВЧЕНКО _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Суми – 2023

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет

Інститут, факультет	<u>Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання</u>
Кафедра	<u>Технології машинобудування, верстатів та інструментів</u>
Освітній ступінь	<u>магістр</u> (назва)
Спеціальність	<u>131 – прикладна механіка</u> (шифр і назва)
Освітня програма	<u>технології машинобудування</u> (назва освітньої програми, за наявності)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Віталій ІВАНОВ

_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
ДО КВАЛІФІКАЙНОЇ РОБОТА СТУДЕНТА

Дремлюга Максим Станіславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технологічного процесу виготовлення
напрямого апарата НК 02.00.02.01 шляхом
автоматизації вибору різального інструменту та
режимів різання на механічних операціях

Керівник роботи Довгополов Андрій Юрійович канд. техн. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «30» листопада 2023 року за № 1381-VI

2. Строк подання студентом роботи «10» грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи креслення деталі прямого апарата
НК02.00.02.01

типовий технологічний процес деталі прямого апарата НК02.00.02.01

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Виконати аналіз службового призначення деталі прямого апарата НК02.00.02.01 та технології її оброблення

2. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі напрямний

3. Виконати підбір актуального обладнання на операції механічної обробки та автоматизований підбір ріжучого інструменту та режимів різання для обраних операцій

4. Провести віртуальний експеримент спрямований на дослідження оптимальних режимів при заданій шорсткості поверхні деталі

5. Експериментально дослідити вплив режимів різання на шорсткість, стійкість різального інструменту, температуру різання, силу різання та час оброблення для чистової токарної обробки.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи (проєкту)	Примітка
1	Вступ	25.09.2023	Виконано
2	Аналіз службового призначення деталі напрямний та технології її оброблення	10.09.2023	Виконано
3	Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі напрямний апарат	15.10.2023	Виконано
4	Формулювання загальних висновків	10.11.2023	Виконано
5	Підготовка доповіді	04.12.2023	Виконано
6	Підготовка презентації	05.12.2023	Виконано
7	Оформлення роботи	06.12.2020	Виконано

Студент

(підпис)

Максим ДРЕМЛЮГА

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Андрій ДОВГОПОЛОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра становить 81 сторінку, в тому числі 32 рисунки, 27 таблиць, бібліографії із 36 джерел на трьох сторінках, чотирьох додатків на 17 сторінках.

Актуальність теми. Деталь напрямний апарат «НК 02.00.02.01» є частиною робочого колеса насоса консольного НК 16/70. Даний насос застосовується для перекачування рідин і газів в нафтовій та газовій галузях. Основною задачею технології машинобудування, як галузі інженерного знання є вдосконалення або розробка ефективних технологічних процесів механічної обробки, що враховують сучасні надбання науки та техніки. Одним з можливих шляхів вдосконалення технологічного процесу механічної обробки деталі напрямний апарат «НК 02.00.02.01» є застосування більш ефективного ріжучого інструменту, оптимізації режимів обробки у відповідності до найбільшої продуктивності обробки, що є актуальною інженерно технічною задачею.

Мета роботи. Провести удосконалення технологічного процесу виготовлення напрямного апарата НК 02.00.02.01 шляхом автоматизації вибору різального інструменту та режимів різання на механічних операціях.

Методи дослідження. При виконанні дипломного проекту були використані фундаментальні положення технології машинобудування, визначення приписку за методом професора Кована, автоматизований підхід при визначенні різальних пластин та різців у середовищі програми Sandvik Tool Guide, планування експерименту за методом Тагуча. Було проведено віртуальний експеримент у середовищі програми емулятора процесу точіння Start. Обробка отриманих результатів була виконана на основі дисперсійного аналізу .

Наукова новизна одержаних результатів: на основі дисперсійного аналізу було отримано графіки основних впливів режимів різання на шорсткість, стійкість різального інструменту, температуру різання, силу різання та час оброблення для чистової токарної обробки.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що на основі експериментальних досліджень сформульовані рекомендації, для виконання

автоматизованого підбору ріжучого інструменту та режимів обробки, виконано раціоналізацію режимів обробки при точінні напрямного апарата «НК 02.00.02.01», забезпечення більшої стійкості інструменту та підвищення продуктивності та забезпечення шорсткості на чистовій токарній операції.

НАПРЯМНИЙ АПАРАТ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ, ТОКАРНА ОПЕРАЦІЯ, ТОЧІННЯ, ШОРСТКІСТЬ, ОБРОБЛЕННЯ

ABSTRACT

The master's thesis consists of 81 pages, including 32 figures, 27 tables, a bibliography of 36 sources on three pages, four appendices on 17 pages.

The purpose of the work. Improvement of the technological process of manufacturing guide device НК 02.00.02.01 by automated selection of cutting tool and cutting parameters on the machining operation

To achieve this goal, the following **tasks** were set and solved: 1) perform an analysis of the typical manufacturing process of the part, identify its shortcomings; 2) to develop a promising technological process of manufacturing the part; 3) perform selection of relevant equipment for machining operations and automated selection of cutting tools and cutting modes for selected operations; 4) conduct a virtual experiment aimed at researching optimal modes at a given surface roughness of the part; 5) investigate the influence of cutting modes on the factors and conditions of cutting during turning;

The object of study - the technological process of manufacturing the part, the guide device "НК 02.00.02.01", turning operation with the CNC.

The subject of study - cutting tool, cutting modes and their influence on factors during finishing turning, rationality of analytically calculated modes.

Scientific novelty: during the implementation of the master thesis, an automated selection of cutting tools and cutting modes for mechanical operations was performed. As a result of the experimental research, models of the dependence of the cutting forces were obtained, which allowed to determine the rational cutting mode for the finishing turning of the surface at given roughness.

GUIDE DEVICE, TECHNOLOGICAL PROCESS, CUTTING TOOL, TURNING OPERATION, TURNING, ROUGHNESS, MACHINING

ЗМІСТ

.....	с.
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	11
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис їх конструктивних особливостей та умов експлуатації.....	11
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення.....	13
1.3 Характеристика типу та організаційної форми виробництва.....	14
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	15
1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі.....	16
1.6 Висновок та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	17
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ	18
2.1 Літературний огляд по механічній обробці сталі 20Х13	18
2.2 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального	25
2.3 Обґрунтування способу отримання, розрахунок та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної заготовки	26
2.4 Розрахунок припусків на оброблення поверхні обертання	31
2.5 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки	34
2.6 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів	39
2.7 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів	42
2.8 Визначення режимів різання та технічне нормування операцій.....	47

2.10 Висновок.....	50
3 ДОСЛІДЖЕННЯ СПРЯМОВАНЕ НА УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ	51
3.1 Методологія дослідження та планування експерименту	51
3.2 Експериментальне дослідження	55
3.3 Обрунтування вибору різального інструменту та режимів на основі результатів експерименту	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	63
Додаток А ЗАЯВА ТА ІНФОРМАЦІЙНА ДОВІДКА	66
Додаток Б КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ	69
Додаток В КРЕСЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ.....	71
Додаток Г РОЗРАХУНОК ПРИПУСКІВ НА ДІАМЕТРАЛЬНІ РОЗМІРИ.....	73
Додаток Д ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	75

ВСТУП

Актуальність теми. Деталь напрямний апарат «НК 02.00.02.01» є частиною робочого колеса насоса консольного НК 16/70. Даний насос застосовується для перекачування рідин і газів в нафтовій та газовій галузях. Також даний насос може застосовуватись у системах водопостачання та водовідведення для перекачування води, що робить можливим його застосування у побутових галузях [1,2]. Оскільки насоси типу НК є достатньо поширеними у різноманітних сферах, потреба галузей економіки та попит на обслуговування та ремонт деталей та вузлів даного типу насосів є достатньо високою. Це в свою чергу створює попит на дослідження та оптимізацію процесів пов'язаних з виготовленням необхідних деталей та вузлів. Щоб задовольнити наявний попит необхідно спрямовувати дослідження на процеси техніко-економічної оптимізації, в тому числі і процесів механічної обробки деталей. Крім того необхідного ефекту можна досягнути за рахунок створення перспективних та прогресивних технологічних процесів виготовлення деталі, що містять у собі застосування нового обладнання, більш прогресивних методів обробки, оптимізації методів отримання заготовки, застосування більш ефективного ріжучого інструменту, оптимізації режимів обробки у відповідності до найбільшої продуктивності обробки [3]. Також мають місце вдосконалення процесів пов'язаних з формоутвореннями виробів та зміною фізико-механічних властивостей матеріалу деталі [3,4]. Все це визначає спектр перспективних досліджень метою яких є вирішення вищезазначених завдань. Автоматизація вибору різального інструменту та режимів різання на механічних операціях є достатньо актуальним питанням для досліджень, оскільки дозволяє вирішити одразу декілька важливих аспектів пов'язаних з оптимізацією технологічних процесів. Автоматизації підбору інструментів та режимів можна досягти шляхом використання сучасного програмного забезпечення, чим в свою чергу можна підвищити економічну ефективність процесів механічної обробки деталей.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення деталі напрямний апарат «НК 02.00.02.01», токарна операція з ЧПК.

Предмет дослідження – ріжучий інструмент, режими різання та їх вплив на фактори в ході чистової токарної обробки, раціональність аналітично розрахованих режимів.

Мета дослідження. Удосконалення технологічного процесу виготовлення напрямного апарата «НК 02.00.02.01» шляхом автоматизації вибору різального інструменту та режимів різання на механічних операціях

Завдання дослідження:

- 1) виконати аналіз типового технологічного процесу виготовлення деталі, встановити його недоліки;
- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі;
- 3) виконати підбір актуального обладнання на операції механічної обробки та автоматизований підбір ріжучого інструменту та режимів різання для обраних операцій;
- 4) провести віртуальний експеримент спрямований на дослідження оптимальних режимів при заданій шорсткості поверхні деталі;
- 5) дослідити вплив режимів різання на шорсткість, стійкість різального інструменту, температуру різання, силу різання та час оброблення для чистової токарної обробки.

Методи дослідження. Основними методами дослідження були теоретичні та практичні положення технології машинобудування і теорії різання. Розрахунок припусків заготовки виконувався автоматизованим способом з використанням ЕОМ. Автоматизований підбір інструменту та режимів виконувався з застосуванням ЕОМ та програми Sandvik Caromant «ToolGuide». В основі експерименту використовувався масив Тагучі. Для проведення експерименту використовувалося програмне забезпечення «Start». Для визначення залежності факторів від режимів застосовувався метод дисперсійного аналізу (ANOVA).

Наукова новизна одержаних результатів: в ході виконання дипломного проекту було виконано автоматизований підбір ріжучого інструменту та режимів різання для механічних операцій. В результаті експериментального дослідження було

отримано моделі залежності сил різання, що дозволило визначити раціональний режим різання для чистової токарної обробки поверхні при заданій шорсткості.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що на основі експериментальних досліджень сформульовані рекомендації, для виконання автоматизованого підбору ріжучого інструменту та режимів обробки, виконано раціоналізацію режимів обробки при точінні напрямного апарата «НК 02.00.02.01», забезпечення більшої стійкості інструменту та підвищення продуктивності та забезпечення шорсткості на чистовій токарній операції.

Особистий внесок магістранта. Магістрантом виявлено недоліки типового технологічного процесу виготовлення напрямного апарата «НК 02.00.02.01». Запропоновано нововведення, що включають в себе удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі. Виконано автоматизований підбір інструменту та режимів різання. Досліджено вплив режимів швидкості та подачі на фактори різання при токарній обробці. Сформульовано рекомендації щодо підвищення продуктивності.

Апробація роботи. Немає.

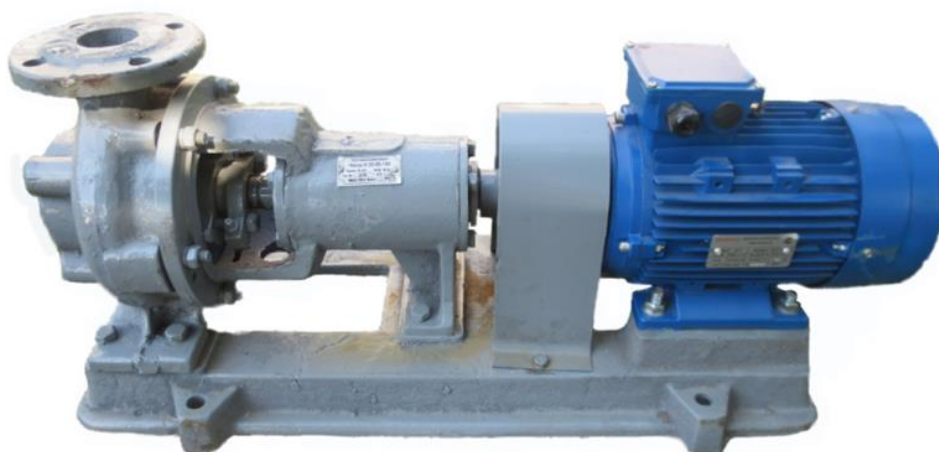
Публікації. Немає.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис їх конструктивних особливостей та умов експлуатації

Деталь направляючий апарат «НК 02.00.02.01» є частиною робочого колеса насосу типу «НК» та відноситься до вузла «Корпус насосу».

Консольні насоси активно використовуються для перекачування рідин та газів. Основними галузями застосування цього типу насосів є нафтогазова та хімічні промисловості, де насоси застосовуються для перекачування нафти, газу, хімічних реагентів та різноманітних рідких речовин виробничих процесів. Крім того насоси НК можуть застосовуватись у системах водопостачання та водовідведення для перекачування води.



Джерело: <https://fairway.com.ua/>

Рисунок 1.1 – Насос консольний типу НК

Насоси типу НК можуть мати в конструкції один або два валу, що розташовані спереду або збоку консолі. Для перекачування невеликих обсягів рідин застосовують насоси з одним валом. Для перекачування більших об'ємів використовують насос з двома валами.

Робоче колесо - барабан, який складається з двох дисків і перегородок, що розміщені під певним кутом. Барабан розміщений в порожнині і приводиться в дію за допомогою валу, підшипниковий вузол якого захищений від рідини всередині порожнини. Таким чином, барабан (ротор) консольно закріплений на валу всередині корпусу насоса. У порожнині, в якій знаходиться крильчатка насоса, є два отвори - один з протилежного боку вала (посередині, біля осі вала), а інший - по колу корпусу. Перший отвір служить для подачі робочої рідини до робочого колеса консольного насоса, другий для відведення рідини під тиском.

Направляючий апарат консольного насосу являє собою кільце, яке охоплює з робоче колесо. 3D модель направляючого апарату «НК 02.00.02.01» зображено на рисунку 1.2

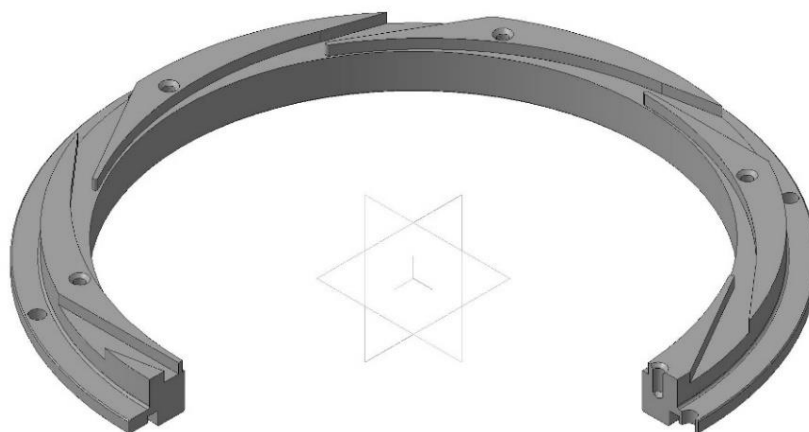


Рисунок 1.2 – 3D модель направляючого апарату «НК 02.00.02.01»

Направляючий апарат використовується для зменшення швидкості рідин, які виходять з робочого колеса. Під час процесу кінетична енергія потоків рідин частково переходить в енергію тиску: тиск на виході з направляючого апарату завжди більше, ніж при вході в нього.

1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення

Деталь «Направляючий апарат» - тіло обертання відношення довжини якої становить l до діаметру $d - \frac{l}{d} = \frac{23}{295} = 0.077 < 1$, маса деталі становить – 2,58 кг.

Проаналізуємо креслення деталі. На кресленні присутні наступні технічні вимоги до деталі, згідно з якими:

1) *Розмір забезпечити інструментом – згідно цієї вимоги вказані розміри (розмір каналу) необхідно забезпечити під час обробки діаметром ріжучого інструменту (фрези).

2) Невказаний розмір фасок 0,5x45 – фаски, розмір яких не вказаний на кресленні повинні бути виконані не менш ніж з вказаним розміром.

3) Невказані граничні відхилення розмірів: H14, h14, ± IT14/2. Розміри з вказаним квалітетом не вимагають точної обробки. Щоб отримати необхідний допуск не потрібно виконувати чистову операцію, оскільки дані розміри оброблюються на чорновій операції, це в свою чергу підвищує технологічність деталі, зменшує час обробки і знос інструменту.

4) Твердість HB 126...197 – ця вимога визначає твердість деталі в діапазоні від 126 до 197 по Брінелю. Необхідну твердість можна досягти шляхом гартування та відпалу заготовки після заготівельної операції, це необхідно для зменшення напруги металу та покращення оброблюваності заготовки.

5) Матеріал заміник: 12X13, 14X17H2 – задана вимога зазначає, що матеріал деталі (сталь 20X13) може бути при необхідності замінений заміниками, у тому випадку, якщо потрібного матеріалу нема в наявності на виробництві, але є зазначені аналоги, що відповідають заданим умовам експлуатацій деталі, та не будуть впливати на функціональність.

Виконаємо аналіз та розшифровку допусків форм та розташування зображених на кресленні:

↗	0,04	A
---	------	---

Допуск торцевого биття становить 0,04мм.

↗	0,03	A
---	------	---

 Допуск торцевого биття становить 0,03мм.

⊕	0,25	A
---	------	---

 Позиційний допуск становить 0,25мм.

Якщо не дотриматись заданих допусків форм та розташування, можуть У разі невиконання заданих вимог можуть виникнути проблеми збирання вузла, що може призвести до браку деталі та неможливого застосування деталі та вузла по технологічному призначенню.

1.3 Характеристика типу та організаційної форми виробництва

Для визначення типу виробництва необхідні річний обсяг випуску та маса деталі. З річною програмою випуску $N_p = 2000$ шт та з масою деталі 2,58 кг тип виробництва буде відповідати дрібносерійному.

Серійне виробництво - це виробництво, у якому виготовлення виробів проводиться серіями або партіями, котрі складаються з однойменних та однотипних за конструкцією і розмірами виробів, запущених у виробництво одноразово. Залежно від кількості, характеру, інтенсивності роботи і частоти повторення серій продукції в серії виробництво протягом року поділяється на дрібносерійне, середньосерійне і крупносерійне. Дрібносерійне виробництво характеризується обмеженою номенклатурою продукції, що випускається періодично повторюваними партіями, і відносно великим обсягом випуску. Коефіцієнт закріплення операцій становить 20 - 40. У цьому типі виробництва активно використовується універсальне обладання та верстати з ЧПК. Застосовується універсальний і спеціальний ріжучий інструмент. В якості вимірювального інструменту застосовуються як калібри так і спеціальний вимірювальний інструмент. Верстатний парк повинен бути спеціалізований настільки, щоб можна було переходити від виробництва однієї серії деталей до виробництва іншої серії, децю відмінної в конструктивному відношенні.

Розрахункову кількість деталей у партії розраховуємо за формулою:

$$N = \frac{N \cdot a}{259} \quad (1.1)$$

де $a = 24$ дні – періодичність запуску деталей у виготовлення [1]

$$N_{\text{парт.р}} = \frac{2000 \cdot 24}{259} = 185 \text{ шт.}$$

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Удосконалення технологічності конструкції дозволяє зменшити трудомісткість і собівартість виробництва деталі. Беручи до уваги призначення деталі, ми не зможемо спростити елементи конструкції деталі, оскільки це може призвести до неможливості застосування направляючого апарату за призначенням.

Проведемо якісну оцінку технологічності конструкції деталі:

- Більша кількість оброблюваних поверхонь деталі вже мають оптимальні значення точності і шорсткості;
- Щоб отримати всі необхідні розміри та значення допусків поверхонь цілком достатньо застосування лише стандартизованого ріжучого інструменту.
- Конфігурація контуру деталі проста, це дозволяє забезпечити достатньо вільний доступ ріжучого інструменту під час процесу обробки на всіх механічних операціях;

Найбільш точними розмірами деталі є канавка d265f7 що відповідає 7 квалітету точності, та 6 різьбових отворів М6-7Н, що так само відповідає 7 квалітету. Мінімальним значенням шорсткості деталі є значення Ra 1,6. Вищезазначені значення допусків та шорсткість можна забезпечити на верстатах з нормальною точністю.

Виходячи з функціонального призначення деталі і аналізу технічних вимог, та обраного матеріалу можна зробити наступні висновки: призначені конструктором розмірна і геометрична точність забезпечать нормальну роботу механізмів, а використовуємий матеріал деталі цілком задовольняє необхідним вимогам.

1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі

Проведемо аналіз базового технологічного процесу, що використовувався для виробництва деталі направляючий апарат на підприємстві. У базовому процесі послідовність операцій технологічного процесу цілком відповідає загальноприйнятим. Технологічний процес виготовлення деталі та обладнання операції наведено в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Базовий технологічний процес

№ операції	Найменування операції	Обладнання
005	Заготівельна	-
010	Термічна	Піч термічна
015	Токарна	Верстат 16A20
020	Токарна	Верстат 16A20
025	Токарна	Верстат 16A20
030	Контроль ВТК	Стіл ВТК
035	Токарна	Верстат 16A20
040	Контроль ВТК	Стіл ВТК
045	Фрезерна з ЧПК	ГФ2171Ф3
050	Слюсарна	Верстак слюсарний
055	Контроль ВТК	Стіл ВТК

У базовому технологічному процесі є ряд недоліків. Застосовується застаріле обладнання, що є неекономічним та низькопродуктивним. Застаріле обладнання не дозволяє виконати високопродуктивну обробку та застосувати більш новий та продуктивний ріжучий інструмент. На операціях базового процесу не вказані пристрої та устаткування які використовуються на операціях. Пристрої та устаткування застарілі і неефективні та не дають достатньо продуктивності. Сучасні верстати є більш продуктивними, тому їх можна використовувати замість застарілих радянських верстатів. Що стосується базування деталі, то можна сказати, що її зовнішні поверхні та торці мають постійні базові поверхні, тому деталь може оброблятися стандартними пристроями без використання спеціальних.

1.6 Висновок та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

Отже, в ході виконання дипломного проекту потрібно виконати наступні завдання:

- Обрати заготовку та метод її отримання, який буде відповідати типу виробництва та буде максимально економічно вигідним.
- Оптимізувати технологічний процес виготовлення деталі, обрати доцільний маршрут обробки деталі;
- Замінити застаріле обладнання на сучасне та продуктивніше, що дозволить підвищити продуктивність обробки деталі;
- Обрати більш продуктивний ріжучий інструмент;
- Провести підбір та оптимізацію режимів різання під час механічної обробки деталі;
- Розрахувати норми часу для механічних операцій.
- Виконати експериментальне дослідження впливу режимів різання на шорсткість обробленої поверхні, силу різання, температура різання, стійкість інструменту, час оброблення

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Літературний огляд по механічній обробці сталі 20X13

2.1.1 Огляд матеріалу деталі

Сплави з нержавіючої сталі (SS) знаходять широке застосування в багатьох галузях промисловості, таких як аерокосмічна промисловість, виробництво медичних пристроїв, трубопровідна, автомобільна, штампова та інструментальна промисловість.) Додавання таких елементів, як хром, нікель, вуглець, молібден, мідь, азот, алюміній, сірка та селен, може змінити корозійну стійкість, міцність, пластичність, оброблюваність та стабільність фаз у сплавах SS [2, 3]. Окрім загальних застосувань, нержавіюча сталь також може бути використана для цілей високої твердості та міцності [4] завдяки своїй відносно високій міцності, низькій щільності та видатним корозійним характеристикам.

Сталь 20X13 відноситься до корозійно-стійких жароміцних сталей. 20X13 засовується для виробів, котрі піддаються впливам різноманітних слабо агресивних середовищ (в атмосферних умовах, крім морських та водних розчинів, різноманітних солей і органічних кислот при кімнатній температурі, розчинів азотних кислот слабкої та середньої концентрацій, при помірних температурах, тощо), для випадків, коли деталям необхідно мати достатньо високу міцність та водночас достатній запас пластичності і ударної в'язкості. Також сталь 20X13 можна використовувати в якості жароміцного матеріалу при температурі до 450-550 ° C та у якості жаростійкого - до 700 ° C.

Сталь 20X13 достатньо технологічна під час гарячої пластичної деформації. Для деформації даної сталі найбільш доцільно використовувати такі інтервали: початок 1100 ° C, кінець 875-950 ° C, нагрів для прокату та ковки виконують повільно до 780 ° C, після деформацій доцільно використовувати повільне охолодження. Характеристики сталі 20X13 зображено у таблицях 2.1-2.3.

Аналогами сталі 20X13 є такі сталі як S42000, AISI 420, 1.4021, X20Cr13, X30Cr13, SUS 420 J1, 2Cr13, 2H13, 17022.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 20X13 ГОСТ 25054-81, у відсотках

C	Cr	Fe	Mn	P	S	Si
0,16-0,25	12-14,0	Осн.	≤0,8	≤0,030	≤0,025	≤0,8

Таблиця 2.2 – Фізичні властивості сталі 20X13 ГОСТ 25054-81

T, Град	E 10⁻⁵, МПа	λ, Вт/(м·град)	R, кг/м ³	C, Дж/(кг·град)	R 10⁹, Ом·м
20	2.18	23	7670	–	588

Таблиця 2.3 – Механічні властивості сталі 20X13 ГОСТ 25054-81

σ_B, МПа	σ_T, МПа	σ₅, %	Ψ, %
630	400	14	40

Сталь 20X13 має не дуже задовільну оброблюваність, але її вибір передумовлений середою використання деталі та умовами її експлуатації.

2.1.2 Інструментальні матеріали для обробки сталі 20X13

Для точіння обробки сталі 20X13 застосовують такі матеріали – як тверді сплави, кераміка та кубічний нітрид бору. [5, 6].

Твердий сплав (WC-Co) є найпоширенішим у промисловості матеріалом для ріжучих інструментів. Більше 65% всього виробленого твердого сплаву використовується для обробки металу [5]. Перевагами цього виду ріжучого матеріалу є відносно низька вартість, висока міцність і теплопровідність. Використання твердих сплавів вище рекомендованих подачі та швидкості різання зменшує довговічність інструменту [7], роблячи його використання неактуальним для високошвидкісного

точіння. Проте навіть зараз він займає велику нішу в токарній обробці за рахунок своєї дешевизни та універсальності. Більш доцільним є застосування даного типу інструменту з різноманітними покриттями, встановлено що оптимальні значення сили різання та шорсткості поверхні можна отримати використовуючи твердий сплав щ покриттям TiC [8]

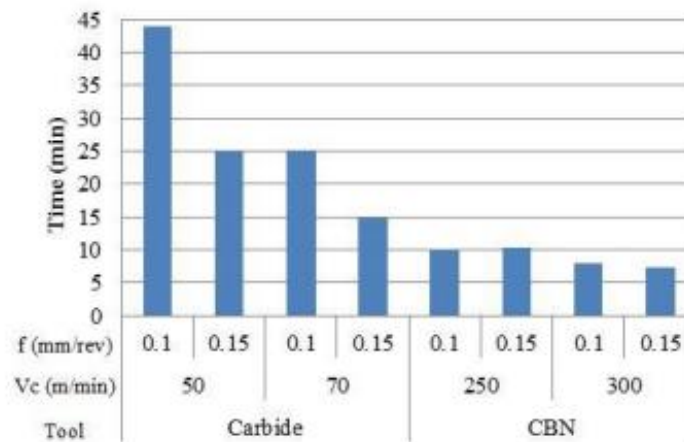


Рисунок 2.2 – Час стійкості інструменту з Карбиду та Нітриду бору (CBN) [9].

Кубічний нітрид бору (CBN) є одним із найтвердіших матеріалів. Його твердість менша, ніж у синтетичних алмазів, але він має кращі температурні та хімічні властивості. Зазвичай цей матеріал використовується для чорнової обробки загартованих сплавів і чавуну. CBN має високу теплопровідність, гарячу твердість і термостійкість. Однак продуктивність CBN інструментів ще потребує покращення через надзвичайно високу вартість виробництва, яка приблизно в десять разів перевищує вартість звичайних твердосплавних або керамічних інструментів [9].

Доцільним способом підвищення економічної продуктивності використання даного виду матеріалу є нанесення покриттів. Використання покриття AlCrN збільшує вартість пластини лише на 2-3%, але знижує силу різання на 10%-12%, знос бокової поверхні до 15% і покращує шорсткість поверхні до 10% [10].

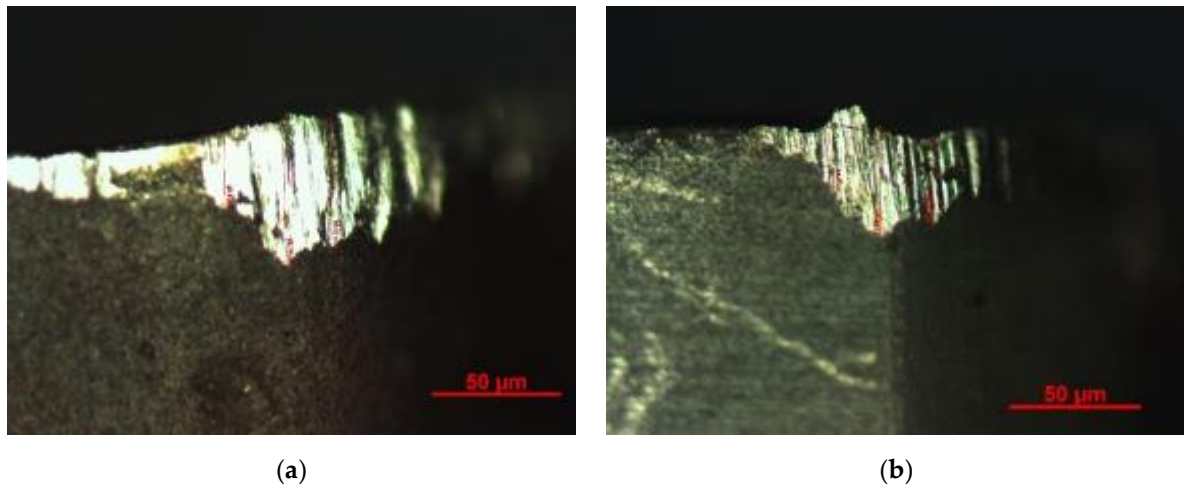


Рисунок 2.3 – Знос передньої поверхні: (а) пластина CBN без покриття; (б) пластина CBN з покриттям [10].

Керамічні ріжучі інструменти в основному використовуються для обробки твердих матеріалів у промисловості завдяки своїм унікальним механічним властивостям. Стійкість до високих температур керамічних інструментів робить їх придатними для високошвидкісної обробки матеріалів із стійкістю до стирання та корозії, високою твердістю та низькою хімічною спорідненістю. Порівняно з твердосплавними інструментами вони мають довший термін служби [11, 12]. Незважаючи на свої властивості, він поступається в універсальності твердосплавному інструменту.

2.1.3 Фактори що впливають на процес обробки

Параметри різання мають значний вплив на процес обробки будь-якого матеріалу

Швидкість різання (v_c) м/хв – це швидкість руху поверхні заготовки відносно ріжучої кромки. Швидкість різання впливає на продуктивність обробки та довговічність інструменту, шорсткість обробленої поверхні [13], вібрацію та потужність [14]. Крім того, швидкість різання впливає на утворення стружки. Під час обробки збільшення швидкості різання, у свою чергу, збільшує коефіцієнт тертя на межі стружка-інструмент, що додатково підвищує температуру різання. Щільно

скручена спіральна стружка утворюється при найвищій швидкості різання, тоді як скручена стружка утворюється при нижчій швидкості різання. Також подача впливає на шорсткість підлоги, енергоспоживання, вібрацію. Підвищення рівня швидкості різання загалом викликало збільшення шорсткості та вібрації, тоді як енергоспоживання зменшувалося зі збільшенням швидкості різання [14]. Збільшення швидкості різання призводить до збільшення зносу. При порівнянні швидкостей різання 60/90/120 м/хв найбільший знос твердосплавних інструментів спостерігався при 120 м/хв, тоді як для керамічних і CBN інструментів знос зменшувався зі збільшенням швидкості різання (90 – 120 м/хв) [15].

Глибина різання (a_p) – це кількість припуску, що знімається за один прохід. Глибина різання впливає на такі фактори, як продуктивність обробки, сили різання [5, 14], потужність і довговічність інструменту. Збільшення глибини різання значно скорочує ресурс інструменту [14]. Вплив глибини різання на шорсткість поверхні незначний [16]. Визначено, що швидкість подачі істотно впливає на стружкоутворення, якість обробленої поверхні та потужність обробки. Збільшення швидкості подачі призводить до підвищення потужності обробки за рахунок збільшення товщини матеріалу, що розрізається [12].

Швидкістю подачі (f) називають величину переміщення інструменту щодо оброблюваної деталі або деталі відносно інструменту в напрямку руху подачі за певний проміжок часу. У деяких дослідженнях повідомлялося, що швидкість подачі значно впливає на силу різання у порівнянні з швидкістю різання. Вплив швидкості подачі на зусилля становить 93,75% для основної сили різання, 75,26% для сили подачі та 32,28% для радіальної сили різання. Крім того, швидкість подачі впливає на шорсткість обробленої поверхні на 88,05%. Проте вплив швидкості подачі на температуру різання визначено як мінімальний, лише 0,37% [14]. Менша шорсткість поверхні реєструється при меншій швидкості подачі. Збільшення швидкості подачі призводить до підвищення адгезії та нарощення, що супроводжується збільшенням коливань [7].

2.1.4 Вплив геометрії ріжучого інструменту при обробці сталі 20X13

Геометрія ріжучої пластини має значний вплив на утворення стружки, силу різання та шорсткість поверхні. У статистичному дослідженні ознак були проаналізовані розподіли кута різання інструменту, кута зазору, переднього кута та радіуса кута.

Кут різання інструменту – це кут між проекцією головної різальної кромки на основну площину і напрямком подачі. Цей кут впливає на формування стружки, форму, напрямок її підйому та товщину.

Задній кут - це кут між верхньою поверхнею ріжучої пластини та поверхнею заготовки. Цей кут впливає на формування стружки, температуру та довговічність інструменту. Залежно від типу матеріалу, що обробляється, кут зазору може бути позитивним, нейтральним або негативним. Найбільш поширені кути зазору 0° і позитивний кут 7° в 18% випадків.

Використання нейтрального кута зазору може зменшити силу різання. Позитивний кут зазору допомагає зменшити тертя між пластиною та деталлю, що знижує температуру різання та збільшує термін служби інструменту.

Передній кут відіграє важливу роль у визначенні сили різання, впливаючи на передні кути під час процесу різання. Більші передні кути мають тенденцію до зменшення сили різання [17].

Радіус кута пластини - це округлення кута верхньої частини різальної пластини. Радіус кута істотно впливає на шорсткість обробленої поверхні [5, 18], а також на стійкість різального інструменту під час обробки. Більший радіус використовується для високої швидкості подачі та більшої глибини різання, оскільки він має міцнішу ріжучу кромку. Менший радіус використовується для меншої глибини різання та допомагає зменшити вібрацію, але він має меншу передову міцність. У процентному співвідношенні радіуса, подачі та охоплення інструменту вплив на якість обробленої поверхні деталі становить відповідно 77%, 19% та 4%. Менший радіус кута призводить до меншої шорсткості поверхні [5, 18]. Цей висновок було перевірено в

інших дослідженнях, в яких було визначено, що радіус кута 0,4 мм забезпечує нижчу температуру різання при точінні Inconel 718 інструментами з SiN і CBN [18].

Можна побачити, що найпоширеніші значення радіуса кута пластини становлять 0,8 мм у 54% випадків і 0,4 мм у 19% випадків. Це пов'язано з тим, що дані значення радіуса є найбільш універсальними при механічній обробці. Можна підсумувати, що найпоширенішою геометрією при обробці Inconel 718 є: кут різання інструменту - 95° , кут зазору - 0° , передній кут - 0° , радіус кута 0,8 мм.

2.1.4 Вплив покриття ріжучого інструменту на процес обробки різанням

Покриття на ріжучих інструментах надзвичайно важливі, оскільки вони безпосередньо впливають на взаємодію між ріжучим інструментом і утворенням стружки під час операцій обробки. Для підвищення зносостійкості і запобігання прилипання при підвищених температурах різання на ріжучі інструменти наносять різні види покриттів. Покриття також діють як теплові бар'єри, що призводить до зменшення кількості тепла, що передається в ріжучому інструменті [14].

Інструменти з покриттям мають складну структуру матеріалу, що складається з основи, покритої твердим, антифрикційним, хімічно інертним і теплоізоляційним шаром товщиною приблизно від одного до кількох мікрометрів. Таким чином, порівняно з інструментами без покриття, інструменти з покриттям забезпечують кращий захист від механічних і термічних навантажень, зменшують тертя? взаємодія інструмента та стружки та покращення зносостійкості в широкому діапазоні температур різання [6].

Для ріжучого інструменту, який використовується для обробки сталі 20X13, найпоширенішими методами покриття є метод хімічного осадження з парової фази (CVD) і метод фізичного осадження з газової фази (PVD). Також використовується метод помірної температури (MT-CVD).

2.2 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

Основними даними для цього етапу є знання про типові маршрути обробки поверхонь, або груп поверхонь. Укрупнені операції часто включають переходи, які не можливо виконати за один установ. Для цього необхідно прийняти рішення про принцип подальшого проектування: диференціацію чи концентрацію побудови операцій.

У процесі проектування маршрутного технологічного процесу необхідно враховувати наступні фактори:

- Рекомендується проектувати технологічні процеси за принципом поетапності, тобто виконувати чорнові операції, а потім чистові операції;
- У першу чергу обробляють бази для наступних операцій, а потім обробляють поверхні з найбільшим припуском і напуском, оскільки використовуються форсовані режими різання, що вимагає великих сил різання;
- Обробляються поверхні, на яких можуть бути дефекти заготовки;
- В останню чергу обробляється найбільш точна поверхня.

Базовий технологічний процес виготовлення деталі «Направляючий апарат» є цілком логічним і послідовним у плані технологічного маршруту виготовлення, який детально розглянуто в пункті 1.5. Токарні операції не можна об'єднати, оскільки деталі закріплюються різними способами: на операціях 015 Токарна та 025 Токарна на розжим, а на операціях 020 Токарна та 035 Токарна на зажим

Для забезпечення принципу поетапності обробки ми не можемо змінити хід обробки деталі та поєднати дані установи (чорновий 015 та чистовий 025, чорновий 020 та чистовий 035). Отже, ми вибираємо базовий маршрут обробки деталі, який найкраще підходить для конкретної деталі. Однак замінюємо токарні операції на токарні операції з ЧПК. Прийнятий технологічний процес виготовлення деталі направляючий апарат зображено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Прийнятий технологічний процес обробки деталі «Направляючий апарат»

№ операції	Найменування операції
005	Заготівельна
010	Термічна
015	Токарна з ЧПК
020	Токарна з ЧПК
025	Токарна з ЧПК
030	Контроль ВТК
035	Токарна з ЧПК
040	Контроль ВТК
045	Фрезерна з ЧПК
050	Слюсарна
055	Контроль ВТК

2.3 Обґрунтування способу отримання, розрахунок та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної заготовки

Техніко-економічні показники технологічного процесу виготовлення деталі значною мірою залежать від методу отримання заготовки. Правильний підбір методу отримання заготовки дозволяє зменшити трудомісткість механічної обробки, підвищує коефіцієнт використання матеріалів і зменшує матеріаломісткість конструкції. Матеріал деталі, його призначення, вимоги до виготовлення та конфігурація, форма поверхонь і розміри впливають на вибір методу отримання заготовки. Визначимо вимоги до заготовок, оброблених на металорізальних верстатах:

Заготовка повинна бути максимально наближеною по формі та розмірам до деталі, щоб зменшити її собівартість і коефіцієнт використання матеріалу.

Для першої механічної операції чорні поверхні повинні бути рівними та без будь-яких ливарних ухилів або штрихів. Аналіз креслення деталі, матеріалу, технічних вимог до виготовлення, габаритів, маси та об'єму випуску та техніко-економічне порівняння різних варіантів отримання дозволяє визначати вид заготовки.

Для ефективного вибору заготовки необхідно одночасно враховувати всі вищезгадані фактори..

Використовуючи літературу [1] проведемо розрахунки заготовки.

Порівняємо два варіанти отримання заготовки:

- кування на молотах;
- штампування на КГШП

Визначимо вартість заготовки за формулою:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{отх}}}{1000} \quad (2.1)$$

де C_i - базова вартість однієї тони заготовок, грн;

K_T - коефіцієнт, що залежить від класу точності заготовки;

K_C - коефіцієнт, що залежить від групи складності заготовки;

K_B - коефіцієнт, що залежить від маси заготовки;

K_M - коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу;

K_n - коефіцієнт, що залежить від обсягу виробництва;

Q - маса заготовки;

q - маса деталі;

$S_{\text{отх}}$ - вартість однієї тонни відходів, грн.

Коефіцієнти обираємо за літературою [1].

Для заготівлі, отриманої куванням:

- $C_i = 90000$ грн/т;
- $K_T = 1$ [1];
- $K_C = 1$ [1];
- $K_B = 0.78$ [1];
- $K_M = 1.21$ ([1], с.37);
- $K_n = 1$ ([1], с.38);
- $Q = 5,74$ кг,
- $q = 2,58$ кг,
- $S_{\text{отх}} = 9000$ грн/т.

Вартість заготовки, отриманої куванням на молотах:

$$S_{\text{заг}} = (90 \cdot 5.74 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.78 \cdot 1.21 \cdot 1) - (5.57 - 2.58) \cdot 6 = 469.62 \text{ грн}$$

Для заготовки, отриманої штампуванням:

- $C_i = 90000$ грн / т,
- $K_T = 1$ ([1], с.37);
- $K_c = 1$ ([1], с.38);
- $K_B = 0.78$ ([1], с.38);
- $K_M = 1.21$ ([1], с.37);
- $K_{\Pi} = 1$ ([1], с.38);
- $Q = 5,58$ кг.

Вартість заготовки, отриманої штампуванням:

$$S_{\text{заг}} = (90 \cdot 5.36 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.78 \cdot 1.21 \cdot 1) - (5.36 - 2.58) \cdot 6 = 438.60 \text{ грн}$$

Оскільки вартість заготовки, отриманої методом штампування є меншою ніж вартість заготовки яка отримана методом кування, в якості способу отримання заготовки для деталі «направляючий апарат» приймаємо штампування.

Використовуючи ГОСТ 7505-89, виконаємо розрахунки:

- Заготовка вироблена методом КГШП, отже клас точності заготовки – Т3.
- Група сталі заготовки – М1.
- Ступінь точності – С (визначаємо в залежності від відношення $\frac{M_3}{M_{\phi}}$.)

де M_3 – розрахункова маса заготовки.

$$M_3 = M_d \cdot K_p \quad (2.2)$$

де M_d – маса деталі;

$K_p \approx 1.6$ – розрахунковий коефіцієнт

$$M_3 = 2,58 \cdot 1,6 = 4,12 \text{ кг}$$

M_{ϕ} – маса описуваної фігури.

$$M_{\phi.n} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L \cdot \rho \quad (2.3)$$

$$M_{\phi.1} = \frac{3.14 \cdot 301^2}{4} \cdot 15 \cdot 7,8 = 8,32 \text{ кг}$$

$$M_{\phi.2} = \frac{3.14 \cdot 279^2}{4} \cdot 13 \cdot 7,8 = 6,19 \text{ кг}$$

$$M_{\phi.3} = \frac{3.14 \cdot 231^2}{4} \cdot 28 \cdot 7,8 = 9,14 \text{ кг}$$

$$M_{\phi} = M_{\phi.1} + M_{\phi.2} - M_{\phi.3} \quad (2.4)$$

$$M_{\phi} = 8,32 + 6,19 - 9,14 = 5,36 \text{ кг}$$

Відношення $\frac{M_3}{M_{\phi}} = 0,768$ – отже, ступінь точності С1,

- Конфігурація рознімання штампа – по осі деталі.
- Вихідний індекс – 9. Залежить марки сталі, від маси і ступеня важкості та класу точності деталі.

Виконаємо розрахунок додаткових припусків:

- зміщення поверхні рознімання штампу = 0.3;
- зігнутість і відхилення від плоскості та прямолінійності = 0.5.

Розміри поковки, мм:

діаметр $295 + 2 \cdot (2,5 + 0,3 + 0,5) = 301,6$ мм – приймаємо 301 мм;

діаметр $273 + 2 \cdot (2,5 + 0,3 + 0,5) = 279,6$ мм – приймаємо 279 мм;

діаметр $237 - 2 \cdot (2 + 0,3 + 0,5) = 231,4$ мм – приймаємо 231 мм;

довжина $23 + 2 \cdot (2 + 0,3 + 0,3) = 28,2$ мм – приймаємо 28 мм;

Допустимі відхилення розмірів (таблиця 2.5):

діаметр $301_{-1,0}^{+1,8}$; діаметр $279_{-1,0}^{+1,8}$; діаметр $231_{-1,0}^{+1,8}$; довжина $28_{-0,5}^{+1,1}$

Мп. = 4,12 кг, згідно з розділом 3;

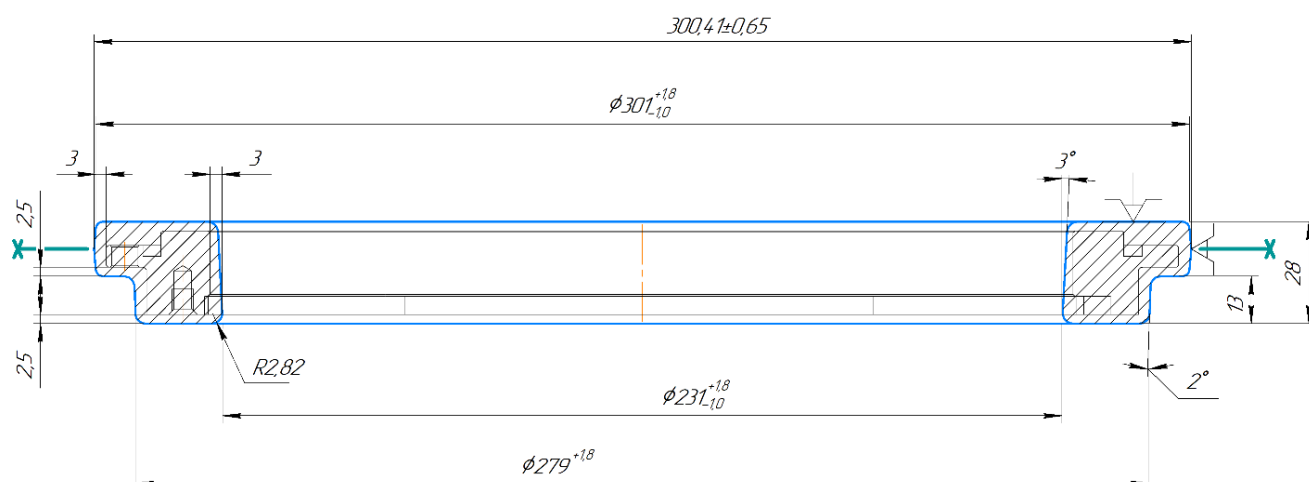


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки

Таблиця 2.5 – Розміри заготовки

Розмір, мм	Чистота поверхні, мкм	Основний припуск, мм	Розрахунковий розмір, мм	Розмір що приймаємо, мм	Фактичний припуск, мм
∅295	6.3	2.5	301.6	301	6
∅273	6.3	2.5	279.6	279	6
∅237	6.3	2.0	231.4	231	5
L23	6.3	2.0	28.2	28	5

2.4 Розрахунок припусків на оброблення поверхні обертання

Припуск на обробку — це шар металу, який потрібно видалити з поверхні заготовки, щоб отримати готову деталь. Припуск задається на бік і визначається як різниця між розміром деталі на кресленні та розміром заготовки. Припуски розділяють на загальні, які видаляються протягом усього процесу обробки поверхні, та міжопераційні припуски, що видаляються під час окремих операцій.

Міжопераційний припуск можна визначити як різницю розмірів, які були отримані в процесі попередніх операціях. Використовуючи метод розрахунку припусків аналітичним методом професора В. М. Кована. Проведемо розрахунок для поверхні діаметром 256f7. Метод отримання заготовки штампування на КГШП.

Граничні відхилення на задану поверхню згідно допуску f7 складають: $e_s = -0,052$ мм, $e_i = -0,108$ мм. Маршрут обробки для заданої поверхні деталі «направляючий апарат» зводимо у таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Маршрут обробки поверхні d265f7

Маршрут	Квалітет точності	Rz	h	ϵ_y	ρ
Заготовка	T4	—	—	—	1029,6
Чорнова	14	200	250	700	61,78
Напівчистова	11	100	100	100	51,48
Чистова	7	50	50	25	41,18

Величину мінімального припуску (при обробці зовнішніх і внутрішніх поверхонь) можна визначити за наступною формулою [21]:

$$2Z_{\text{mini}} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \epsilon_{yi}^2}), \quad (2.5)$$

де Rz_{i-1} – висота мікронерівності поверхні при попередньому переході, мкм ([21], с.65-67);

h_{i-1} – глибина дефекту поверхневого шару на попередньому переході (операції), мкм ([21], с. 65-67);

ρ_{i-1} – сумарне значення просторових відхилень форм на попередньому переході (операції), мкм;

ε_{yi} – похибки установки на поточному переході, мкм.

Визначаємо сумарні значення просторових відхилень форми під час операції КГШП:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{зм}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2} \quad (2.6)$$

де $\rho_{\text{зм}} = 900$ мкм – величина зміщень верхньої половини штампу відносно нижньої;

$\rho_{\text{кор}} = 500$ мкм – короблення;

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{900^2 + 500^2} = 1029,6 \text{ мкм}$$

Розрахуємо сумарні значення просторового відхилення форм по стадіям [21]:

$$\rho = \rho_{\text{заг}} \cdot K_y, \quad (2.7)$$

де K_y – коефіцієнт уточнення [21]:

- для чорнового точіння $K_y = 0,06$;
- для точіння напівчистового $K_y = 0,05$;
- для чистового точіння $K_y = 0,04$;

$$\rho_{\text{чор}} = 1029,6 \cdot 0,06 = 61,78 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{н/ч}} = 1029,6 \cdot 0,05 = 51,48 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{ч}} = 1029,6 \cdot 0,04 = 41,18 \text{ мкм}$$

Розрахунок припусків виконуємо згідно рекомендацій, використовуючи ЕОМ. Результати розрахунку у додатку Б. Отримана схема припусків наведена на рисунку 2.2.

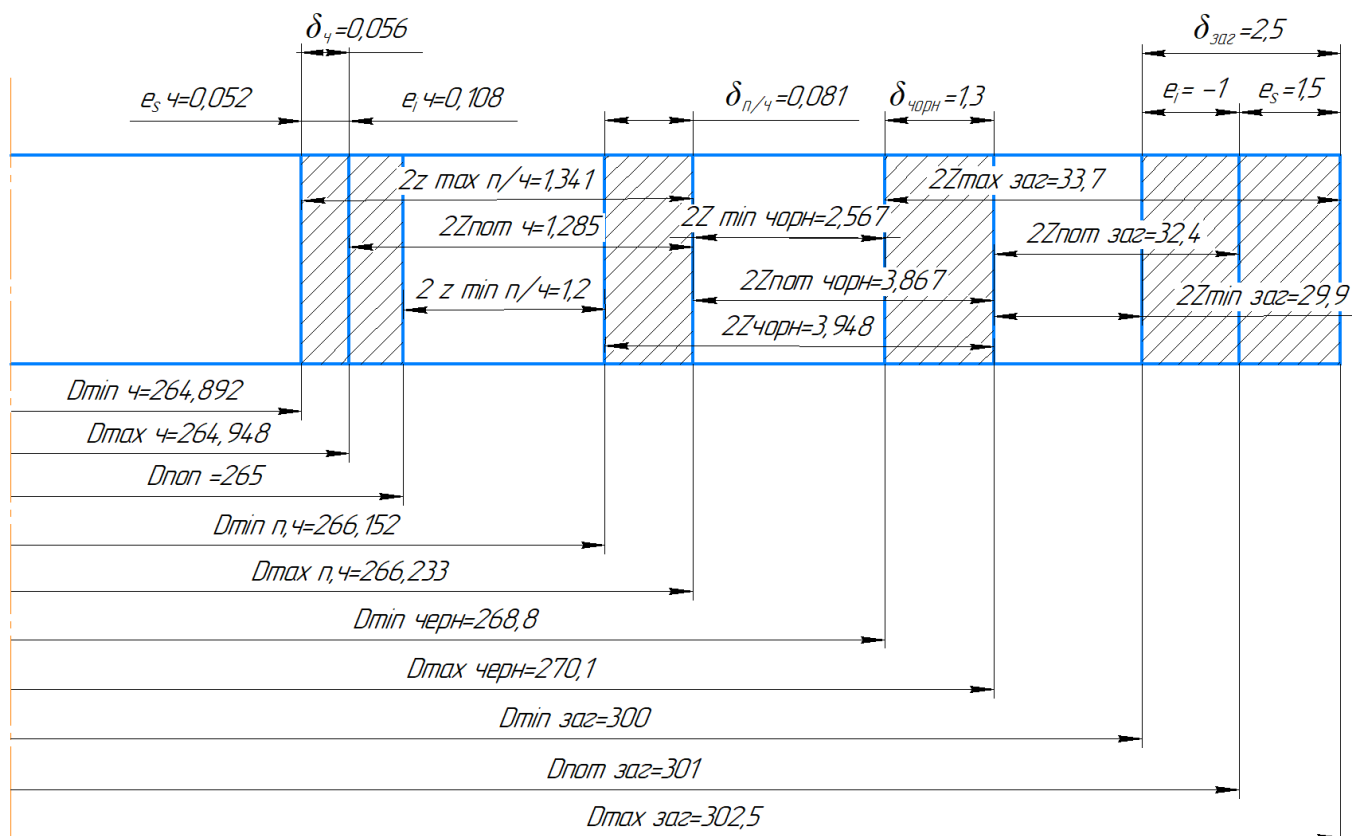


Рисунок 2.2 – Схема припусків обробки поверхні обертання $d265f7$

2.5 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки

Обираємо операції 020 Токарна з ЧПК, 035 Токарна з ЧПК для подальшого розгляду. На токарній операції 020 виконується точіння діаметру $\varnothing 268$ мм з витримуванням лінійного розміру L4, розточування $\varnothing 235$ мм, з дотриманням лінійного розміру L24 мм. Поверхні що оброблюються на операції зображено на рисунку 2.3.

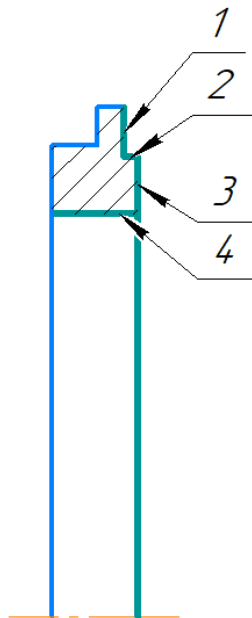


Рисунок 2.3 – Схема обробки поверхонь на операції 020

Виконаємо аналіз способів закріплення та базування заготовки на даній операції. В ході операції оброблюється (внутрішній) діаметр $\varnothing 235$ мм, тому виконати зажим деталі можна лише використовуючи зовнішні циліндричні поверхні заготовки. Підходящими є діаметральні розміри $\varnothing 297$ мм та $\varnothing 275$, які попередньо оброблені. Більш же раціональним способом є закріплення деталі за діаметральний розмір $\varnothing 275$, оскільки лінійний розмір діаметру $\varnothing 297$ буде оброблюватись в ході операції, тоді як лінійні розміри $\varnothing 275$ обробляться не будуть. Схему базування та закріплення деталі наводимо на рисунку 2.4.

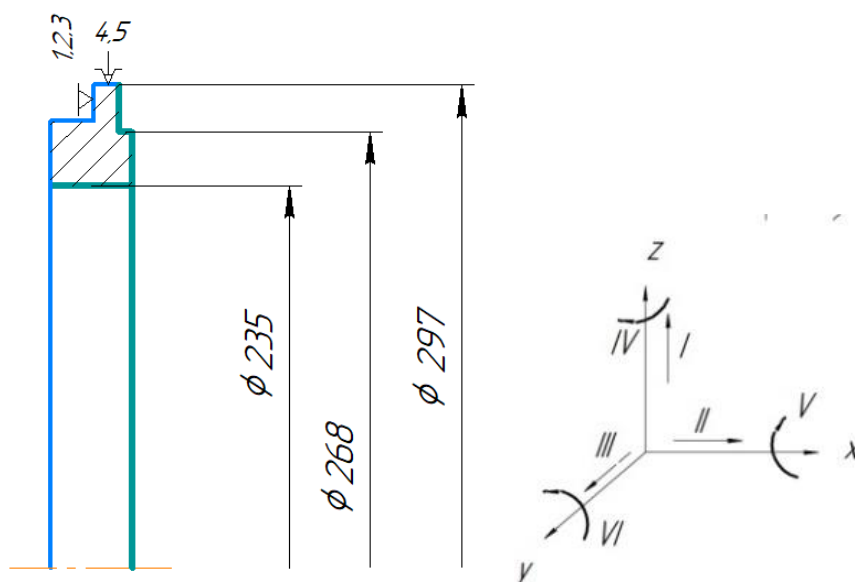


Рисунок 2.4 – альтернативна схема закріплення

Технологічним способом закріплення деталі під час цієї операції буде спосіб що зображено на рисунку (рис. 2.5). Заготівка береться на зажим, виконується упор в торець деталі. Сам торець є установчою базою а зовнішня циліндрична поверхня буде подвійною опорною базою.

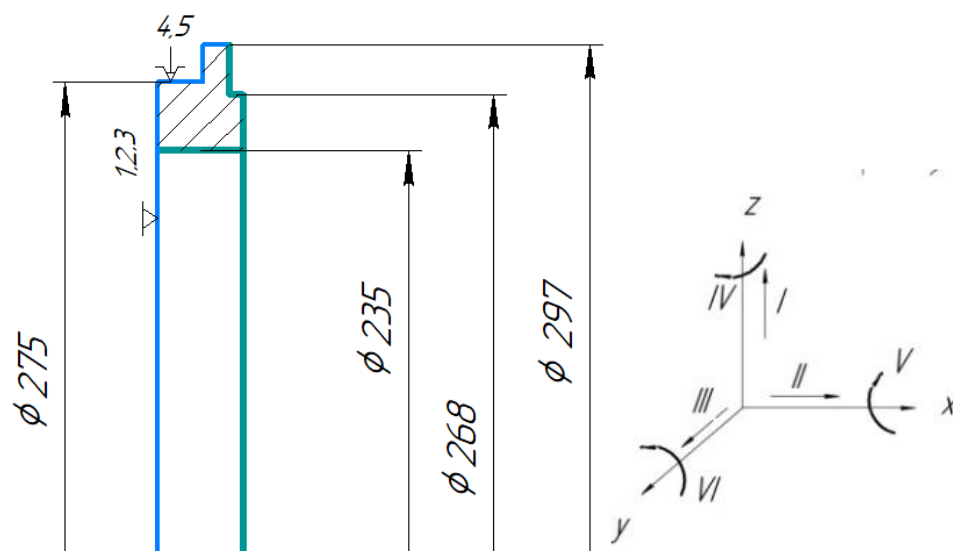


Рисунок 2.5 – схема закріплення для операції 025

Матрицю зв'язків для операції 020 наведено у таблиці 2.7 та таблиці 2.8:

Таблиця 2.7 – Зв'язки, забезпечувані базами на операції 035

База	Забезпечені зв'язки	Позбавлені ступені волі
УБ	1,2,3	II, IV, VI
ПОБ	4,5	III, IV

Таблиця 2.8 – Матриця зв'язків операції 035

УБ	X	Y	Z	
	1	0	0	↔
	0	0	1	○
ПОБ	0	1	1	↔
	0	0	0	○

Виконаємо аналіз закріплення та базування для токарної 035. На даній операції остаточно обробляються зображені на рисунку 2.6 поверхні:

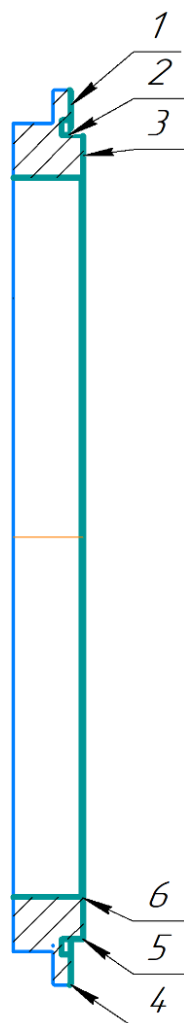


Рисунок 2.6 – Схема обробки на операції 020

Розглянемо можливі схеми базування і закріплення при обробці заготовки.

Найбільш доцільним способом закріплення заготовки на операції 035 буде закріплення деталі в трьохкулачному патроні на розтиск. На схемі базування (рисунок 2.7) заготовка знаходиться у трьохкулачковому патроні, і позбавляється усіх 5-ти ступенів вільності. Торець буде установчою базою, що позбавить деталь 3-х ступенів вільності, а зовнішня циліндрична поверхня буде подвійною опорною базою, що позбавить деталь 2-х ступенів вільності. Матриця зв'язків та баз для операції 035 наведено в таблиці 2.9 та таблиці 2.10.

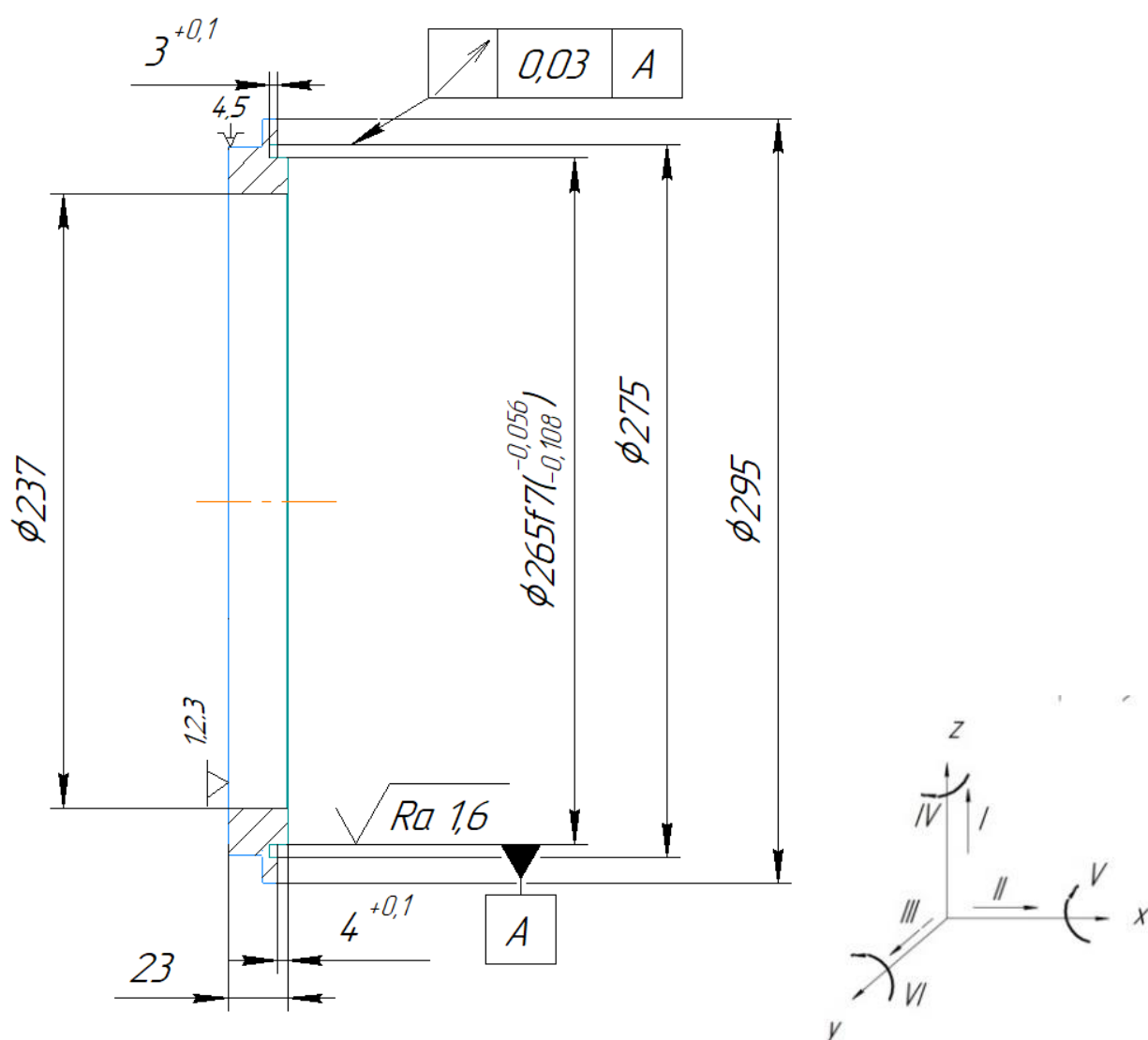


Рисунок 2.7 – Ескіз операції 035

Таблиця 2.9 – Зв'язки, забезпечувані базами.

База	Забезпечені зв'язки	Позбавлені ступені волі
УБ	1,2,3	II, IV, VI
ПОБ	4,5	III, IV

Таблиця 2.10 – Матриця зв'язків.

	X	Y	Z	
УБ	1	0	0	↔
	0	0	1	○
ПОБ	0	1	1	↔
	0	0	0	○

З закріпленням в трикулачковому патроні похибка базування у радіальному напрямі буде відсутня.

Похибка базування на розмір $L = 3$ та $L = 4$ мм визначається допуском на розмір $L = 23$ мм:

$$\varepsilon_{63,4} = T_{13} = -0,43 < T_{3,4} = +0,52 \text{ мм.}$$

Отже значення похибки буде менше значення допуску.

Розглянемо альтернативний спосіб закріплення заготовки, Зв'язки баз та матриця зв'язків для операції 035 наведено в в таблиці 2.11 та таблиці 2.12.

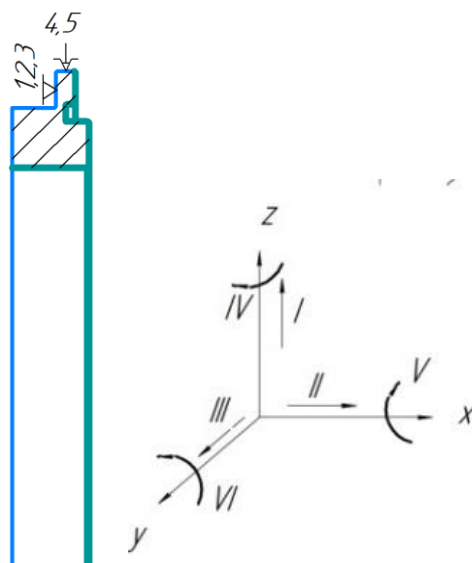


Рисунок 2.8 – Альтернативний спосіб закріплення

Таблиця 2.11 – Зв'язки, забезпечувані базами.

База	Забезпечені зв'язки	Позбавлені ступені волі
УБ	1,2,3	II, IV, VI
ПОБ	4,5	III, IV

Таблиця 2.12 – Матриця зв'язків.

УБ	X	Y	Z	
	1	0	0	↔
ПОБ	0	0	1	○
	0	1	1	↔
	0	0	0	○

Похибка базування на розмір $L = 3$ та $L = 4$ мм визначається допуском на розмір $L = 13$ мм:

$$\varepsilon_{63,4} = T_{13} = -0,43 < T_{3,4} = +0,1 \text{ мм.}$$

Значення допуску менше значення похибки.

У порівнянні цих двох методів краще буде використовувати перший, оскільки в ньому буде більша площа контакту деталі з патроном. Таким чином, ми обираємо перший спосіб закріплення та базування.

2.6 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Підбір верстатів для механічних операцій виконуємо з дотриманням наступних вимог методичних вказівок [19]:

- звертаємо увагу на методи обробки поверхонь;
- потужність двигуна підбраного верстату з урахуванням ККД повинна бути більше необхідної потужності різання;
- габарити робочого столу та простору верстату повинні дозволяти проводити необхідну обробку як можна більшого числа поверхонь за 1 установ;
- підібраний тип обладнання повинен бути відповідним типу заданого виробництва;

- кількість інструментів на механічних операціях не повинна перевищувати ємність магазину обраного верстата.

У базовому технологічному процесі для виконання операцій токарної обробки використовуються токарно гвинторізні верстати моделі 16К20, що призначені для токарної обробки зовнішніх (діаметром > 400 мм) та внутрішніх поверхонь (довжиною > 1000 мм) зі ступінчатими і криволінійними профілями в осьових перерізах. Для проведення модернізації обладнання на механічних операціях 020 та 035 Токарна з ЧПК підбираємо токарний верстат DOOSAN PUMA 2600. У таблиці 2.13 виконаємо порівняння характеристик обох верстатів.

Таблиця 2.13 – Порівняльна характеристика 16К20 та DOOSAN PUMA 2600

Характеристики	Одиниця вимірювання	16К20	DOOSAN PUMA 2600
Частота обертання	об/хв	2500	4000
Максимальний діаметр обробки	мм	320	480
Потужність	кВт	11	25
Довжина обробки	мм	1000	725
Місткість магазину інструменту	шт	4	12
Габаритні розміри верстата	мм	3700×3000×2100	3870×1860×1900
Вага верстата	кг	4000	5500

В якості верстата на механічні токарні операції приймаємо верстат DOOSAN PUMA 2600, на заміну технічно застарілого верстату 16К20. PUMA 2600 всеціло задовольняє вимогам заданого виробництва, при тому має менші габарити, більш потужний, та обладнаний сучасною системою ЧПК. Використання системи ЧПК дозволяє збільшити продуктивність та точність обробки.

На механічній операції 045 Фрезерна з ЧПК доцільно замінити ГФ2171Ф3 на верстат HAAS VF1. HAAS цілком задовольняє умовам заданого виробництва, і дозволить виконати необхідну механічну обробку. Порівняємо його з фрезерним верстатом ГФ2171Ф3, що застосовується для обробки у базовому тех процесі для обробки деталі:

Таблиця 2.14 – Порівняльна характеристика ГФ2171Ф3 та HAAS VF1

Характеристика	Одиниці вимірювання	ГФ2171Ф3	HAAS VF1
Частота обертання	об/хв	2500	8100
Кількість інструментів	шт.	12	21
Хід X/Y/Z	мм	600/400/1500	508/406/508
Розмір столу	мм	400×1600	660×356
Швидкість робочої подачі	м/хв	6	16.5
Прискорений хід	м/хв	7	25.4
Потужність	кВт	8	22.4
Габаритні розміри	мм	3680×4170×3150	2570×2510×2570
Навантаження на стіл	кг	400	1361
Вага верстата	кг	6580	3539

Доцільно обрати HAAS VF1, оскільки він має більшу потужність, менші габарити, та більшу частоту обертання шпинделя. Крім того даний верстат оснащений більш новою системою ЧПК. Зовнішній вигляд верстатів представлений на рисунку 2.9

(a)



(b)



Рисунок 2.9 – Верстат Doosan PUMA 2600 (a) та HAAS VF1 (b)

2.7 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів

Для вибору ріжучого інструменту використовуємо програмне забезпечення від Sandvik Coromant “ToolGuide”. Для підбору нам необхідно знати марку матеріалу, маршрут обробки деталі та характеристики верстату.

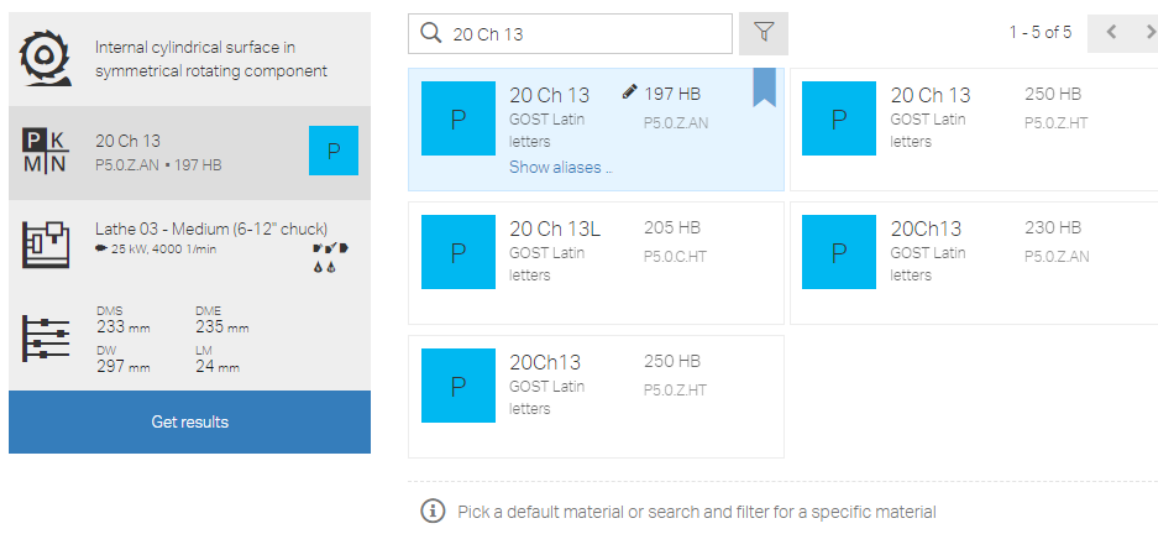


Рисунок 2.10 – Вибір матеріалу заготовки в програмі “ToolGuide”

Обираємо матеріал GOST Latin 20 Ch 13 що є відповідником матеріалу заготовки 20X13. Наступним кроком заносимо дані про верстат та обираємо його в якості розрахункового:

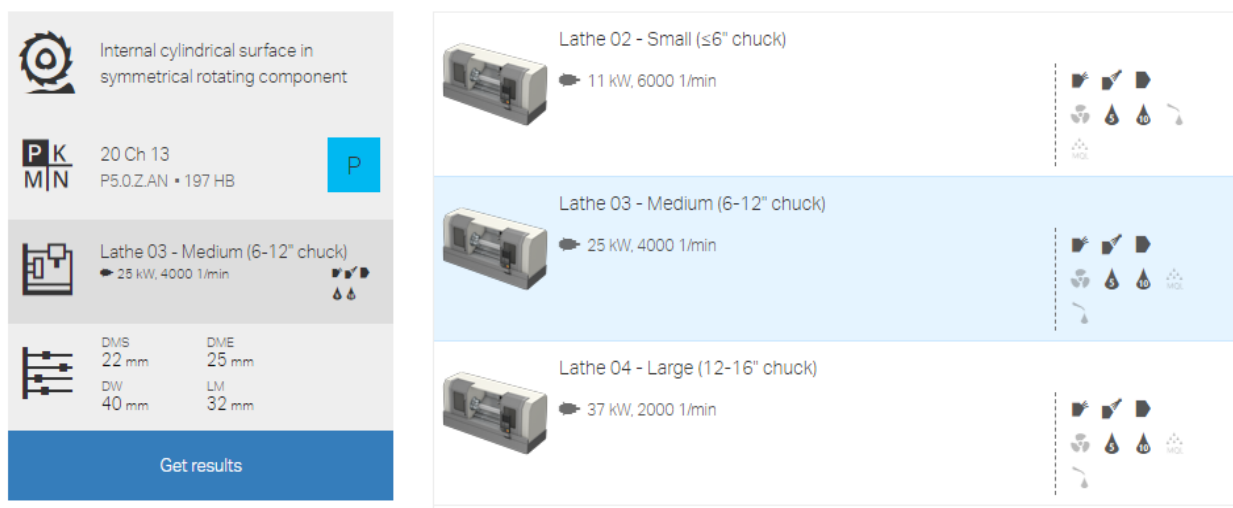


Рисунок 2.11 – вибір верстату в програмі «ToolGuide»

Для проведення розрахунків необхідно створити таблицю та маршрут обробки деталі на зазначеному переході. В якості розрахункового обираємо перехід 7, чистове розточування діаметру 235 мм. Глибина різання для обробки становить $t = 1$ мм, довжина обробки $l = 25$ мм, шорсткість Ra становить 6.3 мкм. Заносимо зазначені дані у програму (рисунок 3).

Working conditions	Workpiece surface condition code	Cutting condition code	Stability of fixturing
	Pre-machined	Continuous cut	Good stability

Operation type CTPT	Pre-machining and finishing
Machined diameter start DMS	233 mm
Machined diameter end DME	235 mm
Work piece diameter DW	297 mm
Machined length LM	25 mm
Ra roughness value longitudinal RRA	6.3 μm
More	
Rotational speed maximum RPMX	4000 1/min
Maximum cutting torque MMCK	Nm
Hand HAND	Left

Рисунок 2.12 – вікно вводу даних у програмі ToolGuide

В якості типу обробки (СРТР) обираємо (Pre-machining and finishing) напівчистову та чистову обробку. Стартовий діаметр заготовки (DMS) становить 233 мм, діаметр обробленої поверхні (DME) становить 235 мм. Загальний розмір деталі (DW) становить 297 мм. Довжина обробки (LM) 25 мм. Параметр шорсткості (RRA) задаємо 6.3 мкм. Тип різця (HAND) лівий.

Натискаємо «Get results» щоб отримати результати автоматизованого розрахунку (рисунок 2.13).

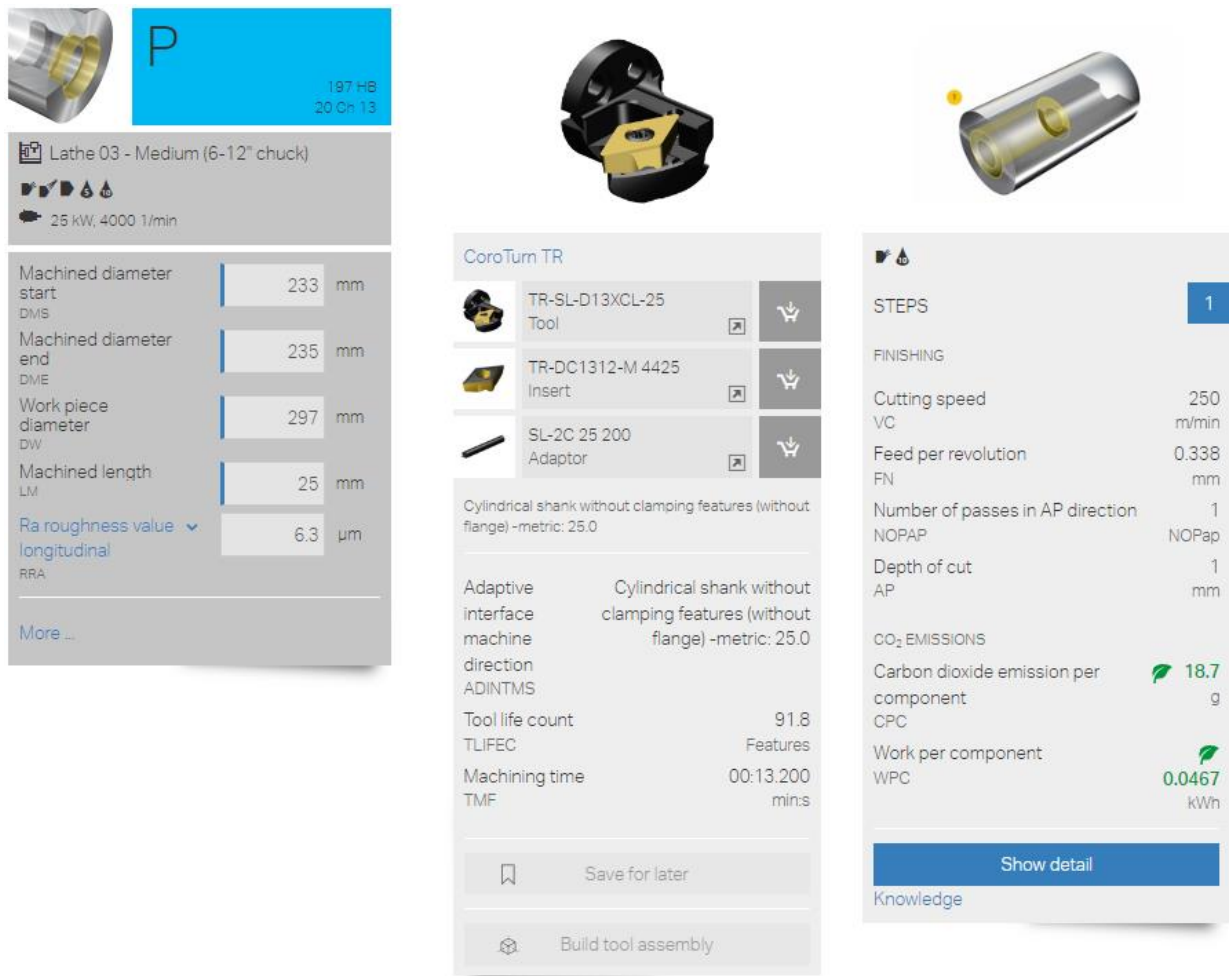


Рисунок 2.13 – Вікно результатів

У вікні результатів можна побачити, що для заданої операції нам підходить наступний інструмент:

1. Адаптер (Tool) TR-SL-D1XCL-25;
2. Пластинка (Insert) TR-DC1312-M-4425;
3. Державка (Adaptor) SL-2C 25 200.

Швидкість різання (VC) для даного переходу буде становити 250 м/хв, подача на оберт (FN) 0.338 мм/об. Машинний час (TMF) 13,2 секунд, що становить 0,2 хв. Отриманий машинний час знадобиться для подальшого нормування операції. Кількість обертів та потужність верстату під час операції можна отримати з вкладки «cutting data» (рисунок 5)

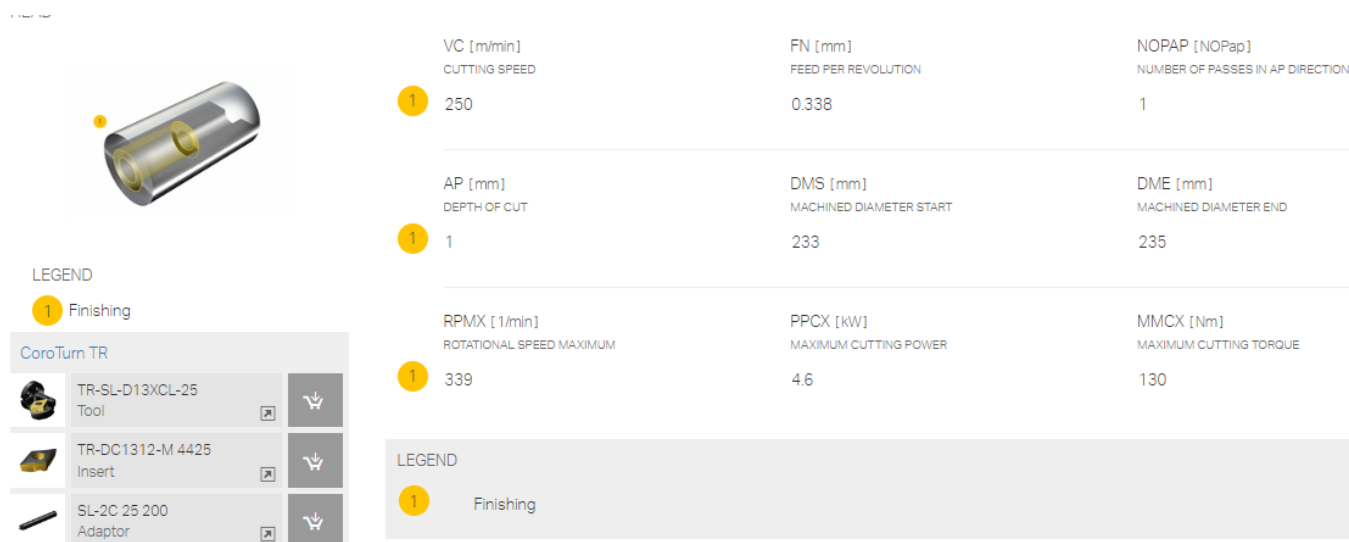


Рисунок 2.14 – «Cutting data» результати обробки

Швидкість різання (RPMX) становить 339 об/хв, потужність при обробці 4.6 кВт, максимальний крутний момент (MMCX) 130 Нм. Отримані дані зводимо в таблицю, та проводимо розрахунок для інших переходів операції.

Для вибору вимірювального та допоміжного інструменту використовуємо довідникову літературу [19], [20]. Обираємо наступний вимірювальний та допоміжний інструмент для операції 035 Токарна з ЧПК:

- Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80;
- Штангенциркуль ШЦ-II-300-0,1 ГОСТ 166-80;
- Мікрометр МК 275-0,01 ГОСТ 6507-60;
- Трьохкулачковий самоцентруючийся патрон 7100-0011 ГОСТ 2675-80.

Використовуючи запропонований метод проводимо аналогічний розрахунок для усіх переходів на операції 035. Отриманий різальний інструмент та оснащення для токарної операції з ЧПК 035 зводимо у таблицю:

Таблиця 2.15 – Різальний, вимірювальний та допоміжний інструмент на операції 035 Токарна з ЧПК

Номер переходу	Адаптер	Пластинка	Державка
1. Точити фаску 0,5x45°	Не потрібен	CNMG 09 03 08-PM 4425	DCLNL 2020K 09
2. Підрізати торець ∅295/275			
3. Точити фаску 0,5x45°			
4. Підрізати торець ∅267/235			
5. Точити d266			
6. Точити фаску 0,5x45°	TR-SL-D1XCL-25	TR-DC1312-M-4425	SL-2C 25 200
7. точити ∅235			
8. точити канавку d266	570-3C 40 408	QFT-H-0400-03-TF 1125	SL-QFT-LH38C40-150A
9. точити посадку 265f7	570-3C 40 408	QFT-G-0500-03-TF 1125	SL-QFT-LG30C40-150A
Вимірювальний та допоміжний інструмент	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80; Штангенциркуль ШЦ-II-300-0,1 ГОСТ 166-80 Мікрометр МК 275-0,01 ГОСТ 6507-60; Трьохкулачковий самоцентруючийся патрон 7100-0011 ГОСТ 2675-80.		

Використовуючи програму «ToolGuide» підбираємо різальний, вимірювальний та допоміжний інструмент для операції 020 Токарна з ЧПК (таблиця)

Таблиця 2.16 – Різальний, вимірювальний та допоміжний інструмент на операції 020 Токарна з ЧПК

Номер переходу	Адаптер	Пластинка	Державка
1. Підрізати торець	Не потрібен	CNMG 12 04 16-PR 4335	DCLNL 2020K 12
2. Попередньо точити ∅268 витримуючи розмір L4 мм			
3. Точити ∅267 витримуючи L4 мм			
4. Розточити отвір ∅235 мм	Не потрібен	DCMT 11 T3 12-PR 4425	A20S-SDXCL 11-R
Вимірювальний та допоміжний інструмент	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80; Штангенциркуль ШЦ-II-300-0,1 ГОСТ 166-80 Трьохкулачковий самоцентруючийся патрон 7100-0011 ГОСТ 2675-80.		

2.8 Визначення режимів різання та технічне нормування операцій

Використовуючи дані про режими різання отримані в програмі «ToolGuide» зводимо режими в таблицю згідно маршрутного процесу обробки на даній операції.

Таблиця 2.17 – Режими різання на операції 020 токарна з ЧПК

Номер операції	t, мм	Ra, мкк	n, об/хв	V, м/хв	i	F, мм/об	L мм	To хв	Tмд хв	N, кВт
1. Підрізати торець	2	12,5	246	180	1	0,5	70	0,28	0,09	14,2
2. Попередньо точити $\varnothing 268$ витримуючи розмір L4 мм	2,4	12,5	215	180	1	0,5	32	0,15	0,012	10,7
3. Точити $\varnothing 267$ витримуючи L4 мм	0,5	12,5	196	164	1	0,508	5	0,1	0,006	2,41
4. Розточити отвір $\varnothing 235$ мм	2	12,5	284	210	1	0,338	27	0,26	0,009	5,77
Разом								0,79	0,12	

Аналогічну таблицю робимо і для операції 035 Токарна з ЧПК (таблиця 2.18)

Таблиця 2.18 – Режими різання на операції 035 Токарна з ЧПК

Номер операції	t, мм	Ra, мкк	n, об/хв	V, м/хв	i	F, мм/об	L мм	To хв	Tмд хв	N, кВт
1. Точити фаску 0,5x45°	0,5	6.3	286	247	1	0,323	2.5	0,02	0,005	0,84
2. Підрізати торець $\varnothing 295/275$	0,5	6.3	286	247	1	0,323	20	0,11	0,02	5,56
3. Точити фаску 0,5x45°	0,5	6.3	335	247	1	0,323	2.5	0,02	0,005	0,84
4. Підрізати торець $\varnothing 267/235$	0,5	6.3	335	247	1	0,323	23	0,17	0,1	2,39
5. Точити d265	0,5	6.3	309	257	1	0,42	5	0,04	0,007	3,77
6. Точити фаску 0,5x45°	0,5	6.3	337	250	1	0.338	1,5	0,02	0,005	0,84
7. точити $\varnothing 235$	1	6.3	337	250	1	0.338	25	0,2	0,01	4,6
8. точити канавку	4	1.6	150	150	1	0,1	6	0,4	0,09	3,43
9. точити посадку 265f7	0,5	1.6	150	200	0,5	0,1	8	0,62	0,12	2,96
Разом								1,92	0,36	

Проведемо технічне нормування операцій 020 Токарна з ЧПК та 035 Токарна з ЧПК.

Розрахунки виконуємо використовуючи ЕОМ та отримані дані в програмі «ToolGuide».

Вхідні дані що необхідні для розрахунку:

Таблиця 2.19 – Вхідні дані для нормування операцій

Вхідні дані	020 Токарна з ЧПК	035 Токарна з ЧПК
Верстат	Токарний верстат з ЧПК Doosan Puma 2600	
Оснащення	Трьохкулачковий самоцентруючийся патрон 7100-0011 ГОСТ 2675-80	
Різальний інструмент	різець прохідний, різець розточний	різець прохідний, різець розточний, різець канавочний
Вимірювальний інструмент	Штангенциркулі ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80; ШЦ-II-300-0,1 ГОСТ 166-80	Штангенциркулі ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80; ШЦ-II-300-0,1 ГОСТ 166-80 Мікрометр МК 275-0,01 ГОСТ 6507-60;
Основний час T_o , хв	0,79 хв	1,92 хв
Машинно-допоміжний час $T_{мд}$, хв	0,12 хв	0,36 хв

Використовуючи дані спочатку необхідно визначити норму штучного часу:

$T_{шт}$ – норма штучного часу – це час на виконання об'єму праці, що дорівнює одиниці нормування.

$$T_{шт} = (T_{ца} + T_d \cdot K) \cdot \left(1 + \frac{(\alpha_{тех} + \alpha_{орг} + \alpha_{отл})}{100} \right), \quad (2.23)$$

де $T_{ца}$ – це час циклу автоматичної роботи верстату по заданій програмі.

K – поправочний коефіцієнт на час в залежності від партії оброблюваних деталей у серійному виробництві.

$T_{ца}$ розраховуємо за формулою:

$$T_{ца} = \Sigma T_o \cdot \Sigma T_{мд}, \quad (2.24)$$

$(\alpha_{тех} + \alpha_{орг} + \alpha_{отл})$ - норма часу на організаційно-технічне обслуговування, відпочинок та особисті потреби (визначається за нормативами та у формулу підставляється у відсотках). Цей час складає 8% від оперативного часу $T_{оп}$.

$T_{оп}$ – це час, що витрачається на виконання однієї технологічної операції.

$T_{д}$ – норма допоміжного часу – це час на дії, які дають можливість виконувати основну роботу

$$T_{д} = T_{вст} + T_{оп} + T_{вим}, \quad (2.25)$$

де $T_{вст}$ – норма допоміжного часу на установку та зняття заготовки.

$$T_{вст} = 0,1 \text{ хв};$$

$T_{оп}$ – Допоміжний час, пов'язаний з операцією, що містить у собі час на вмикання та вимикання верстата, перевірку повернення інструменту в задану точку після обробки.

$$T_{оп} = 0,18 \text{ хв};$$

$T_{вим}$ – норма допоміжного часу на виконання контрольних вимірювань.

$$T_{вим} = 0,2 \text{ хв. Для операції 020 та } 0,52 \text{ хв для операції 035};$$

Визначаю норму штучно-калькуляційного часу $T_{штк}$ за формулою:

$$T_{штк} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} \quad (2.26)$$

де n – кількість деталей в партії;

$T_{пз}$ – підготовчо-завершальний час – це час необхідний на підготовку робітників та засобів виробництва до виконання певної технологічної операції та приведення їх у первинний стан після її закінчення.

Підготовчо-заключний час на партію деталей для токарної обробки $T_{пз} = 7 \text{ хв.}$

Виконуємо розрахунок та заносимо отримані дані у таблицю 2.20.

Таблиця 2.20 – Норми часу на механічну операції 020 та 035

	020 Токарна з ЧПК	035 Токарна з ЧПК
T_o	0,79	1,92
T_{мд}	0,12	0,36
T_д	0,48	0,8
T_{шт}	1,42	2,90
T_{пз}	7	7
T_{штк}	1,48	2,93

2.10 Висновок

В ході виконання розділу було виконано наступні завдання:

- Виконано літературний огляд, в якому висвітлено характеристики та проблематику обробки сталі 20X13, розглянуто матеріали ріжучого інструменту, вплив таких факторів як кути, режими різання та покриття на аспекти механічної обробки
- Проаналізовано типовий маршрут обробки деталі та запропоновані методи покращення технологічного процесу
- Обрано та обґрунтовано спосіб вибору первинної заготовки деталі
- Виконано розрахунок припуску на поверхню обертання
- Обрано нові верстати для механічних операцій
- Проведено автоматизований підбір ріжучого інструменту та режимів різання
- Виконано нормування операцій.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ СПРЯМОВАНЕ НА УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

3.1 Методологія дослідження та планування експерименту

Метою експерименту є оптимізація режимів обробки на токарній операції з метою забезпечення заданої шорсткості при оптимальних економічно-технічних показниках. Оптимізацію проводимо для операції 035 Токарна з ЧПК.

Для побудови плану експерименту використаємо режими запропоновані виробником для обраного в пункті 2 типу інструменту. В своїй методології експеримент базується на методі Тагучі. Метод Тагучі – один із методів статистичного планування експериментальних досліджень, розроблений Генічі Тагучі. Сутність методу Тагучі полягає у покращення якості виробництва різноманітних виробів шляхом мінімізації впливу різних варіацій факторів, що не можуть бути контрольовані. У методі Тагучі використовується спеціальні ортогональні масиви для підбору оптимальної комбінації рівнів факторів, що мають вплив на якість виробництва. Метод Тагучі застосовують в різноманітних областях, таких як інженерія, біотехнології, маркетинг, реклама, тощо. Здатність масивів Тагучі досліджувати порівняно значну кількість факторів із відносно короткою кількістю експериментальних циклів є однією з його переваг.

Масиви Тагучі – це експериментальні методи, що полегшують ефективно дослідження та перевірку впливу різних елементів на певну процедуру чи результат. Масиви Тагучі мають бути ортогональними, що означає, що вплив кожного із факторів є статистично незалежним. Це полегшує аналіз експериментальних даних і дозволяє дослідникам більш ретельно досліджувати первинні впливи та взаємодії між різними факторами. Рівні та фактори змінні і кожен фактор зазвичай досліджується на кількох рівнях. Рівні представляють різні налаштування або значення факторів. Фактори та їх відносні комбінації визначають план експерименту.

За типами масиви тагучі поділяються на наступні найбільш популярні масиви: L8, L16, L9, L27, L4, L12, L18. У дослідженні будемо застосовувати масив L9.

Таблиця 3.1 – варіація масиву Тагучі L9

№ експерименту	A	B	C
1	-1	-1	1
2	-1	1	1
3	-1	0	1
4	1	-1	1
5	1	1	1
6	1	0	1
7	0	-1	1
8	0	1	1
9	0	0	1

Для аналізу факторів будемо застосовувати дисперсний аналіз (ANOVA). Дисперсійний аналіз — це статистичний метод дослідження того, як відрізняються групові середні значення у вибірці. Оскільки це параметричний тест, робляться деякі припущення щодо даних. Дисперсійний аналіз є корисним, коли порівнюють середні значення трьох або більше груп, щоб побачити, чи є між ними статистично значущі відмінності. Дисперсійний аналіз (ANOVA) часто використовується для порівняння середніх і визначення того, чи існують значні відмінності між декількома групами в різних областях, включаючи психологію, біологію, економіку та інженерію. Це дає дослідникам важливий інструмент для вивчення дисперсії даних і отримання глибоких висновків щодо порівнюваних груп.

Крім шорсткості також будемо досліджувати силу різання P_z , температуру різання, стійкість інструменту та час обробки. Дослідження цих факторів дозволить нам отримати більше даних про процес обробки, дослідити вплив режимів різання на різноманітні похідні фактори різання. Для виконання розрахунків шорсткості, температури, сил різання та часу використовуємо ЕОМ та програму «СТАРТ». Для проведення дисперсійного аналізу будемо використовувати інструментарій програмного забезпечення «Minitab».

В якості бази для дослідження використовуємо дані отримані в попередніх розділах дипломної роботи (таблиця 3.1). Як вже зазначено, в якості операції для

оптимізації обираємо операцію 035 Токарна з ЧПК. Для дослідження обираємо найбільш точну поверхню d265f7 з шорсткістю по Ra 1.6. Параметр шорсткості по Ra характеризує нерівності поверхні деталі. Цим параметром визначається середнє арифметичне відхилення профілю поверхні від середньої лінії на базовій довжині. Значення шорсткості по Ra вимірюється в мікрометрах (мкм) та залежить від виду обробки поверхні. Найбільші значення Ra, як правило, мають заготовки після виробничих операції, таких як кування, лиття, піскоструменева обробка, тощо. Найменший отримується в механічних операціях, таких як точіння, фрезерування, шліфування або полірування. Шорсткість поверхні в лабораторних умовах можна виміряти за допомогою спеціальних приладів – профілометрів (рисунок 3.1).



Джерело: <https://trade-control.com.ua/>

Рисунок 3.1 – Портативний профілометр

В дослідженні будемо використовувати дані отримані за допомогою OEM. Вхідні дані необхідні для проведення експерименту заносимо у відповідну таблицю (таблиця 3.2).

Таблиця 3.1 – Дані для експерименту

Фактор	Значення
Матеріал деталі	Сталь 20X13
Діаметр обробки	265 мм
Довжина обробки	8 мм
Шорсткість поверхні	Ra 1.6
Тип операції	Чистова токарна операція
Маркування пластини	QFT-G-0500-03-TF 1125;
Матеріал пластини	Твердий сплав
Геометричні параметри пластини	Головний кут в плані (φ°) – 90 Кут при вершині (ε°) – 0 Задній кут (α°) – 7 Радіус при вершині (r, мм) – 0,3

Для створення масиву Тагучі використовуємо режими отримані з сайту виробника для заданого типу інструменту, матеріалу, типу обробки та верстату. Для оптимізації використовуємо програмне забезпечення «ToolGuide» від Sandvik Coromant. Для досягнення необхідного результату варіюємо по трьом рівням значення подачі та швидкості різання, в той час як глибина різання є константою.

Таблиця 3.2 – Масив тагучі L9 для експерименту

№	Подача	Швидкість різання	Глибина різання
1	0,1	150	0,5
2	0,1	200	0,5
3	0,1	250	0,5
4	0,20	150	0,5
5	0,20	200	0,5
6	0,20	250	0,5
7	0,15	150	0,5
8	0,15	200	0,5
9	0,15	250	0,5

3.2 Експериментальне дослідження

Розрахунки проводимо в програмі старт. Заносимо необхідні дані про у вікно програми, та проводимо розрахунки.

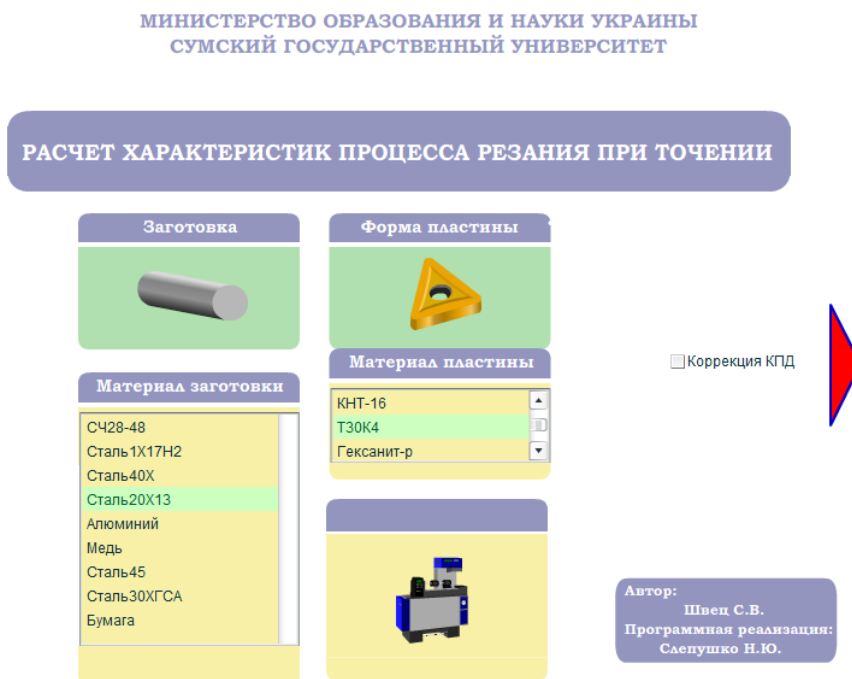


Рисунок 3.1 – Стартовое окно программы «Старт»

Заносимо необхідні дані у відповідні комірки програми «Старт». Та проводимо розрахунок для експерименту 1. Отримані дані по кожному експерименту заносимо у таблицю

Геометрия резца						Размеры заготовки			Режим резания							
Главный угол в плане, ϕ	90	Угол при вершине, ϵ	0	Длина, L	8	Диаметр, d	265	Колич. дет., N	1	СМЕНИТЬ ЗАГОТОВКУ	Подача, S	0.1	Обороты, n	478	Глубина рез., t	0.5
Вспомогательный угол в плане, ϕ'	90	Задний угол, α	7	Радиус при вершине, r	0.3	Предельный износ, h	0.4	сила	температура	износ	коэф. усадки	ресурс резца	КПД системы			
	$P_z = 8.9$	$\theta = 548^\circ$	$h_f = 0.01$	$K = 2.4$	$R = 0.03$	$\omega = 0.492$										
скорость	время	R_z	R_a	стойкость												
V= 150	$\tau = 0.2$	$R_z = 8.46$	$R_a = 1.8$	T= 22.4												
работа резания	$A_p = 281093$															
предельная работа	$A = 870856539$															

Рисунок 3.2 – Интерфейс программы «Старт»

Таблиця 3.3 – Результати експерименту

№	Подача	Швидкість різання	Глибина різання	Шорсткість поверхні Ra, мкм	Температура, С	Сила різання Pz, N	Спійкість інструменту, хв	Час
1	0,1	150	0,5	1,80	548	4,5	22,9	0,6
2	0,1	200	0,5	1,31	588	4,3	16,4	0,5
3	0,1	250	0,5	1,03	562	4,4	12,8	0,4
4	0,20	150	0,5	7,86	622	8,1	11,3	0,3
5	0,20	200	0,5	5,51	667	7,7	8,83	0,2
6	0,20	250	0,5	4,27	641	7,9	6,9	0,16
7	0,15	150	0,5	4,37	590	6,4	14,6	0,4
8	0,15	200	0,5	3,01	633	6	11,4	0,3
9	0,15	250	0,5	2,35	608	6,2	8,93	0,24

Для візуалізації залежності використаємо метод дисперсійного аналізу (ANOVA). Це статистичний метод що використовується для аналізу варіацій між серединними значеннями груп. Графіки для досліджених факторів зображено на рисунках 3.1-3.7.

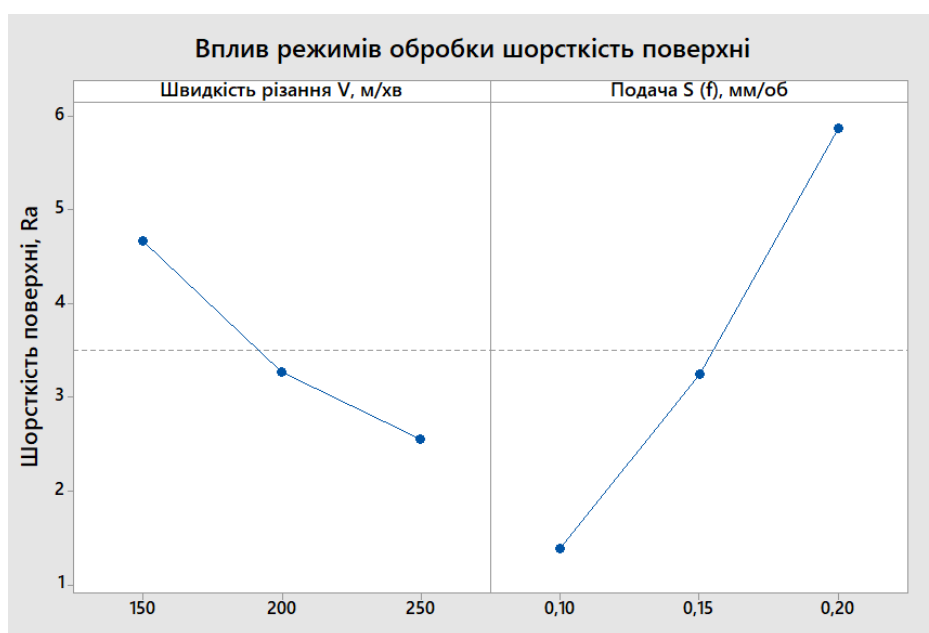


Рисунок 3.3 – Вплив режимів різання на шорсткість поверхні

Зі збільшенням швидкості різання шорсткість зменшується, у той час як зі збільшенням подачі шорсткість збільшується.

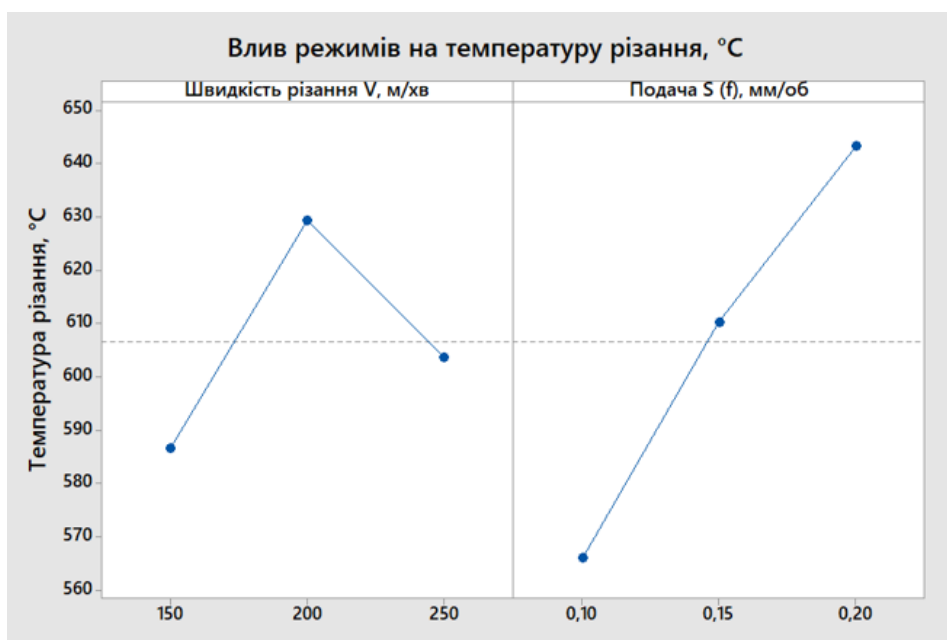


Рисунок 3.4 – Вплив режимів різання на температуру різання

Можна побачити, що зі збільшенням як швидкості різання так і швидкості подачі пропорційна зростає і температура різання.



Рисунок 3.5 – Вплив режимів обробки на стійкість інструменту

Вплив режимів обробки на стійкість інструменту є пропорційною, зі збільшенням як подачі так і швидкістю різання час стійкості інструменту зменшується.

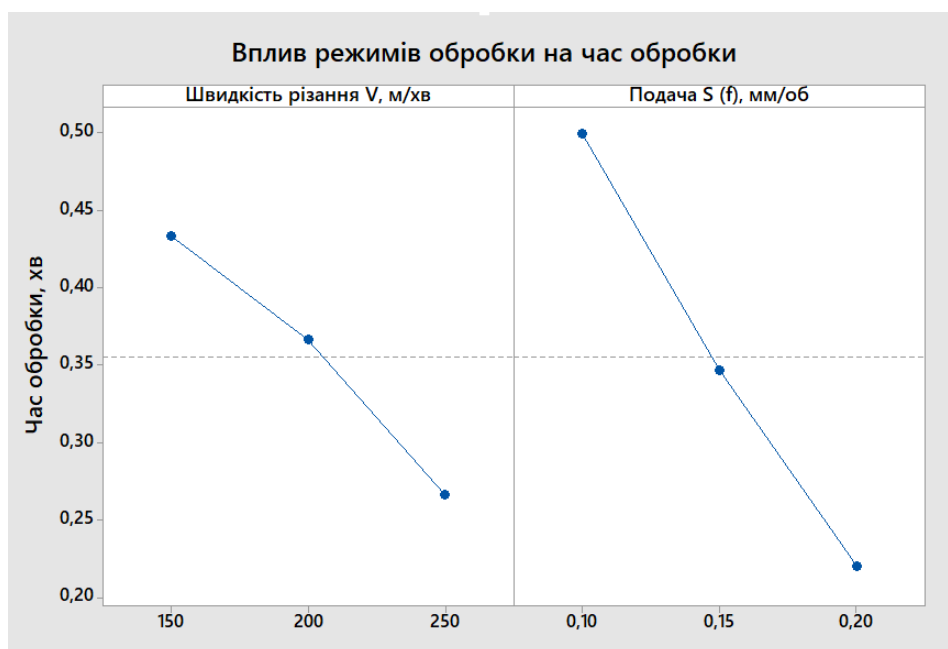


Рисунок 3.6 – вплив режимів обробки на час обробки

Аналізуючи графік впливу режимів обробки на час обробки можна зробити висновок що збільшення режимів обробки призводить до зменшення часу обробки,

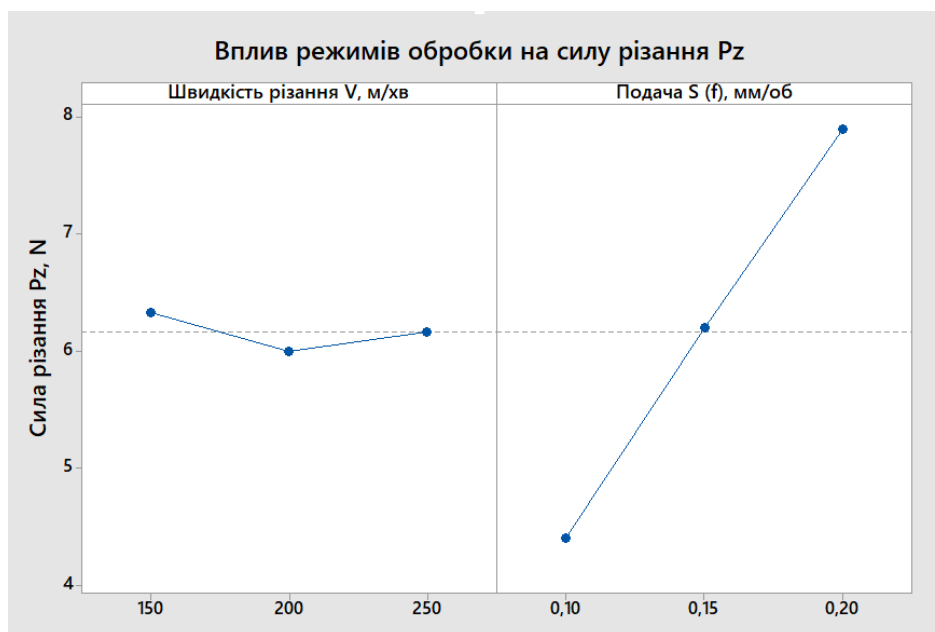


Рисунок 3.7 Вплив режимів обробки на силу різання Pz

Швидкість різання майже не впливає на силу різання, у той час подача має значний вплив. Зі збільшенням подачі сила різання зростає.

Виходячи з результатів експерименту, можна зробити висновок, що найбільше для обробки поверхні при заданих умовах шорсткості підходять наступні значення режимів різання: $S = 0.1$ мм/об, швидкість різання $V = 200$ м/хв та $S = 0.1$ мм/об, швидкість різання $V = 250$ м/хв. При цих режимах можна забезпечити необхідну шорсткість поверхні $Ra 1,31 < 1.6$ та достатню продуктивність обробки.

3.3 Обрунтування вибору різального інструменту та режимів на основі результатів експерименту

Виходячи з отриманих даних використаємо програму «ToolGuide» для підбору оптимальних режимів різання на операції та інструменту. Порівняємо декілька видів ріжучих пластин в різній цінній категорії. Програма Sandvik Caromant «ToolGuide» для заданого типу обробки пропонує 2 вида пластин - QFT-K-0600-RM 1125 та QFT-K-0600-RM 1135. Заносимо їх у таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Ріжучий інструмент для операції

Інструмент №	Пластина	Адаптер	Державка	Вартість	Стійкість, хв
1	QFT-K-0600-RM 1125	C5-570-4C 40 120	SL-QFT-LK32C40-160A	100%	22
2	QFT-K-0600-RM 1135	C5-570-4C 50 150-40L	SL-QFT-LK32C40-200A	136%	22

Програма автоматично корегує необхідні режими різання на заданій операції при заданих умовах. Скореговані режими різання та час життя інструменту зазначено на рисунку 3.5



Рисунок 3.5 – дані про QFT-K-0600-RM 1125

Можна побачити, що оптимальні режими обробки для даного інструменту відповідають отриманим шляхом експерименту, та дозволять забезпечити необхідну шорсткість.



Рисунок 3.6 – дані про QFT-K-0600-RM 1125

Можна побачити, що продуктивність інструменту 2, що є дорожчим є меншою, за рахунок зниженої швидкості різання. Отже обираємо інструмент №1 для обробки. Економічні показники пластини №1 зображено на рисунку 3.7

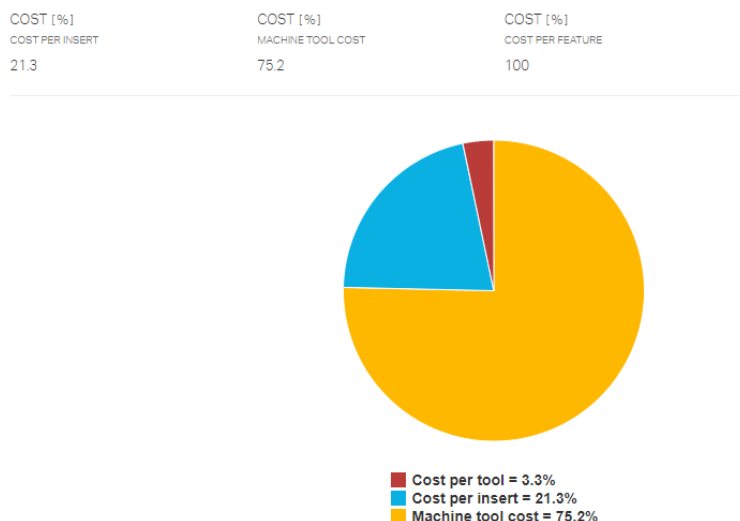


Рисунок 3.7 – економічні показники інструменту 1

Отже обираємо інструмент №1 для обробки. Режими різання $S = 0.1$ мм/об, швидкість різання $V = 196$ м/хв. Проводимо перевірку на виконання умов заданої шорсткості у програмі «Start» (Рисунок 3.8)

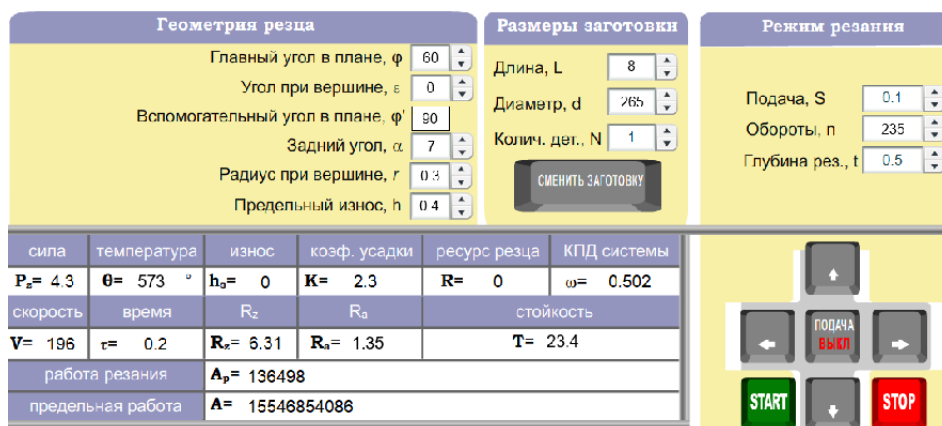


Рисунок 3.8 – Симуляція обробки на заданих режимах

Можна побачити що шорсткість при обробці на заданих режимах становить R_a 1.35 що нижче необхідної у 1.6, отже обробка при режимах різання $S = 0.1$ мм/об, $V = 196$ м/хв дозволяє забезпечити необхідну шорсткість при оптимальній продуктивності.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проекту було виконано наступний обсяг робіт:

В ході аналізу службового призначення деталі було визначено призначення машини, вузла та деталі. Проаналізовано креслення деталі щодо відповідності діючим стандартам. Розраховано та визначено тип виробництва. Обрано спосіб отримання заготовки. Проаналізовано існуючий технологічний процес виготовлення деталі, встановлено його недоліки.

Проведено аналіз літератури присвячений токарній обробці сталі 20X13, визначено характеристики матеріалу та проблематику його обробки.

Під час раціоналізації технологічного процесу виготовлення деталі внесено зміни спрямовані на його покращення. Застаріле обладнання було замінено сучасним, автоматизованим методом підібрано раціональні режими різання та сучасний різучий інструмент. Виконане технічне нормування операцій.

В ході експериментального дослідження було досліджено вплив різних комбінацій режимів різання на характеристик процесу механічного оброблення, зокрема шорсткість, сила різання, температура різання, стійкість інструменту, час оброблення.

Встановлено що раціональними режимами різання при заданій шорсткості будуть режими різання $S = 0.1$ мм/об, $V = 196$ м/хв. Це дозволяє забезпечити необхідну шорсткість $Ra 1.6$ при оптимальній продуктивності.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Ali Hemmasian Etefagh, Shengmin Guo and Jonathan Raush, Corrosion performance of additively manufactured stainless steel parts: A review, *Additive Manufacturing*, (2020)
2. M.K. Alam, M. Mehdi, R.J. Urbanic, A. Edrissy, Mechanical behavior of additive manufactured AISI 420 martensitic stainless steel, *Materials Science and Engineering: A*, 773 (2020) 138815.
3. M. Laleh, A.E. Hughes, W. Xu, P. Cizek, M.Y. Tan, Unanticipated drastic decline in pitting corrosion resistance of stainless steel after high-temperature post-processing, *Corrosion Science*, 165 (2020) 108412.
4. De Bartolomeis, A., et al., Future research directions in the machining, in *Journal of Materials Processing Technology*. 2021, Elsevier Ltd.
5. Jeyapandiarajan, P., et al., Surface hardening and wear correlations studies when turning inconel 718. *MM Science Journal*, 2019. 2019(November): p. 3041-3047.
6. Díaz-álvarez, J., et al., PCBN performance in high speed finishing turning. *Metals*, 2018. 8(8).
7. Korkmaz, M.E., Günay, M. Finite Element Modelling of Cutting Forces and Power Consumption in Turning of AISI 420 Martensitic Stainless Steel. *Arab J Sci Eng* 43, 4863–4870 (2018).
8. Sugihara, T., H. Tanaka, and T. Enomoto, Development of Novel CBN Cutting Tool for High Speed Machining of Inconel 718 Focusing on Coolant Behaviors. *45th Sme North American Manufacturing Research Conference (Namrc 45)*, 2017. 10: p. 436-442.
9. Jeyapandiarajan, P., M.A. Xavior, and A. Anbalagan, Performance evaluation of (Alcrn) pvd coated cbn inserts on machining of inconel 718. *MM Science Journal*, 2021. 2021-November: p. 5219-5227.
10. Ali, M.A.M., et al. Optimization of Cutting Parameters for Surface Roughness under MQL, using Al₂O₃ Nanolubricant, during Turning. *International Research and Innovation Summit (IRIS)*. 2017. Melaka, MALAYSIA.

11. Zeilmann, R.P., F. Fontanive, and R.M. Soares, Wear mechanisms during dry and wet turning of Inconel 718 with ceramic tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2017. 92(5-8): p. 2705-2714.
12. Frifita, W., et al., Optimization of machining parameters in turning of Inconel 718 Nickel-base super alloy. *Mechanics and Industry*, 2020. 21(2).
13. Pinheiro, C., et al., Effect of machining parameters on turning process of Inconel 718. *Materials and Manufacturing Processes*, 2021. 36(12): p. 1421-1437.
14. Shalaby, M.A. and S.C. Veldhuis, Tool wear and chip formation during dry high-speed turning of direct aged aerospace superalloy using different ceramic tools. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J-Journal of Engineering Tribology*, 2019. 233(7): p. 1127-1136.
15. Çakıroğlu, R., Machinability Analysis of Inconel 718 Superalloy with AlTiN-Coated Carbide Tool Under Different Cutting Environments. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2021. 46(8): p. 8055-8073.
16. Xu, D., et al., Investigation of the influence of tool rake angles on machining of inconel 718. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2021. 5(3).
17. Gürgen, S., D. Tali, and M.C. Kushan, An investigation on surface roughness and tool wear in turning operation of inconel 718. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 2019. 11.
18. Diaz-Alvarez, J., et al., Numerical analysis of thermomechanical phenomena influencing tool wear in finishing turning. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2014. 82: p. 161-169.
19. Методичні вказівки до кваліфікаційної роботи бакалаврів для студентів спеціальності 6.05050201 «Технології машинобудування» / укладач В. Г. Євтухов. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 44 с.
20. ТаегуТес Общий каталог / 6114802, СТ 03/2013 - 2013 – 352с.
21. «Основи охорони праці» курс лекцій для студентів всіх спеціальностей ХДАДМ денної та заочної форм навчання. / Ємельянова Л.В., Граніна Н.В., Кашуба С.А., Бондарчук І.Г. – Харків : ХДАДМ, 2014 – 134 с.
22. СНиП 3.05.06-85 Электротехнические устройства

23. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення
24. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
25. ДСТУ 2890-94 Тара і транспортування
26. ДСН 3.3.6.037-99 Санитарные нормы производственного шума, ультразвука и инфразвука
27. ДСН 3.3.6.039-99 Государственные санитарные нормы производственной общей и локальной вибрации
28. ДСТУ Б Д.2.6-3:2012 Ресурсные элементные сметные нормы на пусконаладочные работы. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха
29. ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
30. ГОСТ 13128-2016 Безопасность металлообрабатывающих станков.
31. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні
32. ГОСТ 12.3.002-2014 ССБТ Процессы производственные. Общие требования безопасности.
33. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення
34. ГОСТ 12.4.275-2014 Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования
35. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение
36. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування