

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

(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 вала РН19.013.120.01

шляхом автоматизації вибору різального інструменту та режимів різання на

механічних операціях

Здобувача групи

ТМ.м-21

(шифр групи)

Щербаченко Артем Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

Артем ЩЕРБАЧЕНКО

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

ст. викладач, канд. техн. наук Віталій КОЛЕСНИК

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Консультант
з питань
охорони праці

ст. викладач кафедри прикладної екології та природозахисних технологій, канд. техн. наук
Віра ФАЛЬКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Нормоконтролер

доцент кафедри, канд. техн. наук, доцент,
Олександр ІВЧЕНКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Суми – 2023

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет

Інститут, факультет	Технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра	Технології машинобудування, верстатів та інструментів
Освітній ступінь	магістр (назва)
Спеціальність	131 – прикладна механіка (шифр і назва)
Освітня програма	технології машинобудування (назва освітньої програми, за наявності)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Віталій ІВАНОВ

_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
ДО КВАЛІФІКАЙНОЇ РОБОТА СТУДЕНТА

Щербаченко Артем Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технологічного процесу виготовлення вала РН19.013.120.01 шляхом автоматизації вибору різального інструменту та режимів різання на механічних операціях

Керівник роботи Колесник Віталій Олександрович, канд. техн. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «04» грудня 2023 року за № 1401-VI

2. Строк подання студентом роботи «15» грудня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи креслення деталі вал РН19.013.120.01 типовий технологічний процес деталі вал РН19.013.120.01

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Виконати аналіз службового призначення деталі вал РН19.013.120.01 та технології її оброблення

2. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі вал.

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.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Фалько В. В., ст. викладач кафедри ЕтаПТ		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи (проекту)	Примітка
1	Вступ	25.09.2023	Виконано
2	Виконати аналіз службового призначення деталі вал та технології її оброблення	10.09.2023	Виконано
3	Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі вал	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)

Артем ЩЕРБАЧЕНКО

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Віталій КОЛЕСНИК

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра становить 93 сторінку, в тому числі 15 рисунки, 29 таблиць, бібліографії із 25 джерел на трьох сторінках, шести додатків на 34 сторінках.

Актуальність теми. Деталь вал РН 19.013.120.01 є частиною об'ємного відцентрового двоступінчастого насоса, що використовується для перекачування рідини: води, нафти, або нагнітання тиску. Основним робочим органом насоса є робоче колесо, що монтується на деталі вал, формуючи складальну одиницю ротора насоса. Оскільки вал РН 19.013.120.01 є тілом обертання з відношення діаметру до довжини більше 5, процес його механічної обробки ускладнюється необхідністю забезпечення жорсткості деталі у процесі точіння. У контексті підвищення конкурентоздатності виробів вітчизняного виробництва заслуговують уваги питання пов'язані з удосконаленням технологічного процесу механічної обробки. На сьогоднішній день залишається актуальним питання зниження технологічної собівартості виробництва деталі вал. Вирішення цієї проблеми можливе за рахунок автоматизації вибору різального інструменту, раціонального вибору режимів різання та заміни верстатів на більш продуктивні, що і визначило хід подальших досліджень.

Мета роботи. Виконати удосконалення технологічного процесу виготовлення вала РН 19.013.120.01 шляхом автоматизації вибору різального інструменту та режимів різання на токарній операції.

Методи дослідження. Виконання кваліфікаційної роботи здійснювалося з використанням основ технології машинобудування. При визначенні раціональної геометрії різальних пластин було використано засоби автоматизації, що були реалізовані у програмному середовищі Sandvik Tool Guide. Для визначення раціональних режимів різання було проведено віртуальний експеримент у емуляторі процесу точіння. Планування експерименту здійснювалося за методикою повнофакторного експерименту типу 2^2 . Математична обробка результатів експериментального дослідження здійснювалася з використанням дисперсійного аналізу у середовищі програми Minitab.

Наукова новизна одержаних результатів: на основі дисперсійного аналізу було визначено основні технологічні фактори та ступінь їх впливу на якість обробленої поверхні, період стійкості різального інструменту, температуру в зоні різання, тангінційльну складову сили різання для чистової токарної операції.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, у експериментальній верифікації результатів автоматизованого розрахунку режимів різання, що дозволило визначити раціональні режими різання при точінні для деталі вал РН 19.013.120.01, та забезпечити більший період стійкості інструменту та підвищення продуктивності, дотримуючись вимог по шорсткості циліндричної поверхні валу на чистовій стадії токарної обробки.

ВАЛ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ, ПЕРІОД СТІЙКОСТІ, ДИСПЕРСІЙНИХ АНАЛІЗ, ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ, ТОЧІННЯ

ABSTRACT

The master's thesis consists of 93 pages, including 15 figures, 29 tables, a bibliography of 25 sources on three pages, six appendices on 34 pages.

The purpose of the work. To improve the manufacturing process of the РН 19.013.120.01 shaft by automating the selection of the cutting tool and cutting parameters in the turning operation.

Research methods. The qualification work was carried out with the use of basic mechanical engineering technologies. Automation tools were used to determine the plate cutting geometry, which were implemented in the Sandvik Tool Guide software environment. To determine rational cutting modes, a virtual experiment was conducted in the turning process emulator. The planning of the experiment was carried out according to the methodology of a full-factorial experiment of type 2^2 . Mathematical processing of the results of the experimental study was used using variance analysis in the Minitab environment.

Scientific novelty of the obtained results: on the basis of dispersion analysis, the main technological factors and the degree of their influence on the quality of the machined

surface, the period of stability of the cutting tool, the temperature in the cutting zone, and the tangential component of power cutting for the finishing turning operation were determined.

The practical significance of the obtained results arises from the fact that during the experimental variation of the results of the automated calculation of cutting modes, which made it possible to set up rational cutting modes with accuracy for parts of the RN 19.013.120.01 shaft, and to ensure a longer period of tool stability and increase productivity, meeting the requirements for the roughness of the cylindrical surface shaft at the finishing stage of turning.

SHAFT, TECHNOLOGICAL PROCESS, CUTTING TOOL, TURNING
OPERATION, TURNING, ROUGHNESS, MACHINING

ЗМІСТ

.....	с.
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	12
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис їх конструктивних особливостей та умов експлуатації	12
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення	15
1.3 Характеристика типу та організаційної форми виробництва.....	16
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	19
1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі.....	20
1.6 Висновок та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	21
2 УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	22
2.1 Літературний огляд сучасних досліджень проблем оброблюваності сталей на високопродуктивному обладнанні з ЧПК з використанням сучасного різального інструменту	22
2.2 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального	26
2.3 Обґрунтування способу отримання, розрахунок та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної заготовки	28
2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки	31
2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів	33
2.7 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів.....	35
2.8 Визначення режимів різання та технічне нормування операцій.....	40
2.9 Висновок	44
3 ДОСЛІДЖЕННЯ СПРЯМОВАНЕ НА УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ	45

3.1	Методологія дослідження та планування експерименту	45
3.2	Експериментальне дослідження	48
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	54
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	56
	Додаток А ЗАЯВА ТА ІНФОРМАЦІЙНА ДОВІДКА	59
	Додаток Б КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ	62
	Додаток В КРЕСЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ.....	64
	Додаток Г АВТОМАТИЗОВАНИЙ ВИБІР РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	66
	Додаток Д РЕЗУЛЬТАТИ ВІРТУАЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	87
	Додаток Є ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	89

ВСТУП

Актуальність теми. Деталь вал РН 19.013.120.01 є частиною об'ємного відцентрового двоступінчастого насоса, що використовується для перекачування рідини: води, нафти, або нагнітання тиску. Основним робочим органом насоса є робоче колесо, що монтується на деталі вал, формуючи складальну одиницю ротора насоса. Оскільки вал РН 19.013.120.01 є тілом обертання з відношення діаметру до довжини більше 5, процес його механічної обробки ускладнюється необхідністю забезпечення жорсткості деталі у процесі точіння. У контексті підвищення конкурентоздатності виробів вітчизняного виробництва заслуговують уваги питання пов'язані з удосконаленням технологічного процесу механічної обробки. На сьогоднішній день залишається актуальним питання зниження технологічної собівартості виробництва деталі вал. Вирішення цієї проблеми можливе за рахунок автоматизації вибору різального інструменту, раціонального вибору режимів різання та заміни верстатів на більш продуктивні, що і визначило хід подальших досліджень.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення деталі вал РН 19.013.120.01, токарна операція з ЧПК.

Предмет дослідження – період стійкості інструменту, технологічні фактори, температура різання, сила різання, шорсткість поверхні.

Мета кваліфікаційної роботи. Виконати удосконалення технологічного процесу виготовлення вала РН 19.013.120.01 шляхом автоматизації вибору різального інструменту та режимів різання на токарній операції.

Завдання дослідження:

- 1) проаналізувати типовий технологічний процес виготовлення валу, визначити його недоліки;
- 2) розробити удосконалений технологічний процес виготовлення валу;
- 3) вибрати сучасні верстати на операції механічної обробки та реалізувати автоматизований вибір ріжучого інструменту та режими різання для обраних операцій;
- 4) експериментально вивчити вплив режимів різання на шорсткість обробленої поверхні, температури різання, сили різання;

5) засобами дисперсійного аналізу, виконати аналіз впливу режимів різання на шорсткість, стійкість різального інструменту, температуру різання, силу різання для чистової токарної обробки.

Методи дослідження. Виконання кваліфікаційної роботи здійснювалося з використанням основ технології машинобудування. При визначенні раціональної геометрії різальних пластин було використано засоби автоматизації, що були реалізовані у програмному середовищі Sandvik Tool Guide. Для визначення раціональних режимів різання було проведено віртуальний експеримент у емуляторі процесу точіння. Планування експерименту здійснювалося за методикою повно факторного експерименту типу 2^2 . Математична обробка результатів експериментального дослідження здійснювалася з використанням дисперсійного аналізу у середовищі програми Minitab.

Наукова новизна одержаних результатів: на основі дисперсійного аналізу було визначено основні технологічні фактори та ступінь їх впливу на якість обробленої поверхні, період стійкості різального інструменту, температуру в зоні різання, тангенціальну складову сили різання для чистової токарної операції.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, у експериментальній верифікації результатів автоматизованого розрахунку режимів різання, що дозволило визначити раціональні режими різання при точінні для деталі вал РН 19.013.120.01, та забезпечити більший період стійкості інструменту та підвищення продуктивності, дотримуючись вимог по шорсткості циліндричної поверхні валу на чистовій стадії токарної обробки.

Особистий внесок магістранта. Магістрантом було виявлено недоліки існуючого технологічного процесу виготовлення деталі вал РН 19.013.120.01. Виконано автоматизований підбір інструменту та режимів різання. Експериментально досліджено вплив режимів швидкості та подачі на фізичні та техніко-економічні показники процесу різання.

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 вал РН19.013.120. є частиною горизонтального двоступеневого відцентрового насоса з горизонтальним роз'ємом ЦНС, що працює у важких умовах (рис. 1.1). Відцентрові насоси, являють собою вид обладнання, що призначений за закачування спеціальних агрегатних рідин у нафтоносні шари для створення там тиску. В принцип роботи насосу покладено дію відцентрових сил, що створюються робочими колесами змонтованими валі. Основні характеристики насоса наведені у таблиці 1.1.

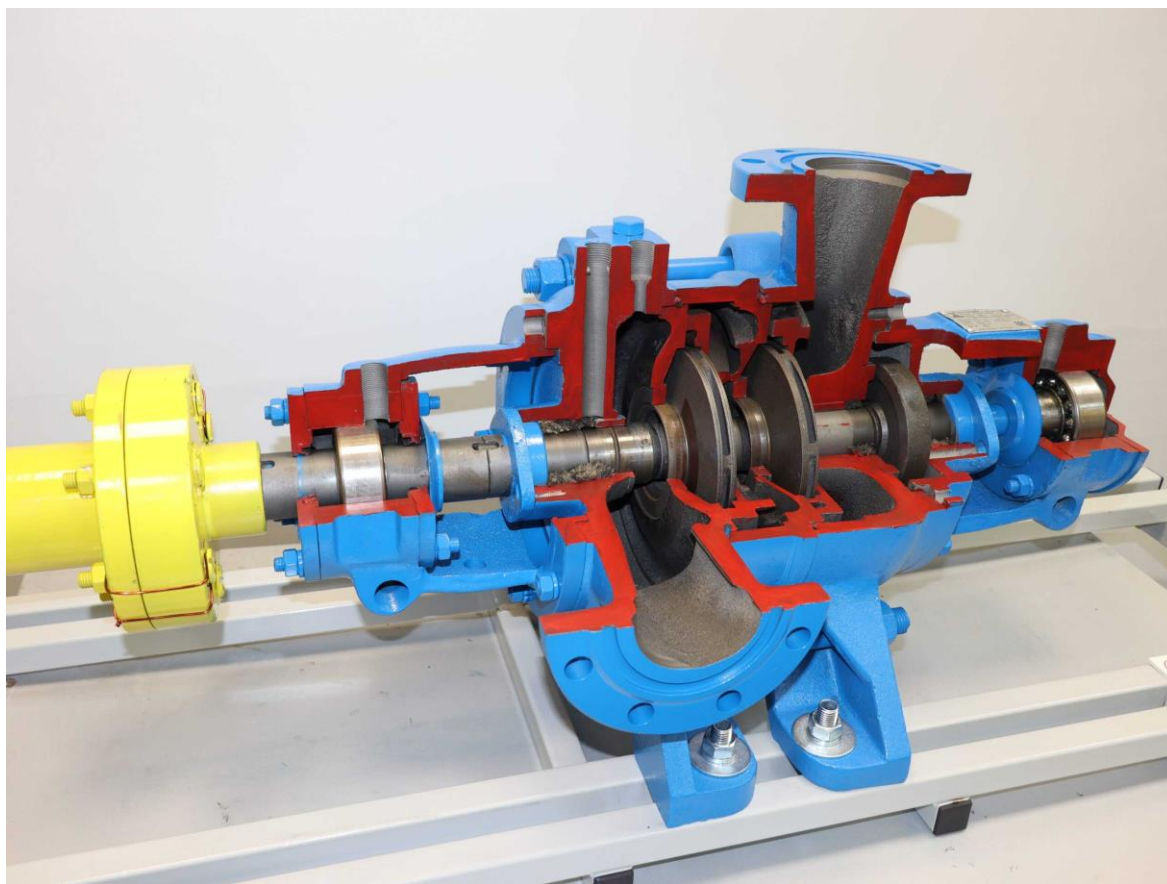


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд відцентрового насоса ЦНС 90

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики насоса ЦНС 90

Подача, (кг/м ³)	Напор, (м)	Тиск, (бар)	Температура, (°С)	Потужність двигуна, (кВт)	Довжина, (мм)	Ширина, (мм)	Висота, (мм)
1600	600	80	400	40	4500	3100	3250

Відповідно деталь вал РН19.013.120 є частиною складальної одинці вузла ротора. Відцентровий агрегат складається з: спірального корпусу та робочих коліс змонтованих на валу. Вал, в своє чергою, обертається в підшипниках. На вході в насос наявний приймальний зворотний клапан, оснащений сіткою що при передпусковою заливкою заливці стримує рідину в порожнині корпусу і всмоктувального патрубку, засувка на всмоктувальному патрубку, вакуумметр (для виміру розрідження на стороні всмоктування).

При роботі деталь вал відмежована від зовнішнього середовища. Основною причиною відмов є руйнування в наслідок дії втомних напружень металу від знакозмінних навантажень. У якості додаткового фактору негативного впливу на термін служби деталі є абразивний вплив часточок у перекачуваннях сумішах.

Виконаємо аналіз основних, допоміжних конструкторських баз, виконавчих та вільних поверхонь (рис.1.2).

- виконавчі поверхні: 18, 19, 27, 28, 2, 3, 15, 33, 34, 40, 39, 36, 36, 38, 11, 12, 23, 22, 5, 6.

- основні конструкторські бази: 15, 33, 34.

- допоміжні конструкторські бази: 18, 19, 27, 28, 2, 3, 15, 33, 34, 40, 39, 36, 36, 38, 11, 12, 23, 22, 5, 6, 25, 26, 29.

- вільні поверхні: інші.

Для закріплення деталі у корпусі та підшипниках слугують поверхні 15, 33. Циліндрична поверхня та її торець 34, використовується для упирання в підшипники.

Робочі колеса монтується на валу за допомогою пазу 18, циліндричної поверхні 19, відповідно пазу 27 та поверхня 28. По поверхням 40, 39, 37 та 36 видувається монтаж стопорного кільця.

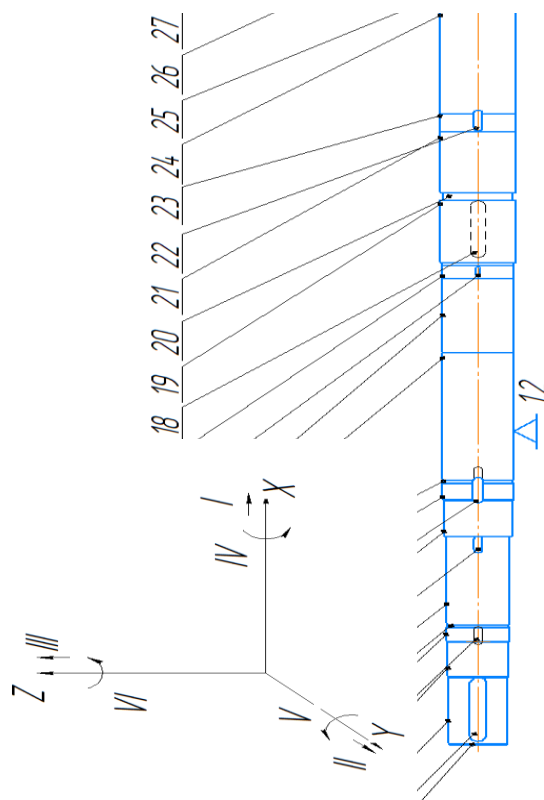


Рисунок 1.2 – Ескіз деталі

Таблиця 1.2 – Аналіз схеми базування деталі у складальній одиниці

Зв'язок	Ступінь вільності	Найменування баз
1,2,3,4	II, III, V, VI	Подвійна напрямна база (ПНБ)
5	I	Опорна база (ОБ)
Вакансії		

Таблиця 1.3 – Матриця зв'язків

Зв'язок	X	Y	Z	База
1	0	1	1	ПНБ
α	0	1	1	
1	1	0	0	ОБ
α	0	0	0	
1	0	0	0	-
α	0	0	0	

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

У результаті вивчення робочого креслення деталі вал було визначено, що наявні проекція та розрізи є достатньою мірою інформативними для виготовлення деталі правильно розміщені та оформлені згідно ДСТУ Б А.2.4-4-2009, має необхідні розрізи та виносні види для деталізації розмірів канавок.

Вал РН19.013.є тілом обертання типу вал ступінчастий з пазами. Габарити деталі : $\varnothing 95 \text{ max} \times 2462 \text{ мм}$ та масою $m = 116 \text{ кг}$.

Велика довжина деталі при малих діаметрах робить його нежорстким, оскільки відношення довжини до діаметра складає 26.

Матеріал: сталь 40Х ГОСТ 4543-71, див. таблиці 2.1, 2.2.

Матеріали-замінники: сталь 45Х, сталь 38ХА, сталь 40ХН, сталь 40ХС ,сталь 40ХФА ,сталь 40ХГТР.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад сталі 40Х, у відсотках

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,36-0,4	0,17-0,37	0,5-0,8	до 0,3	до 0,035	до 0,035	0,8-1,1	до 0,3

Таблиця 1.5 - Механічні властивості при підвищених температурах сталі 40Х

t випробування, °C	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b, МПа	δ_5, %	ψ, %	KCU, Дж/м²
Закалка 830 °C, масло. Отпуск 550 °C					
200	700	890	15	42	114
300	680	830	17	58	
400	610	670	18	68	98
500	430	490	21	80	78

Обробка деталі, що може бути здійснена з максимальною продуктивністю праці та мінімальною собівартістю вважається.

Матеріал деталі – сталь 40Х може бути замінена сталлю 45Х, 40ХН, 40ХС , 40ХФА, 40ХГТР тому з точки зору матеріалу її можна вважати технологічною.

Технічні вимоги та умови на виробництво деталі значною мірою залежать від вимог креслення та її службового призначення. З аналізу робочого креслення випливає, що наявні на ньому проекції та перетини подані у достатній кількості. Їх розміщення відповідає чинним стандартам. У повному обсязі наведені позначення розмірів, їх точність, шорсткість оброблених поверхонь, конкретизовані технічні вимоги на виготовлення деталі.

Розмірна точність по 6 квалітету має бути забезпечена на операції шліфування, що дозволить забезпечити точність з'єднання приєднуваних деталей, гарантувати мінімально необхідні зазорів при установці робочих коліс та розвантажувального диска.

Згідно з технічними вимоги та згідно зі стандартом ДСТУ 4.070.014 на поверхні деталі мають бути відсутні такі дефекти як вм'ятини та подряпини, тріщини, задирки, розшарування матеріалу, гострі кромки, висота мікронерівностей має відповідати класу шорсткості поверхонь.

У відповідності з технічними вимогами креслення розмірна точність вільних поверхонь типу отвір має відповідати 14 квалітету – H14, валів – h14, інших поверхонь – $\pm IT12/2$.

Гострі кромки повинні бути притуплені радіусом не більше 1 мм або фаскою не більше 1 мм під кутом 45° .

Допускається виготовлення з прокату в термічно обробленому стані. Контролю піддати кожну заготовку. Матеріал повинен бути стійким проти міжкристалічної корозії.

1.3 Характеристика типу та організаційної форми виробництва

Структура технологічного процесу механічної обробки значною мірою залежить від типу виробництва й форма організації.

Стандартом ДСТУ 3.1108-94 регламентовано, що тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій Кз.о. Цей коефіцієнт засвідчує

співвідношення кількості не ідентичних операцій, що виконуються підрозділом до кількості робочих місць []. Визначаємо тип виробництва через розрахунок $K_{з.о}$.

Вихідною інформацією є:

Обсяг річного випуску – $N_p = 115$ шт.;

- нормативний коефіцієнт завантаження обладнання для дрібносерійного – $\eta_{з.н.} = 0,75$ [6];

- кількість механічних операцій базового технологічного процесу – 12;

- штучний час обробки деталі за операціями – обираємо відповідно до норм за базовим технологічним процесом (табл. 1.6);

- режим роботи підприємства – у 2 зміни;

- дійсний річний фонд часу роботи обладнання – $F_d = 4015$ год [2].

Виконаємо розрахунок необхідної кількості обладнання за формулою 1.1:

$$m_p = \frac{N_p \cdot T_{шт}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н.}} \quad (1.1)$$

Таблиця 1.6 – Розрахунок коефіцієнту закріплення операцій $K_{з.о}$

№ операції	Найменування операції	$T_{шт}$	m_p	P	$h_{з.ф}$	O
1	2	3	4	5	6	7
1	Фрезерно-центрувальна	22,78	0,0145	1	0,0145	51,73
2	Свердлильна	20,92	0,0133	1	0,0133	56,32
3	Токарно-гвинторізна	48,28	0,0307	1	0,0307	24,41
4	Токарно-гвинторізна	34,60	0,0220	1	0,0220	34,06
5	Токарно-гвинторізна	35,80	0,0228	1	0,0228	32,91
6	Токарно-гвинторізна	33,70	0,0215	1	0,0215	34,96
7	Токарно-гвинторізна	39,70	0,0253	1	0,0253	29,68
8	Кругошліфувальна	24,90	0,0158	1	0,0158	47,32
9	Токарно-гвинторізна	39,00	0,0248	1	0,0248	30,21
10	Токарно-гвинторізна	38,90	0,0248	1	0,0248	30,29
11	Кругошліфувальна	29,60	0,0188	1	0,0188	39,81
12	Кругошліфувальна	21,34	0,0136	1	0,0136	55,22
Сумма:				12		466,92

Кількість робітників для кожної операції:

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = 1 \text{ особа.}$$

Фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця по кожній операції [2]:

$$\eta_{з.ф} = m_p / P \quad (1.2)$$

Кількість операцій, виконуваних на даному робочому місці [2]:

$$O = \eta_{з.н} / \eta_{з.ф} \quad (1.3)$$

Коефіцієнт закріплення операцій $K_{з.о}$:

$$K_{з.о} = \Sigma O / \Sigma P = 466,92 / 12 = 38,91.$$

Визначене розрахункове значення коефіцієнта закріплення операцій знаходиться у діапазоні 20 -40, таким чином обґрунтовано визначаємо що серійність та форма організації виробництва деталі вал відповідає дрібносерійному типу виробництва.

У дрібносерійному виробництві рекомендовано використовувати універсальне і спеціалізоване обладнання. Заохочується широке використання верстатів з ЧПК, обробних центрів. Найбільш поширеним є використання універсального технологічного оснащення. Поширеними є універсально-збірні та переналаштовуване технологічне оснащення. Найбільш поширеним методом забезпечення точності є метод автоматичного отримання розмірів, також для чорнових операцій застосовується метод пробних ходів і промірів.

Кваліфікація робітників комбінована і передбачає одночасну роботу у колективі робітників високої кваліфікації, що виконують роботи на складних універсальних верстатах, та робітники-оператори, що працюють на попередньо налагоджених верстатах і мають нижчу кваліфікацію.

Доцільна форма організації виробництва є предметна (групова). Заготовки обробляють на верстатах партіями із місцями для зберігання поблизу робочого місця.

Згідно з [2] визначимо партію запуску виробів за спрощеною формулою

$$N = \frac{N \cdot a}{259} \quad (1.4)$$

де a – число діб, на яку потрібно мати запас деталей (періодичність запуску – випуску, відповідна складання), 24 шт.

N – річна програма випуску деталей- 115 шт.

F – число робочих днів в 2023 році- 254 діб.

$$n_{\text{зап}} = \frac{24 \cdot 115}{254} = 11 \text{ шт.}$$

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Вал РН19.013.120 є довгим ступінчастим циліндром зі шпонковими пазами з найбільшим діаметром 96 мм та загальною довжиною 2462 мм, не компактна конструкція є нетехнологічною ознакою. Велика довжина деталі та малий її діаметр роблять конструкцію досить не жорсткою.

Матеріал деталі – сталь 40Х ГОСТ 4543-71, є дуже поширеним і дешевим матеріалом, який також відносно легко обробляється різанням та має багато замінників. У зв'язку з відповідальним призначенням деталі до її матеріалу пред'являються підвищені вимоги якості.

Заготовка – прокат, має конфігурацію стандартної не складної геометричної фігури циліндра.

З точки зору механічної обробки деталь досить проста і відкрита, до всіх оброблюваних поверхонь є вільний доступ. Деталь має ряд якісних поверхонь, які можуть використовуватися в якості технологічних баз.

У конструкції деталі має місце ряд «класних» поверхонь, наявність яких є нетехнологічним ознакою, так як ускладнює обробку заготовки, вимагає додаткових чистових етапів обробки та застосування обладнання підвищеної точності тощо:

- а) циліндрична поверхня $\varnothing 90h6$ ($Ra = 3,2$ мкм, допуск радіального биття – 30 мкм);
- б) циліндрична поверхня $\varnothing 95js6$ ($Ra = 3,2$ мкм, допуск радіального биття – 30 мкм);
- в) циліндрична поверхня $\varnothing 80h6$ ($Ra = 3,2$ мкм, допуск радіального биття

– 30 мкм);

Проставлення розмірів деталі виконано правильно, що поєднує технологічні і вимірювальні бази. Це дає змогу усунути похибки базування при механічній обробці заготовки та підвищує точність обробки поверхонь деталі, що також є технологічним фактором.

На кресленні деталі використовується комбінований метод проставляння розмірів, що дає змогу забезпечити зручність їх вимірюванні в процесі обробки. В цілому розмірні ланцюги забезпечують однозначне визначення всіх конструктивних елементів деталі.

1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі

Виконаємо аналіз базового технологічного процесу, виробництва деталі вал на підприємстві. У базовому процесі послідовність операцій технологічного процесу цілком відповідає загальноприйнятим. Технологічний процес виготовлення деталі та обладнання операції наведено в таблиці 1.7

Таблиця 1.7 – Базовий технологічний процес

№ операції	Найменування операції	Обладнання
1	2	3
025	Фрезерно-центрувальна	2Г9408
030	Свердлильна	2А554
035	Токарно-гвинторізна	1М62
040	Токарно-гвинторізна	1М62
045	Токарно-гвинторізна	1М62
055	Токарно-гвинторізна	1М62
060	Токарно-гвинторізна	1М62
070	Кругошліфувальна	3А172
075	Токарно-гвинторізна	1М62
080	Токарно-гвинторізна	1М62
090	Кругошліфувальна	3А172
095	Кругошліфувальна	3А172

Базовий технологічний процес складено з дотриманням основних принципів технології машинобудування. У його структурі прослідковується стадійність видалення припуску. Однак зазначене у технологічному процесі обладнання є застаріле. Крім того поява сучасних інструментальних матеріалів та верстатів вдосконаленої конструкції дозволяє відмовитись від деяких механічних операцій, зокрема круглошліфувальної, замінивши їх на операції тонкого точіння.

1.6 Висновок та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

Отже, при виконанні кваліфікаційної роботи необхідно реалізувати наступні завдання:

- Визначитись із заготовкою та методом її отримання, що буде відповідати типу виробництва та буде максимально економічно доцільним.
- Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі вал, розробивши раціональні варіанти реалізації технологічного процесу;
- Запропонувати моделі сучасного металорізального обладнання на заміну застарілих верстатів базового технологічного процесу;
- Реалізувати автоматизований вибір продуктивного різального інструменту для обробки поверхонь обертання на токарних операціях у середовищі програмного продукту Sandvik Tool Guide;
- Виконати планування експериментального дослідження за методикою повнофакторного експерименту
- Провести віртуальний експеримент по дослідженню впливу режимів різання для автоматизовано обраного різального інструменту обраного, на шорсткість обробленої поверхні, тангенціальну складову сили різання, температуру різання та стійкість інструменту.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Літературний огляд сучасних досліджень проблем оброблюваності сталей на високопродуктивному обладнанні з ЧПК з використанням сучасного різального інструменту

Виробники в усьому світі постійно шукають способи знизити витрати на виробництво, щоб залишатися стійкими та конкурентоспроможними на ринку. Механічна обробка металу — це операція з доданою вартістю, під час якої невідповідний розмір і форма сировини перетворюються на точні розміри та високоякісні продукти за допомогою різучих інструментів, верстатів і навколишнього середовища. Традиційні виробничі процеси, такі як лиття, формування, кування тощо, не здатні створити бажану форму, розмір, точність і готовий продукт, що вимагає використання механічної обробки для задоволення потреб як виробників, так і користувачів. Доступна велика кількість звичайних методів обробки, а саме: точіння, фрезерування, стругання, шліфування, розточування тощо. Обробка заготовок із загартованої сталі привертає велику увагу завдяки різноманітним застосуванням в автомобілях, прес-інструментах, прес-формах, зубчатих передачах, підшипникової та авіаційної промисловості, як показано на малюнку 1 [1]. Раніше для обробки загартованої сталі використовувався лише процес шліфування. Протягом двох десятиліть застосування процесу токарної обробки для механічної обробки загартованої сталі набуло популярності через низку проблем (низька швидкість зняття металу, низька продуктивність, менша гнучкість, низький час налаштування та циклу, а також висока економічна ефективність) у процесі шліфування та розробка токарного інструменту нового покоління. Тверде точіння було популярним терміном для процесу точіння загартованої сталі (45–68 HRC). Токарна обробка — це вид механічної обробки, при якому циліндрична поверхня загартованої сталі (45–68 HRC) обробляється одноточковими різальними інструментами [2–5].

Процес жорсткого точіння був винайдений в автомобільній промисловості для обробки матеріалу, який важко різати, у цеху для виробництва різних деталей, включаючи трансмісійні вали, роликові підшипники, колінчасті вали, шатунні валики та різні автомобільні деталі. Він також знаходить застосування в галузях виготовлення штамів і прес-форм, оскільки його робота полягає в наданні форми сировині (загартованій сталі) для перетворення її на штамп або форму. Жорстке точіння широко використовується в аерокосмічній промисловості, оскільки воно використовується для виготовлення деталей аерокосмічного двигуна, які потребують максимальної точності та високої якості готової продукції [2,5]. Застосування твердого точіння в різних секторах стало можливим в основному завдяки розробці матеріалів для ріжучих інструментів і нових методів покриття поверхні. Усі ці застосування твердого точіння свідчать про те, що воно успішно замінило традиційний процес шліфування. Жорстке точіння часто називають «фінішне жорстке точіння» через його широке застосування в чистових операціях під час механічної обробки компонента. В даний час процес твердого точіння термічно оброблених сталей вигідно замінив циліндричне шліфування завдяки своїм величезним перевагам [2,5].

- Нижче споживання енергії
- Вища швидкість знімання матеріалу
- Менші інвестиції в верстати
- Нижча вартість обробки за одиницю
- Багаторазова обробка в одній установці
- Вища гнучкість для розміщення складних контурних частин
- Підходить для переривчастої обробки
- Мінімальний запас інструменту
- Екологічно чистий
- Низька залишкова напруга
- Поліпшення якості поверхні
- Підвищена точність розмірів і форм

- Вигідно для надійності процесу

Жорстке точіння має переваги в покращенні якості поверхні в порівнянні з процесами шліфування завдяки впровадженню нового покоління ріжучих інструментів і передових систем охолодження при твердому точінні. Загалом, шорсткість поверхні більше 1,6 мікрон була встановлена як межа браку при шліфуванні металів, що важко ріжуться [6,7]. За Пуерто [8], діапазон шорсткості поверхні, отриманої в процесі шліфування, коливався від 0,1 мкм до 2 мкм. Кілька дослідницьких статей повідомляють про значення шорсткості поверхні в межах згаданого діапазону від 0,1 мікрона до 2 мікрон або менше 1,6 мікрона. Озел та ін. [9] виявили шорсткість поверхні (0,259 і 0,38 мкм) при твердому точінні з глибиною різання 0,254 мм і подачею 0,05–0,08 мм/об. Під час твердого точіння сталі AISI D2 з використанням охолодження кукурудзяним маслом-MQL, Арсен та ін. [10] виявили значення шорсткості в діапазоні 0,151–0,452 мкм. Чоудхурі та Чінчанікар [1] також показали якісні переваги жорсткого шліфування, використовуючи радарний графік, показаний на малюнку 2. Окрім переваг, дослідники також повідомили про деякі обмеження, які перераховані нижче [2]:

- Вартість інструментів значно більша, ніж шліфування.

- Виникає стукіт через високий тиск різання при точінні довгих і тонких виробів.

- Для більш високого ступеня точності необхідний високожорсткий верстат.

- Якість виготовленої поверхні та точність розмірів погіршувалися із зростанням зносу інструменту навіть за граничного критерію довговічності інструменту.

- Залишкова напруга та утворення білого шару на готовій поверхні сповільнюють продуктивність обробки.

Точіння твердих деталей (НРТ) є усталеним процесом завдяки його численним перевагам перед операцією шліфування, таким як висока швидкість видалення матеріалу, скорочення часу різання, зниження вартості виробництва та більша гнучкість [1]. Використання звичайного CBN інструменту є досить поширеним для

згаданого процесу, і він вважається ідеальним ріжучим матеріалом для обробки твердих і абразивних заготовок завдяки високій хімічній і термічній стабільності, а також розжаренню. Виробники інструментів постійно розробляють нові різальні інструменти зі зміненою геометрією/покриттям/субмікронним розміром зерна для покращення оброблюваності. У цьому контексті для інструментів CBN була розроблена модифікована геометрія інструменту під назвою вставка Xcel. За тією ж аналогією розвитку геометрії інструменту також були розроблені нові матеріали для заготовок, одним із прикладів є сталь DC 53. Цей матеріал зробив революцію в інструментальних сталях серії D, забезпечивши більш високу міцність без шкоди для твердості. Він має низький вміст вуглецю та хрому з вагою 1% та 8% відповідно порівняно з D2, але додавання молібдену (Mo), ванадію (V) та вольфраму (W) допомагає підтримувати високу твердість [2]. Поліпшення міцності пояснюється тим, що напруги були зареєстровані в компонентах, точених за допомогою вставки Xcel на відміну від стираючого інструменту, який вважається хорошим для довговічності компонента. Однак дані про довговічність інструменту та якість поверхні не обговорювалися. Самарджіова [19] оцінила продуктивність модифікованої CBN геометрії Xcel зі звичайною пластиною з точки зору довговічності інструменту під час жорсткого точіння сталі Cr6 (60 HRC). Використані параметри: $V_c = 125$ м/хв, $f_r = 0,2$ мм/об, $a_{doc} = 0,1$ мм. Інструмент Xcel показав 33 хвилини служби, що на 17% вище, ніж звичайний CBN інструмент, який руйнувався через 28 хвилин. З наведеного вище обговорення стає цілком очевидним, що конфігурація Xcel перевершила склоочисник і звичайний інструмент, але для оцінки повного потенціалу цих пластин для різних марок сталі необхідно провести ретельне дослідження. Сталь DC53, яка розглядається як потенційна заміна сталі AISI D2 завдяки її різноманітним перевагам (обговорюваним вище); останній має багато застосувань у виготовленні інструментів для холодного формування, таких як пуансони, виштовхувальні штифти та вставки для матриць [20], де токарна обробка є основним процесом. Тому ці вставки оцінюються на сталі DC 53. Відповідно до Voing та ін. [21] для

загартованих сталей (AISI 4340, AISI 52,100 та AISI D2), 50HRC вважається критичним значенням твердості, оскільки інтенсивність зношування інструменту різко змінюється вище та нижче критичного значення твердості. Перехід у поведінці зношування та морфології стружки зі зміною твердості заготовки також описано в посиланні [22]. Таким чином, мета цього дослідження полягає в тому, щоб оцінити продуктивність CBN модифікованої пластини при точінні інструментальної сталі DC53 на двох різних рівнях твердості (40 і 60 HRC). У цьому контексті дане дослідження має на меті оцінити продуктивність модифікованих пластин Xcel під час точіння сталі DC 53 з точки зору: довговічності ріжучого інструменту, механізму зношування інструменту, шорсткості поверхні, об'єму видаленого матеріалу, споживаної енергії машини та температури зони обробки. Інструмент дисперсійного аналізу (ANOVA) використовується для аналізу впливу твердості заготовки, швидкості різання, швидкості подачі та глибини різання на вищезгадані вихідні характеристики. Крім того, генеруються графіки основних ефектів, щоб з'ясувати тенденцію проти вихідних відповідей.

2.2 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

Початковою інформацією для реалізації для цього є розуміння технології обробки типових деталей. У основі створення ТП механічної обробки покладено принципи диференціації чи концентрації механічних операцій. Таким чином для одиничного та дрібносерійного типів виробництв є характерним використання принципу концентрації операцій, що має на увазі реалізації більшої кількості операцій на одному робочому місці. Це обумовлено недоцільністю зменшити додаткового переміщення заготовок між верстатами на виробничій дільниці. Разом з тим диференціація операцій передбачає розділення операції на більшу кількість дрібніших операцій, що є виправданим при великосерійному та масовому виробництві, оскільки обладнання налаштовується на один чи декілька елементарних ходів [41].

Проектування маршрутного ТП має відбуватися з огляду на нижченаведені обставини:

- провадити проектування ТП з дотриманням принципу поетапності видалення припуску, що реалізується послідовним виконанням чорнових, а потім чистових стадій механічної обробки;
- обробка чорнових баз має виконуватись у першу чергу на чорнових операціях.
- При призначенні технологічних баз необхідно враховувати принцип постійності та принцип суміщення баз.

Базовий ТП деталі вал витворено у відповідності з принципами стадійності та послідовності видалення припуску. Враховуючи структуру базового ТП деталі вал та досягнення інженерної науки та техніки перспективним є удосконалення технологічного процесу механічної обробки шляхом заміни операцій абразивної обробки, зокрема круглошліфувальних на операції тонкого точіння. Подібне удосконалення має бути виконано у рамках підходу концентрації механічних операцій. Крім того, це дозволить відмовитися від морального застарілого обладнання, зокрема круглошліфувальних верстатів замінивши їх сучасними токарними оброблювальними центрами. Однак подібна заміна не є самодостатньою дією і потребує визначення різального інструменту, який дозволить розкрити технологічні можливості токарного оброблювального центру з системою ЧП, та гарантовано забезпечити параметри точності та якості оброблених поверхонь (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Удосконалений технологічний процес оброблення деталі вал

№ операції	Найменування операції	Обладнання
1	2	3
025	Фрезерно-центрувальна	2Г9408
030	Свердлильна	2А554
035	Токарно-гвинторізна	1М62
040	Токарна з ЧПК	DOOSAN PUMA 2600
045	Токарна з ЧПК	DOOSAN PUMA 2600
055	Токарна з ЧПК	DOOSAN PUMA 2600
060	Токарна з ЧПК	DOOSAN PUMA 2600

Розглянемо більш детально зміст проаналізованих механічних операцій та заміненіх операцій круглошліфування (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Деталізація переходів механічних операцій технологічного процесу виготовлення деталі вал

Нумерація та назва операції	Зміст операції та переходів
040 Токарна напівчистова з ЧПК	Встановити, закріпити, зняти 1. Підрізати торець Ø100 як чисто; 2. Точити поверхню в Ø98h14 на довжину 1047 мм; 3. Точити поверхню в Ø96h14 на довжину 944 мм; 4. Точити поверхню в Ø87h14 на довжину 634 мм; 5. Точити поверхню в Ø83h14 на довжину 110 мм; Витримавши шорсткість Ra 6,3 мкм
055 Токарна чистова з ЧПК	Встановити, закріпити, зняти 1. Точити поверхню в Ø75,5 h9 на довжину 130 мм; 2. Точити поверхню в Ø76,5 h9 на довжину 68 мм; 3. Точити поверхню в Ø80,5 h9 на довжину 170 мм; 4. Точити поверхню в Ø86,5 h9 на довжину 69 мм; 5. Точити поверхню в Ø90,5 h9 на довжину 244 мм; 6. Точити поверхню в Ø95,5 h9 на довжину 120 мм; Витримавши шорсткість Ra 3,2 мкм
060 Токарна за ЧПК (тонке точіння)	Встановити, закріпити, зняти 1. Точити поверхню в Ø75 k6 на довжину 130 мм; 2. Точити поверхню в Ø76 h6 на довжину 68 мм; 3. Точити поверхню в Ø80 h6 на довжину 170 мм; 4. Точити поверхню в Ø86 h6 на довжину 69 мм; 5. Точити поверхню в Ø90 h6 на довжину 244 мм; 6. Точити поверхню в Ø95 js6 на довжину 120 мм; Витримавши шорсткість Ra 1,6 мкм

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

З метою економії матеріалу і зменшення витрат праці на механічну обробку, форма заготовки має максимально наближатися до форми деталі. Це дозволяє знизити трудомісткість механічного оброблення і технологічну собівартість виготовлення деталі. Форма заготовка має дозволяти провадити обробку з якомога меншою кількістю установів і з використанням меншої кількості різального

інструменту. Матеріал заготовки має бути позбавлений тріщин та розшарувань або інших дефектів формування.

Запропонуємо спосіб отримання заготовки методом лиття в пісочні форми, замість заводського варіанту методом прокату.

Вхідні дані:

Форма деталі: вісе симетричне тіло обертання.

Матеріал деталі- мало легована конструкційна сталь.

Виробнича програма- 115 шт.

Маса деталі- 116 кг.

Остаточний висновок про раціональність способу отримання заготовки зробимо після економічного обґрунтування. Визначимо технологічну собівартість виготовлення заготовки за формулою [2]:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_b \cdot k_m \cdot k_n \right) - (Q - q) \cdot \left(\frac{S_{\text{вдх}}}{1000} \right) \quad (2.1)$$

де C_i – базова вартість 1 т заготовок, грн;

k_m – коефіцієнт класу точності виливка;

k_c – коефіцієнт групи складності виливка;

k_g – коефіцієнт маси виливка;

k_m – коефіцієнт марки матеріалу виливка;

k_n – коефіцієнт об'єму виробництва заготовок;

Q – маса виливка, кг;

q – маса готової деталі, кг;

$S_{\text{вдх}}$ – вартість 1 т відходів, грн

Для лиття у піщано-глинисті форми вище перелічені коефіцієнти мають такі значення [2]:

- $k_t = 1,0$ – для 3-го класу точності;

- $k_c = 0,7$ – для 1-й групи складності виливок

- $k_b = 0,84$;

- $k_m = 1,0$;

- $k_p = 1,0$ – для 3-ї групи серійності при річній програмі випуску 115 штук

Вартість 1 т литва сталі 40Х у піщано-глинисті форми дорівнює: $C_1 = 62400$ грн; вартість відходів дорівнює: $S_{вдх} = 5600$ грн; маса заготовки: $Q_1 = 131$ кг; маса готової деталі: $q = 116$ кг. У такому випадку собівартість одержання заготовки у піщано-глинисті форми дорівнюватиме:

$$S_{заг1} = \left(\frac{62400}{1000} \cdot 131 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \right) - (131 - 116) \cdot \left(\frac{5600}{1000} \right) = 4722 \text{ грн.}$$

Вартість заготовок, що одержуються з прокату [2]:

$$S_{пр} = M + \Sigma C_{o.3}, \quad (2.2)$$

де M – витрати на матеріал заготовки, грн;

$\Sigma C_{o.3}$ – технологічна собівартість операції розрізання, правки.

Технологічна собівартість різних операцій:

$$C_{o.3} = (C_{п.з} \cdot T_{шт.к}) / (60 \cdot 100),$$

де $C_{п.з}$ – наведені витрати на робочому місці, коп/год;

$T_{шт.к}$ – штучно-калькуляційний час операції, хв.

Згідно з заводськими даними для різних технологічних операцій маємо:

- для операції правки : $C_{п.з} = 16000$ коп/год, $T_{шт.к} = 30$ хв;
- для операції розрізання: $C_{п.з} = 19000$ коп/год; $T_{шт.к} = 40$ хв.

$$\Sigma C_{o.3} = (16000 \cdot 30) / (60 \cdot 100) + (19000 \cdot 40) / (60 \cdot 100) \approx 206 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріал заготівлі визначаються за формулою:

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \cdot S_{отх} / 1000, \quad (2.3)$$

де Q – маса заготовки, кг;
 S – ціна 1 кг матеріалу заготовки, грн;
 q – маса готової деталі;
 $S_{\text{вдх}}$ – ціна 1 т відходів, грн.

При масі заготовки $Q = 131$ кг; маса готової деталі $q = 116$ кг; вартість сталі 40Х – $S = 32000$ грн/т; вартість відходів $S_{\text{вдх}} = 3800$ грн, отримуємо витрати на матеріал:

$$M = 131 \cdot 32 - (131 - 116) \cdot 3800 / 1000 \approx 4135 \text{ грн.}$$

Таким чином, собівартість заготовок, що одержуються з прокату дорівнює:

$$S_{\text{пр}} = 4135 + 206 \approx 4341 \text{ грн.}$$

Аналіз сказаного віддає перевагу заготовці у вигляді прокату круглого гарячекатаного згідно з ДСТУ 2590-*

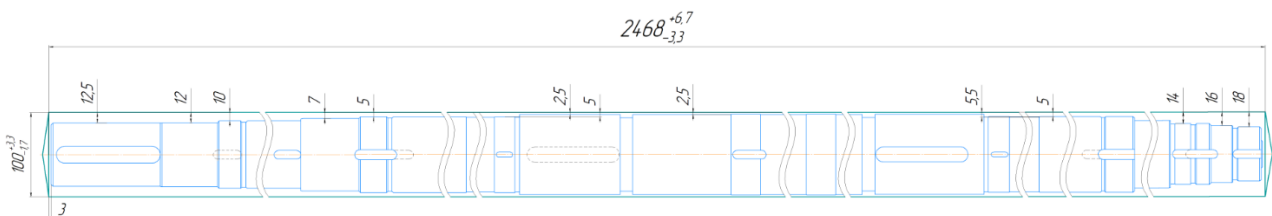


Рисунок 2.1- Ескіз заготовки

2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки

Задачею операції 040 є забезпечення точності лінійних розмірів $110(+0,87;0)$, $944(+2,3;0)$, $634(+2;0)$ та $103(+0,87;0)$ мм (рис. 2.2). Ця вимога буде витримана, тому, що технологічна база (ТБ) та вимірювальна (ВБ) збігаються для розмірів $110(+0,87;0)$, $944(+2,3;0)$, $634(+2;0)$ мм з дотриманням похибка базування рівної нулю. Для розміру $103(+0,87;0)$ мм можлива похибка базування:

$$\varepsilon_{\phi_{103}} = T_{944_{H14}} = 2,3 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{\phi_{103}} = 2,3 \text{ мм} > T_{103} = 0,87 \text{ мм}$$

Таким чином, запропонована схема базування може не забезпечити виконання розміру 103H14. Для гарантування забезпечення розмірної точності $\phi 103_{h14}$ та за умови використання запропонованої схеми базування необхідно підвищити квалітет розміру 944 до 11:

$$\varepsilon_{\phi_{103}} = T_{944_{H11}} = 0,56 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{\phi_{103}} = 0,56 \text{ мм} < T_{103} = 0,87 \text{ мм}$$

Пропонована схема базування забезпечує виконання розміру $\phi 103_{h14}$.

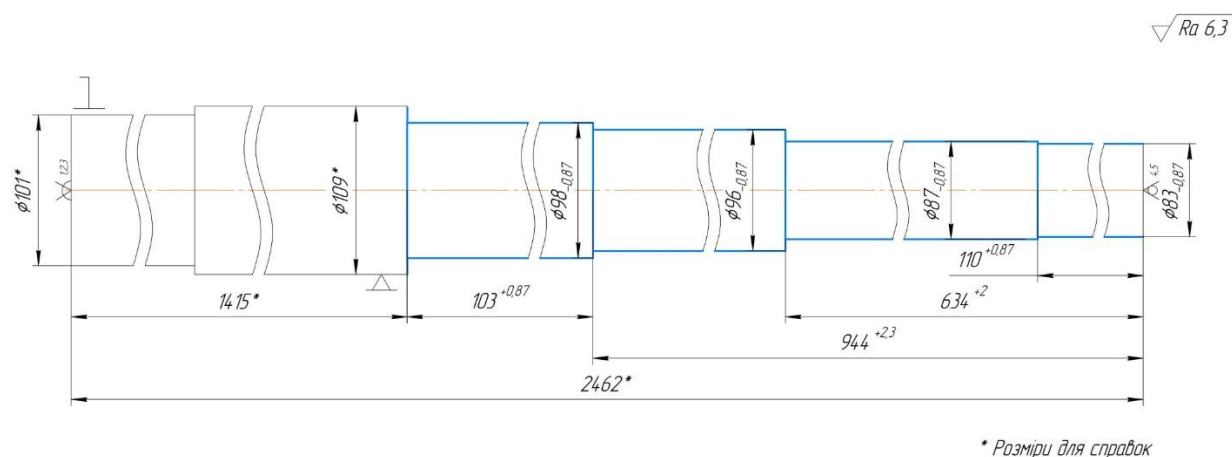


Рисунок 2.3 – Схема базування і закріплення заготовки на токарній операції з ЧПК

Точність усіх діаметральних розмірів буде забезпечена, оскільки механічне оброблення деталі здійснюється на токарному оброблювальному центрі зі базуванням у центрах і затисненням повідковим патроном. Це дозволить витримати на операції розмірну точність та точність взаємного розташування.

Запропонована схема обробки уможливілює вільний доступ різального інструменту до оброблювальних циліндричних поверхонь, а базування та закріплення деталі у центрах з повідковим патроном гарантує достатню жорсткість

технологічної системи верстат-заготовка-інструмент під час механічного оброблення на операції.

Спираючись на проведений аналіз можна дійти висновку, що структура операції складається із одного установа, 1 допоміжного та 7 технологічних переходів.

2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Верстати для операцій визначаються шляхом забезпечення вимог методичних вказівок [42]. Для цього при визначенні найбільш вдалого варіанту верстат необхідно:

- рахуватися з методом оброблення поверхонь деталі;
- переконатися у достатній потужності двигуна обраного центру, що може бути досягнуте шляхом порівняння необхідної для стружки утворення потужності та пониженої на ККД потужності шпинделя головного руху.
- пересвідчитися що габаритні розміри робочої зони верстату є достатніми для проведення необхідних маніпуляцій з базування та закріплення деталі, а переміщення виконавчих органів верстата є можливим для оброблення усіх необхідних поверхонь згідно маршруту оброблення;
- упевнитися, що обраний центр підходить для визначеного типу виробництва, а його використання з економічної точки зору є доцільним;
- визначити чи максимальна доступна для встановлення кількість різальних інструментів у магазині центру є достатньою для здійснення запланованих на технологічній операції переходів.

У базовому технологічному процесі для токарної оброблення було запропоновано використовувати токарно-гвинторізний верстат моделі 1М62, технологічні можливості якого дозволяють оброблювати зовнішні поверхні (діаметром > 400 мм) та внутрішні поверхні (довжиною > 1000 мм) що у осьових перерізах мають ступінчатий чи криволінійний профіль. Для виконання заміни

металообробного верстата на механічних операціях 040 Токарна напівчистова з ЧПК, 055 Токарна чистова з ЧПК та 060 Токарна з ЧПК (тонке точіння) визначаємо що токарний верстат DOOSAN PUMA 2600 відповідає технологічним вимогам на розглянуті операції. Порівняння характеристик обох типів верстатів (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Порівняння характеристик верстатів токарно-гвинторізного верстата 1М62 та токарного обробляючого центру DOOSAN PUMA 2600

Характеристики	Одиниця вимірювання	1М62	DOOSAN PUMA 2600
Частота обертання шпинделя	об/хв	2500	4000
Максимальний діаметр оброблення	мм	320	480
Потужність головного приводу	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

З огляду на наведені характеристики Таким чином, можемо зробити висновок що обробляючий центр DOOSAN PUMA 2600 перевищує за характеристиками токарно гвинторізний верстат що до удосконалення технологічного процесу використовувався на токарній операції. Тому призначимо верстат DOOSAN PUMA 2600 та токарну напівчистову та токарну чистову операції. Використання системи ЧПК дозволяє збільшити продуктивність та точність обробки.



Рисунок 2.5 – Верстат Doosan PUMA 2600

2.7 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів

Розвиток сучасних інформаційних технологій та автоматизація процесу вибору різального інструменту дозволяє швидко визначити геометричні параметри режими різання для конкретних умов оброблення. Крім того, подібний підхід дозволяє знизити вплив людського фактору та зменшити можливі помилки. Найбільш вдало автоматизований алгоритм вибору різального інструменту був реалізований компанією Sandvik Coromant, що дозволяє врахувати усі аспекти вибору різального інструменту. Таким чином раціонально обрати саме програмний продукт цієї компанії для подальшого автоматизованого визначення різального режиму для потреб технологічного процесу оброблення деталі вал.

Виконаємо автоматизований вибір різального інструменту на операцію 040 Токарна з ЧПК.

Першим кроком є визначення типу оброблюваного матеріалу. На кресленнику зазначено, що матеріалом заготовки є сталь 40X у англійській версії програми це відповідає і сталі 40Ch (рис.2.6.). Обираємо верстат, з каталогу програми Sandvik Coromant Tool Guide, що відповідає потужності призначеного верстату у п. 2.6. поточного розділу. Основними критеріями при виборі верстат є та максимальна частота обертання шпинделя, та потужність різання. Після цього необхідно призначити припуск на механічну обробку для токарної напівчистої операції 040 Токарна з ЧПК. Після запуску пошуку за сформованим запитом програмою Tool Guide було виведено результат з переліком запропонованих варіантів (рис.2.6).

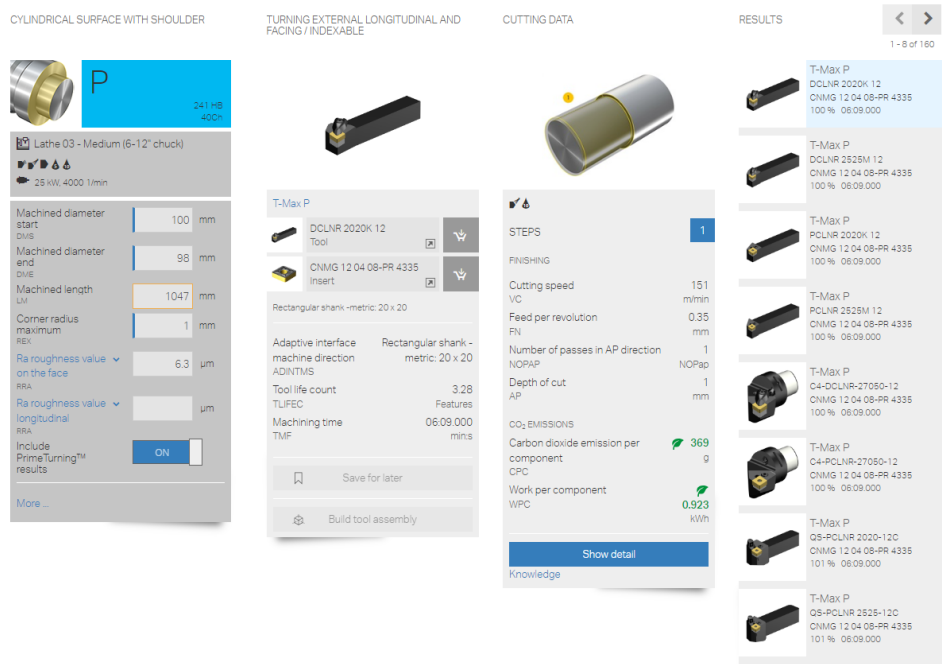


Рисунок 2.6 – Результат визначення варіанту різального інструменту для операції 040 Токарна з ЧПК (для зовнішнього повздовжнього точіння)

За результатами автоматизованого підбору програмі Tool Guide було визначено, що найбільш вдалим варіантом є різальна пластина CNMG 12 04 08-PR 4335 з наступними основними геометричними характеристиками (табл. 2.5)

Таблиця 2.5 – Геометричні параметри змінних не переточуваних пластин (напівчистова обробка)

Маркування пластини	Головний кут в плані (φ°)	Кут при вершині (ε°)	Допоміжний кут в плані (φ'°)	Задній кут (α°)	Радіус при вершині (r , мм)
CNMG 12 04 08-PR 4335	95	80	5	1	0,8

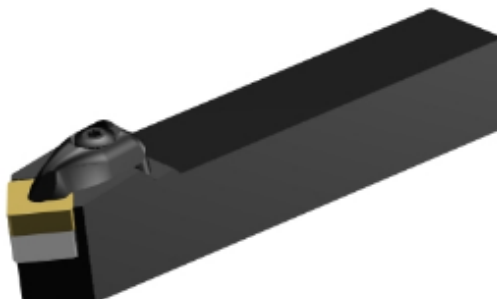


Рисунок 2.7 – Маркування корпусу різця для напівчистої обробки DCLNR 2020K 12

З маркування корпусу різця вказує на те що це правий прохідний різець для зовнішньої токарної обробки (Рис.2.8). Різець оснащений жорсткою системою фіксації різальної пластинки за допомогою прихвату зверху пластини гвинтом та посадковим місцем для ромбічної різальної пластинки. Поперечний переріз державки різця 20x20 мм, довжина 125 мм.

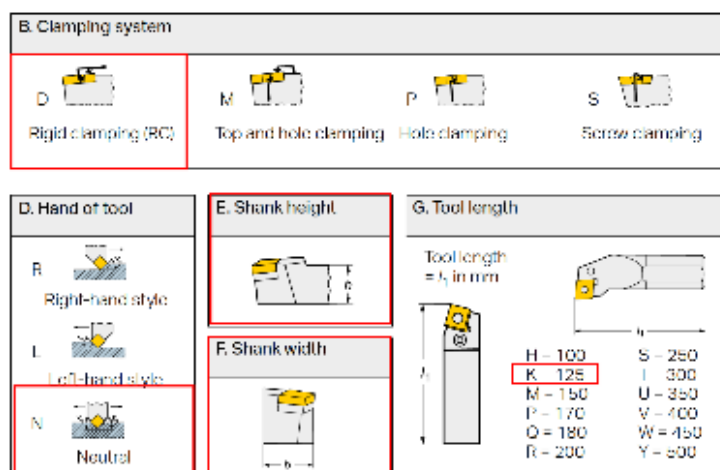


Рисунок 2.8.- Схема декодування маркування різця

Визначимо конструкцію та різальну пластинку для розточування циліндричного отвору деталі гільза, виконавши той самий алгоритм дій (Додаток Г)

Засобами автоматизованого вибору різального інструменту були визначено маркування пластин та державок для кожного переходу операції 040 Токарна, що узагальнено у таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Різальний, вимірювальний та допоміжний інструмент на операції 040 Токарна з ЧПК

Номер переходу	Адаптер	Пластинка	Державка
Підрізати торець Ø100 як чисто;	Не потрібен	CNMG 12 04 08-PR 4335	DCLNR 2020K 12
Точити поверхню в Ø98h14 на довжину 1047 мм;	Не потрібен	CNMG 12 04 08-PR 4335	DCLNR 2020K 12
Точити поверхню в Ø87h14 на довжину 634 мм;	Не потрібен	CNMG 12 04 08-PR 4335	DCLNR 2020K 12
Точити поверхню в Ø83h14 на довжину 110 мм;	Не потрібен	CNMG 12 04 08-PR 4335	DCLNR 2020K 12
Вимірювальний та допоміжний інструмент	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ДСТУ 166-98; Штангенциркуль ШЦ-II-300-0,1 ДСТУ 166-98 Обертовий центр 7100-0011 ДСТУ 2675-98. Повідковий патрон 7100-0011 ДСТУ 2675-98.		

Виконаємо автоматизований вибір різального інструменту на операцію 055 Токарна з ЧПК (чистова) за аналогічним алгоритмом, як і для попередньої операції та запишемо отримані результати у таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Геометричні параметри змінних пластин (чистова обробка) для операції 055 Токарна з ЧПК чистова

Маркування пластини	Головний кут в плані (ϕ°)	Кут при вершині (ϵ°)	Допоміжний кут в плані (ϕ'°)	Задній кут (α°)	Радіус при вершині (r , мм)
CNMG 12 04 08-PR 4335	95	80	5	1	0,8

Таблиця 2.8 – Геометричні параметри змінних пластин (чистова обробка) для операції 055 Токарна з ЧПК чистова

Маркування пластини	Головний кут в плані (ϕ°)	Кут при вершині (ϵ°)	Допоміжний кут в плані (ϕ'°)	Задній кут (α°)	Радіус при вершині (r , мм)
CP-B1208D-M5W 4425	95	60	25	1	0,8

У якості державки для пластини CP-B1208D-M5W 4425 рекомендовано використати CP-25BR-2020-12.

Виконуючи аналогічний алгоритм визначимо маркування різальних пластин та державок для операції 055 Токарна з ЧПК (табл.2.9)

Таблиця 2.9 – Різальний, вимірювальний та допоміжний інструмент на операції 055 Токарна з ЧПК

Номер переходу	Адаптер	Пластинка	Державка
Точити поверхню в $\varnothing 75,5$ h9 на довжину 130 мм	Не потрібен	CNMG 12 04 08-PR 4335	DCLNR 2020K 12
Точити поверхню в $\varnothing 76,5$ h9 на довжину 68 мм;	Не потрібен	CNMG 12 04 08-PR 4335	DCLNR 2020K 12
Точити поверхню в $\varnothing 80,5$ h9 на довжину 170 мм;	Не потрібен	CNMG 12 04 08-PR 4335	DCLNR 2020K 12
Точити поверхню в $\varnothing 86,5$ h9 на довжину 69 мм;	Не потрібен	CP-B1208D-M5W 4425	CP-25BR-2020-12
Точити поверхню в $\varnothing 90,5$ h9 на довжину 244 мм;	Не потрібен	CP-B1208D-M5W 4425	CP-25BR-2020-12
Точити поверхню в $\varnothing 95,5$ h9 на довжину 120 мм;	Не потрібен	CP-B1208D-M5W 4425	CP-25BR-2020-12
Вимірювальний та допоміжний інструмент	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ДСТУ 166-98; Мікрометр МР-100 Трьохкулачковий самоцентруючийся патрон 7100-0011 ДСТУ 2675-98.		

Таблиця 2.10 – Геометричні параметри змінних пластин (чистова обробка) для операції 060 Токарна з ЧПК (тонке точіння)

Маркування пластини	Головний кут в плані (φ°)	Кут при вершині (ε°)	Допоміжний кут в плані (φ'°)	Задній кут (α°)	Радіус при вершині (r , мм)
CNMG 09 03 04-ММ 1125	95	80	5	1	0,4

У якості державки для пластини CNMG 09 03 04-ММ 1125 рекомендовано використати DCLNR 2020K09.

Таблиця 2.11 – Різальний, вимірювальний та допоміжний інструмент на операції 060 Токарна з ЧПК (тонке точіння)

Номер переходу	Адаптер	Пластинка	Державка
Точити поверхню в $\varnothing 75$ k6 на довжину 130 мм, витримавши шорсткість Ra 1,6	Не потрібен	CNMG 09 03 04-ММ 1125	DCLNR 2020K09
Точити поверхню в $\varnothing 76$ h6 на довжину 68 мм, витримавши шорсткість Ra 1,6	Не потрібен	CNMG 09 03 04-ММ 1125	DCLNR 2020K09
Точити поверхню в $\varnothing 80$ h6 на довжину 170 мм, витримавши шорсткість Ra 1,6	Не потрібен	CNMG 09 03 04-ММ 1125	DCLNR 2020K09
Точити поверхню в $\varnothing 86$ h6 на довжину 69 мм, витримавши шорсткість Ra 1,6	Не потрібен	CNMG 09 03 04-ММ 1125	DCLNR 2020K09
Точити поверхню в $\varnothing 90$ h6 на довжину 244 мм, витримавши шорсткість Ra 1,6	Не потрібен	CNMG 09 03 04-ММ 1125	DCLNR 2020K09
Точити поверхню в $\varnothing 95$ js6 на довжину 120 мм, витримавши шорсткість Ra 1,6	Не потрібен	CNMG 09 03 04-ММ 1125	DCLNR 2020K09
Вимірювальний та допоміжний інструмент	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ДСТУ 166-98; Мікрометр МР-100 Трьохкулачковий самоцентруючийся патрон 7100-0011 ДСТУ 2675-98.		

2.8 Визначення режимів різання та технічне нормування операцій

Оскільки програма Sandvik Tool Guide є автоматизованим програмним продуктом оптимізованим під вибір раціональних режимів різання для різального інструменту виробництва компанії Сандвік. Тож програму були запропоновані режими різання для обробки поверхонь на операціях 040 Токарна з ЧПК, 055 Токарна з ЧПК а 060 Токарна з ЧПК (рис.2.9).

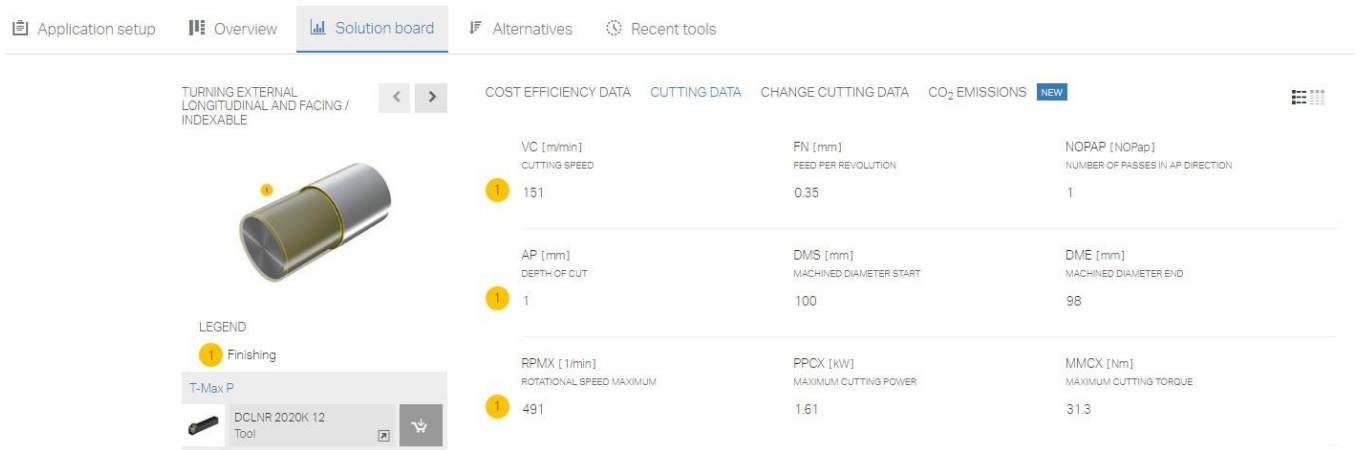


Рисунок 2.9 – Режими різання для зовнішнього циліндричного точіння на операції 040 Токарна з ЧПК.

Узагальнимо результати автоматизованого визначення режимів різання, по кожній операції окремо. розрахунку припуску, часу та потужності різання за усіма переходами операції 040 Токарна з ЧПК (табл.2.12).

Таблиця 2.12 – Режими різання на операції 040 Токарна з ЧПК

Опис переходу	v , (м/хв)	f , (мм/об)	ap , (мм)	n , (об/хв)	N_p , (кВт)	$M_{кр}$, (Нм)	T_o , (хв)	Період стійкості, (хв)
Точити поверхню в $\varnothing 98h14$ на довжину 1047 мм;	151	0,35	1	491	1,61	31,3	6,1	20
Точити поверхню в $\varnothing 96h14$ на довжину 944 мм;	151	0,35	1	501	1,61	30,6	5,5	20
Точити поверхню в $\varnothing 87h14$ на довжину 634 мм;	151	0,35	1	553	2,95	56,3	6,75	20
Точити поверхню в $\varnothing 83h14$ на довжину 110 мм;	151	0,35	1	580	3,01	49,6	0,5	20

Таблиця 2.13 – Режими різання на операції 055 Токарна з ЧПК

Опис переходу	v, (м/хв)	f, (мм/об)	ap, (мм)	n, (об/хв)	Pr, (кВт)	Мкр, (Нм)	To, (хв)	Період стійкості, (хв)
Точити поверхню в Ø75,5 h9 на довжину 130 мм	151	0,35	1	637	1,61	24,1	0,5	20
Точити поверхню в Ø76,5 h9 на довжину 68 мм;	151	0,35	1	629	1,61	24,4	0,3	20
Точити поверхню в Ø80,5 h9 на довжину 170 мм;	151	0,35	1	598	1,61	25,7	0,9	20
Точити поверхню в Ø86,5 h9 на довжину 69 мм;	284	0,25	1	1040	5,06	46,3	0,2	20
Точити поверхню в Ø90,5 h9 на довжину 244 мм;	284	0,25	1	998	5,06	48,4	0,5	20
Точити поверхню в Ø95,5 h9 на довжину 120 мм;	284	0,25	1	953	5,03	50,4	0,3	20

Таблиця 2.14 – Режими різання на операції 060 Токарна з ЧПК

Опис переходу	v, (м/х в)	f, (мм/ об)	ap, (мм)	n, (об/хв)	Pr, (кВт)	Мкр, (Нм)	To, (хв)	Період стійкості, (хв)
Точити поверхню в Ø75 k6 на довжину 130 мм, витримавши шорсткість Ra 1,6	205	0,14 6	0,25	870	0,354	3,88	1,02	20
Точити поверхню в Ø76 h6 на довжину 68 мм, витримавши шорсткість Ra 1,6	205	0,14 6	0,25	859	0,354	3,93	0,5	20
Точити поверхню в Ø80 h6 на довжину 170 мм, витримавши шорсткість Ra 1,6	205	0,14 6	0,25	816	0,354	4,14	1,5	20
Точити поверхню в Ø86 h6 на довжину 69 мм, витримавши шорсткість Ra 1,6	205	0,14 6	0,25	769	0,354	4,45	0,7	20
Точити поверхню в Ø90 h6 на довжину 244 мм. витримавши шорсткість Ra 1,6	205	0,14 6	0,25	725	0,354	4,66	0,5	20
Точити поверхню в Ø95 js6 на довжину 120 мм, витримавши шорсткість Ra 1,6	205	0,14 6	0,25	687	0,354	4,92	1,18	20

Оформимо дані для технічного нормування операцій механічної обробки в узагальнюючу таблицю для зручності виконання розрахунку (Табл.2.15).

Таблиця 2.15 – Вхідні дані для нормування операцій

Вхідні дані	040 Токарна з ЧПК	055 Токарна з ЧПК	060 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 прохідний	різець прохідний
Вимірювальний інструмент	Штангенциркулі ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80;	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80; Мікрометр МР-100	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80; Мікрометр МР-100
Основний час T_o , хв	18,85	2,7	5,4
Машинно-допоміжний час $T_{мд}$, хв	0,94 хв	0,06 хв	0,25

Використовуючи дані спочатку необхідно визначити норму штучного часу:

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

$$T_{шт} = (T_{ца} + T_d \cdot K) \cdot \left(1 + \frac{(\alpha_{тех} + \alpha_{орг} + \alpha_{отл})}{100} \right), \quad (2.4)$$

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:

$$T_{ца} = \Sigma T_o \cdot \Sigma T_{мд}, \quad (2.5)$$

$(\alpha_{тех} + \alpha_{орг} + \alpha_{отл})$ - 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_d – норма допоміжного часу – це час на дії, які дають можливість виконувати основну роботу

$$T_d = T_{вст} + T_{оп} + T_{вим}, \quad (2.6)$$

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:

$$T_{штк} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} \quad (2.7)$$

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

Виконуємо розрахунок та заносимо отримані дані у таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Норми часу на токарні операції 040, 055, 060

	040 Токарна з ЧПК	055 Токарна з ЧПК	060 Токарна з ЧПК
T_o	18,85	2,7	5,4
$T_{мд}$	0,94	0,06	0,25
T_d	0,48	0,8	0,8
$T_{шт}$	1,42	2,90	2,90
$T_{пз}$	7	7	7
$T_{штк}$	1,48	2,93	2,93

2.9 Висновок

1. На основі літературного огляду наукових публікацій було зроблено висновок, що удосконалення процесу механічної обробки є актуальною інженерною задачею. Зважаючи на сучасний стан у розробці інструментальних матеріалів обмежувачим фактором є технологічні можливості верстатів. Однак для значної частини оброблюваних матеріалів, що оброблюються у рамках традиційної технології доцільно у першу чергу зосередитися на раціональному виборі різальних пластин та визначенні режимів різання.

2. На основі аналізу базового технологічного процесу було запропоновано обґрунтувати можливість заміни застарілого різального інструменту на операціях 040 Токарна, 055 Токарна з ЧПК. Також було запропоновано замінити операції Круглошліфувальні на операцію тонкого точіння 060 Токарна з ЧПК.

3. На основі розрахунків похибки базування, було визначено що запропонована структура технологічних операцій та схем базування та закріплення задовольняє вимогам точності до оброблюваних розмірів.

4. На основі автоматизованого вибору різального інструменту для операцій 040 Токарна та 055 Токарна з ЧПК та 060 Токарна з ЧПК було визначено конструкцію продуктивного інструмент та режими різання, з наступним нормування механічних операцій.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ СПРЯМОВАНЕ НА УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

3.1 Методологія дослідження та планування експерименту

За підсумками виконання другого розділу кваліфікаційної роботи були визначені геометрія та конструкцію інструменту, обраховані режими різання для кожного переходу для операцій 040 Токарна, 055 Токарна з ЧПК, 060 Токарна з ЧПК. З аналізу отриманих результатів випливає, що для подальшого наукового дослідження доцільно дослідити вплив швидкості різання, та подачі при механічній обробці Ø95js6, як найбільш точного на механічній операції 060 Токарна з ЧПК. Основною задачею віртуального експерименту буде виявлення залежностей між запропонованими програмою Sandvik Tool Guide режимами різання на шорсткості обробленої поверхні та стійкості різального інструменту, температуру різання та тангенціальна складова сили різання.

Статистичною основою для планування віртуального експерименту є методика повнофакторного експерименту. З огляду на кількість факторів скористаємося планом типу 2^2 . Отже, у рамках планування експерименту необхідно буде визначити рівні двох факторів, швидкості різання та подачі для варіювання. Основою для визначення верхнього та нижнього рівнів факторів стане швидкості різання та подачі запропоновані програмою Tool Guide.

Методика повнофакторного експерименту передбачає варіювання усіх можливих варіантів рівнів факторів. Під фактором розуміємо технологічні параметри, що змінюються у ході експерименту. Такими факторами є швидкість різання, та подача. Відповідно рівнями факторів є значення, які набуває фактор у кожному досліді. Виділяють декілька рівнів факторів. Зокрема, нульовим рівнем фактору визначено розрахункові значення швидкості різання та подачі, розраховані у інтерфейсі програми Sandvik Tool Service. Нижнім рівнем фактору є значення технологічного параметру на 10% менше ніж значення нульового рівня фактору. Верхнім рівнем фактору є значення технологічного параметру на 10% більше ніж

значення нульового рівня фактору. Заповнимо таблицю матрицю планування експерименту, варіюючи рівні факторів швидкості різання та подачі (Табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Вихідні дані для планування експерименту

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

Використаємо стандартну матрицю планування для повно факторного експерименту 2^2 (табл. 3.2)

Таблиця 3.2 – Кодування факторів повно факторного експерименту

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

** - значення глибини різання визначається зі звіту програми Sandvik Tool Guide.

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

- визначимо нижній рівень швидкості різання згідно формули 3.1, та округливши до цілого:

$$VC_1 = VC_0 - 10\%, \quad (3.1)$$

де VC_0 - значення швидкості різання визначене у програмі Tool Guide

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

$$VC_2 = VC_0 + 10\%, \quad (3.2)$$

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

$$VF_1 = VF_0 - 10\%, \quad (3.3)$$

де VF_0 - значення подачі визначене у програмі Tool Guide

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

$$VF_2 = VF_0 + 10\%, \quad (3.4)$$

Виконаємо обчислення за формулами 3.1-3.4 та запишемо отримані значення у таблицю 3.3

Таблиця 3.3 – Декодування рівнів факторів для операції 030 Токарна з ЧПК

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

Таблиця 3.4 – Таблиця варіювання режиму оброблення через частоту обертання шпинделя

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

Формалізуємо умови проведення віртуального експерименту (табл.3.5)

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

Таблиця 3.5 – Умови проведення віртуального експерименту

Параметр	Значення
Постійні параметри проведення експерименту	
Матеріал деталі	Сталь 40Х
Діаметр обробки	95мм
Довжина обробки	120 мм
Шорсткість поверхні	Ra 1,6
Тип операції	Чистова токарна операція
Маркування пластини	CNMG 09 03 04-ММ 1125
Геометрія різальної пластини	Головний кут в плані (φ°) – 95 Кут при вершині (ε°) – 80 Задній кут (α°) – 7

	Радіус при вершині (r, мм) – 0,4
Матеріал пластини	Твердий сплав
Змінні параметре віртуального експерименту (фактори)	
Швидкість різання, м/хв	Від 185 до 226
Подача, мм/об	Від 0,131 до 0,161

Виконаємо остаточну підготовку усіх необхідних параметрів для проведення віртуального експерименту(табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Узагальнена таблиця налаштування умов віртуального експерименту

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

Наведені у таблиці 3.6 значення параметрів будуть введені у відповідні поля стартової сторінки програми емулятора процесу точіння “Start”.

3.2 Експериментальне дослідження

Розрахунки проводимо в програмі “Start”. Заносимо дані з таблиці 3.6 у вікно програми (рис.3.1), та проводимо розрахунки. За один раз може бути виконано лише один дослід. Такими чаном, згідно матриці планування експерименту (табл.3.3, та табл.3.4) а також табл.3.6, виконаємо п’ять дослідів.

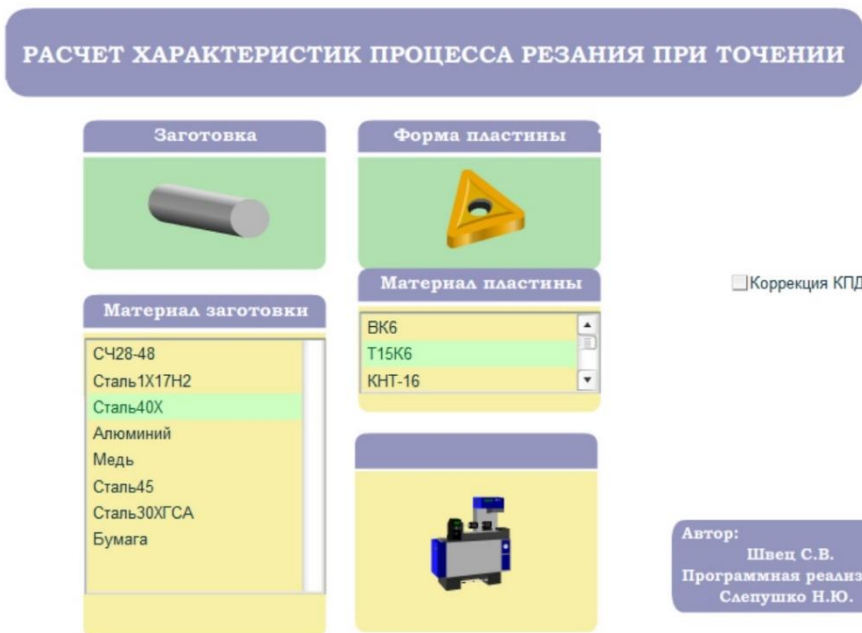


Рисунок 3.1 – Стартовое окно программы “Start”

Заносимо необхідні дані у відповідні комірочки програми “Start”. Та проводимо розрахунок для досліджу № 1. Отримані дані по кожному експерименту заносимо у таблицю 3.3. Докладні результати віртуального експерименту наведені у Додатку Д.

Геометрия резца						Размеры заготовки			Режим резания			
Главный угол в плане, ϕ						Длина, L			Подача, S			
Угол при вершине, ϵ						Диаметр, d			Обороты, n			
Вспомогательный угол в плане, ϕ'						Колич. дет., N			Глубина рез., t			
Задний угол, α						СМЕНИТЬ ЗАГОТОВКУ						
Радиус при вершине, r												
Предельный износ, h												
сила	температура	износ	коэф. усадки	ресурс резца	КПД системы							
$P_z=$	$\theta=$ °	$h_s=$	K=	R=	$\omega=$							
скорость	время	R_z	R_a	стойкость								
V=	$\tau=$	$R_z=$	$R_a=$	T=								
работа резания		$A_p=$										
предельная работа		A=										

Рисунок 3.2 – Интерфейс программы «Старт»

Таблиця 3.3 – Результати експерименту

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

Для візуалізації залежності використаємо метод дисперсійного аналізу (ANOVA). Це статистичний метод що використовується для аналізу варіацій між серединними значеннями груп.

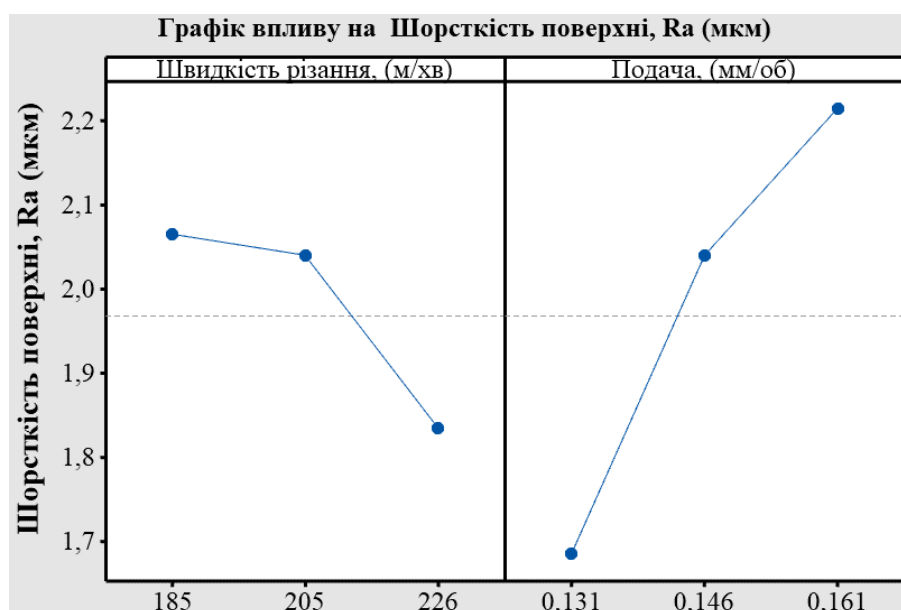


Рисунок 3.3 – Вплив режимів різання на шорсткість поверхні

Проаналізувавши графік залежності шорсткості від швидкості різання та подачі при чорновому точінні можна виявити, що зі зміною швидкості різання в діапазоні 185-226 м/хв. параметр шорсткості відповідно повільно зменшується з $Ra \approx 1,58$ мкм. до $Ra \approx 2,2$ мкм, бо при швидкостях різання більше 80 м/хв, наріст відсутній і параметр шорсткості очікується отримати близький до розрахункового. За результатами досліджу при збільшені подачі з 0,131 до 0,161 мм/об параметри

шорсткості за графіком суттєво збільшується з $Ra \approx 1.6$ мкм. До $Ra \approx 2,2$ мкм. Найбільший вплив на якість поверхні, що обробляється в заданому діапазоні подач (0,36-0,44 мм/об), надає подача, що значною мірою визначає мікрогеометрію отриманої поверхні - зі збільшенням подачі якість обробки поверхні значно погіршується, нерівності стають більшими, але при чорновій обробці це, як правило, має другорядне значення.

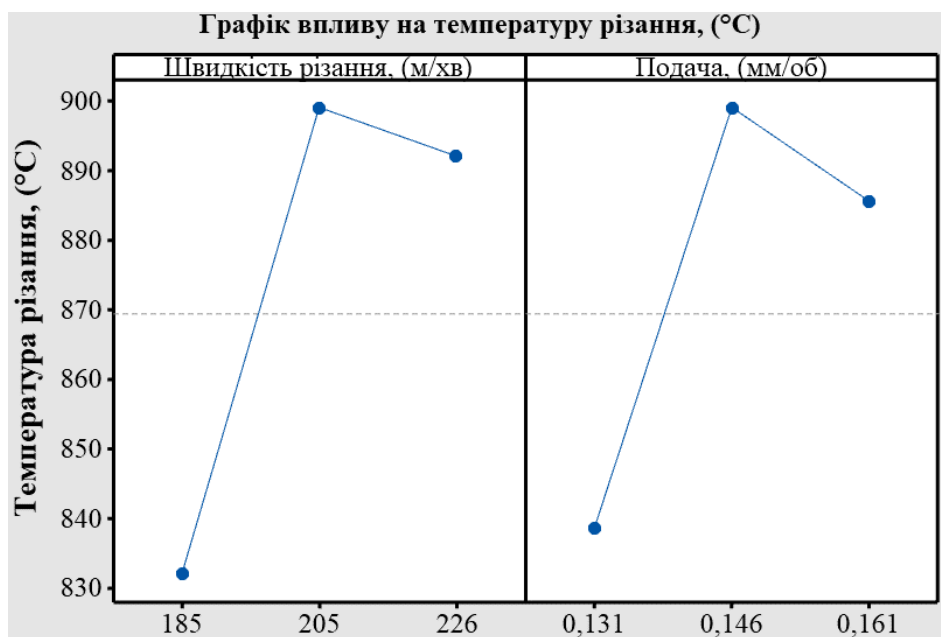


Рисунок 3.4 – Вплив режимів різання на температуру різання

З аналізу отриманих в результаті віртуального експериментального дослідження графіків залежності температури різання від швидкості різання в діапазоні 185-226 м/хв при чорновому точінні при збільшенні швидкості різання температура різання незначно збільшується в діапазоні 816 - 923 °C. Головним джерелом тепла в зоні різання є теплота тертя стружки по передній поверхні інструмента та теплота від деформації самої стружки. Тому при збільшенні швидкості різання підвищується робота тертя і, відповідно, кількість утвореної теплоти і температура на передній поверхні інструмента дещо зростає. Зі збільшенням подачі в діапазоні подач 0,131-0,161 мм/об також збільшується тепловий потік в тіло різця, а отже і температура різання суттєво зростає в діапазоні 816 - 923 °C, що значно впливатиме на стійкість пластини. Температура різання зростає внаслідок збільшення зрізаного шару металу заготовки, тиску стружки на передню поверхню

інструмента, збільшення роботи пластичної деформації та інших факторів. Можна побачити, що зі збільшенням як швидкості різання так і швидкості подачі пропорційна зростає і температура різання.

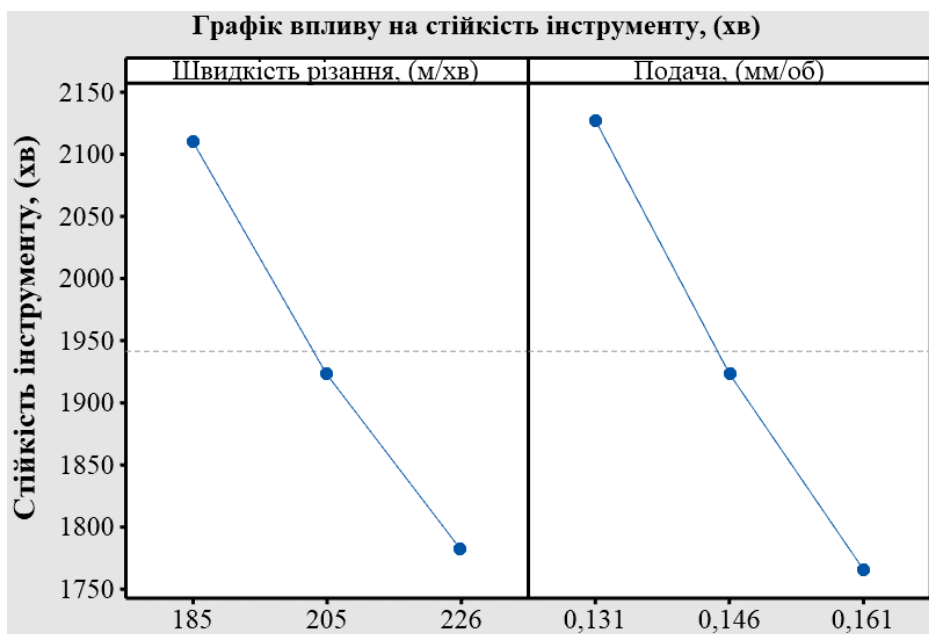


Рисунок 3.5 – Вплив режимів обробки на стійкість інструменту

Проаналізувавши графік залежності стійкості інструменту від швидкості різання при чорновому точінні можна виявити, що зі зміною швидкості різання в діапазоні 272-332 м/хв. стійкість різця відповідно зменшиться з ≈ 311 хв. До ≈ 254 хв. Збільшення швидкості різання приводить до значного зниження стійкості внаслідок збільшення шляху, що проходить різець по поверхні за одиницю часу, підвищення тиску на передню поверхню від швидкості сходження стружки та підвищення температури різання. Знання залежностей між швидкістю різання та стійкістю інструменту дозволяють вибирати оптимальні швидкості для отримання найбільшої продуктивності і найменшої собівартості обробки. Збільшення подачі в діапазоні подач 0,36-0,44 мм/об викликає зменшення стійкості з ≈ 309 хв. до ≈ 256 хв. Це відбувається внаслідок збільшення сил і роботи різання при деформації стружки більшої товщини, а отже і зростання тепла, що виділяється, і веде до зниження стійкості різця. Збільшення подачі значною мірою впливає на швидкість зносу різця, тому слід вибрати найбільшу допустиму припуском на обробку глибину різання, а потім підбирати оптимальну подачу з урахуванням стійкості пластини для

найбільшої продуктивності і найменшої собівартості обробки. Враховуючи результати вимірювання шорсткості та стійкості пластини інструменту при чорновому точінні можливе одночасне підвищення швидкості різання на 10% та підвищення подачі на 10% відносно розрахованих в програмі Sandvik ToolGuide™ режимів різання, що приведе до зменшення часу обробки поверхні на $\approx 21\%$ при зменшенні стійкості пластини на $\approx 16,8\%$ (з 277,9 хв в базовому до 231,3 хв в пропонованому варіанті), але потребуватиме обробки на верстаті з максимальною частотою обертання шпинделя більшою ніж 6600 хв-1.

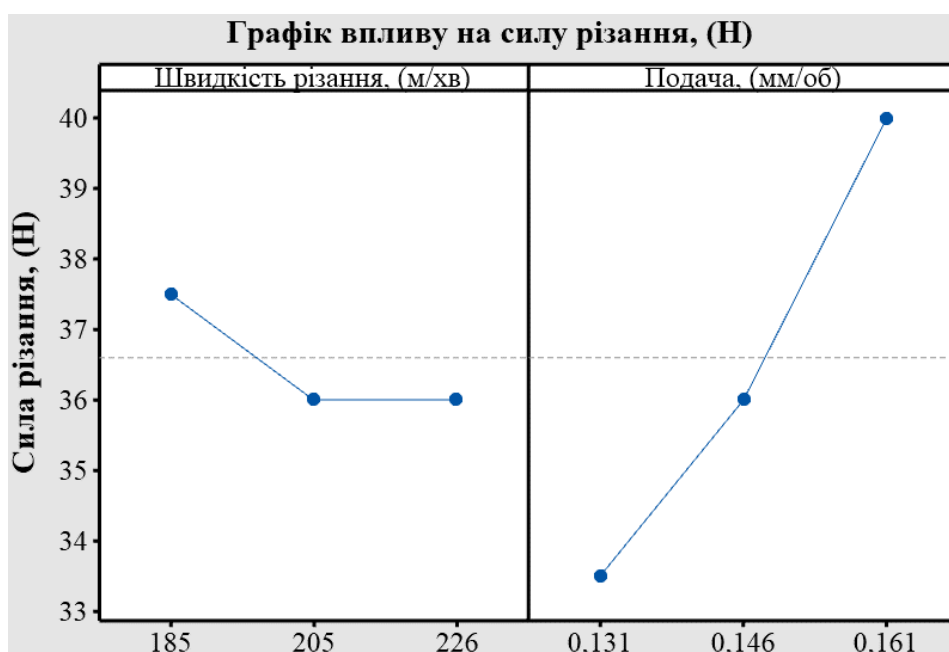


Рисунок 3.6 – Вплив режимів обробки на тангенціальну складову сили різання

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

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

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було виконано наступний обсяг робіт:

1. Було виконано аналіз службового призначення деталі, визначене призначення машини, вузла та деталі. Кресленик деталі було перевірено на предмет відповідності державним стандартам з оформлення конструкторської документації. Визначено тип виробництва, та спосіб отримання заготовки. Проаналізовано існуючий технологічний процес виготовлення деталі, визначено його недоліки.

2. Проведено аналіз літературних джерел присвячений токарній обробці сталі, та проблемам зниження зношення різального інструменту, що дозволило сформулювати задачі дослідження у рамках кваліфікаційної роботи та перевірити дослідницьку гіпотезу про можливість заміни круглошліфувальної операції на операцію тонкого точіння на верстаті з ЧПК.

3. Виконано удосконалення структури технологічного процесу виготовлення деталі вал, що полягало у концентрації механічних операцій, та заміні круглошліфувальної операції на операцію тонкого точіння.

4. Було виконано автоматизований вибір високопродуктивного різального інструменту виробництва компанії Sandvik засобами програми Tool Guide. Таким чином для усіх переходів операцій 040 Токарна, 055 Токарна з ЧПК та 060 Токарна з ЧПК, були визначені геометричні параметри та маркування різальних пластин та державок різців. Були раціональні режими різання.

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

6. У результаті виконання віртуального експерименту та обробки експериментальних даних за допомогою дисперсійного аналізу, було визначено, що для токарної обробки зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 95$ js6 раціонально призначити швидкість різання 226 м/хв та подачу 0,131 мм/об при глибині різання 0,25 мм, що відрізняється від запропонованих програмою Tool Guide швидкості

різання 205 м/хв та подачу 0,141 мм/об. Визначені у ході віртуального експерименту режими різання дозволяють забезпечити шорсткість обробки R_a 1,6 мкм.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Bartarya G, Choudhury SK (2012) State of the art in hard turning. *Int J Mach Tools Manuf* 53:1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijmactools.2011.08.019>
2. Kang J, Kim H, Son D et al (2018) Materials characterization hot-worked microstructure and hot workability of cold-work tool steels. *Mater Charact* 135:8–17. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2017.11.001>
3. Çardaklı İS, Kalkanlı A (2019) Effect of solidification rate on microstructure and primary carbides of AISI DC 53 cold work tool steel. *China Foundry* 16:211–216. <https://doi.org/10.1007/s41230-019-8134-6>
4. Fukaura K, Yokoyama Y, Yokoi D et al (2004) Fatigue of coldwork tool steels: effect of heat treatment and carbide morphology on fatigue crack formation, life, and fracture surface observations. *Metall Mater Trans A Phys Metall Mater Sci* 35(A):1289–1300. <https://doi.org/10.1007/s11661-004-0303-5>
5. Nawaz Y, Maqsood S, Naeem K (2018) Effect of input parameters of wire electric discharge machining on surface integrity of DC53 die steel. In: *Proc. of the 4th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET) 10–12 September, Islamabad, Pakistan. IEEE*, pp 1–6 <https://doi.org/10.1109/PGSRET.2018.8685955>
6. Kanlayasiri K, Boonmung S (2007) Effects of wire-EDM machining variables on surface roughness of newly developed DC 53 die steel: design of experiments and regression model. *J Mater Process Technol* 192–193:459–464. <https://doi.org/10.1016/j.jmatp rotec.2007.04.085>
7. Kanlayasiri K, Boonmung S (2007) An investigation on effects of wire-EDM machining parameters on surface roughness of newly developed DC53 die steel. *J Mater Process Technol* 187–188:26–29. <https://doi.org/10.1016/j.jmatp rotec.2006.11.220>
8. Huang Y, Liang SY (2005) Effect of cutting conditions on tool performance in CBN hard turning. *J Manuf Process* 7:10–16. [https://doi.org/10.1016/S1526-6125\(05\)70077-3](https://doi.org/10.1016/S1526-6125(05)70077-3)

9. Khamel S, Ouelaa N, Bouacha K (2012) Analysis and prediction of tool wear, surface roughness and cutting forces in hard turning with CBN tool. *J Mech Sci Technol* 26:3605–3616. [https:// doi. org/ 10. 1007/ s12206- 012- 0853-1](https://doi.org/10.1007/s12206-012-0853-1)
10. Patel VD, Gandhi AH (2019) Analysis and modeling of surface roughness based on cutting parameters and tool nose radius in turning of AISI D2 steel using CBN tool. *Meas J Int Meas Confed* 138:34–38. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. measu rement. 2019. 01.077](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.077)
11. Kumar S, Tamilselvan P, Feroskhan M et al (2023) Hard turning of AISI D2 steel with cubic boron nitride cutting inserts. *Mater Today Proc* 72:2002–2006. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. matpr. 2022. 07. 338](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.338)
12. Lin HM, Liao YS, Wei CC (2008) Wear behavior in turning high hardness alloy steel by CBN tool. *Wear* 264:679–684. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. wear. 2007. 06. 006](https://doi.org/10.1016/j.wear.2007.06.006)
13. Remadna M, Rigal JF (2006) Evolution during time of tool wear and cutting forces in the case of hard turning with CBN inserts. *J Mater Process Technol* 178:67–75. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. jmatp rotec. 2005. 03. 038](https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.03.038)
14. Kumar P, Chauhan SR (2015) Machinability study on finish turning of AISI H13 hot working die tool steel with cubic boron nitride (CBN) cutting tool inserts using response surface methodology (RSM). *Arab J Sci Eng* 40:1471–1485. [https:// doi. org/ 10. 1007/ s13369- 015- 1606-0](https://doi.org/10.1007/s13369-015-1606-0)
15. Guddata J, M'Saoubi R, Alma P, Meyer D (2011) Hard turning of aisi 52100 using pcbn wiper geometry inserts and the resulting surface integrity. *Procedia Eng* 19:118–124. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. proeng. 2011. 11. 089](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.089)
16. de Galoppi GS, Filho MS, Batalha GF (2006) Hard turning of tempered DIN 100Cr6 steel with coated and no coated CBN inserts. *J Mater Process Technol* 179:146–153. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. jmatp rotec. 2006. 03. 067](https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.067)
17. Ortiz-de-Zarate G, Soriano D, Madariaga A, Garay A, Rodriguez I, Arrazola PJ (2021) Experimental and FEM analysis of dry and cryogenic turning of hardened steel 100Cr6 using CBN Wiper tools. In *Procedia CIRP* 102(7–12):7–12 (Elsevier B.V.,)

18. Malotová Š, Hemžský P, Pitela D et al (2015) Evaluation of residual stresses in inner ring of the bearings. *Technol Eng* 12:21–23. [https:// doi. org/ 10. 1515/ teen- 2015- 0013](https://doi.org/10.1515/teen-2015-0013)
19. Samardžiová M (2017) Wear of cutting tool with excel geometry in turning process of hardened steel. *Res. Pap. Fac. Mater Sci Technol Slovak Univ Technol* 24:95–102
20. Mallick R, Kumar R, Panda A, Sahoo AK (2019) Performance characteristics of hardened AISI D2 steel turning: a review. *Mater Today Proc* 26:2685–2690. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. matpr. 2020. 02. 565](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.565)
21. Boing D, Schroeter RB, de Oliveira AJ (2018) Three-dimensional wear parameters and wear mechanisms in turning hardened steels with PCBN tools. *Wear* 398–399:69–78. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. wear. 2017. 11. 017](https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.11.017)
22. Matsumoto Y, Barash MM, Liu CR (2013) Cutting mechanism during machining of hardened steel. *Mater Sci Technol*
23. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. – 148 с.
24. 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.
25. Бойко, Ю. І. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навч. посіб. / Ю. І. Бойко, О. А. Литвиненко. – Київ: НУХТ, 2018. – 195 с.