

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Кафедра Механіко-машинобудівний факультет
Технологій машинобудування та матеріалознавства
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

студента Демченка Сергія Володимировича
(ПІБ)

академічної групи 131М-21Н-1
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною
програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»
(офіційна назва)

на тему «Дослідження раціональних умов різання на операціях
механічної обробки деталі Вал з евольвентними шліцями»
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Пацера С.Т.			
розділів				
Аналітичний	Пацера С.Т.			
Технологічний	Пацера С.Т.			
Спеціальний	Пацера С.Т.			
Науково- дослідницький	Пацера С.Т.			

Рецензент	Кравченко Ю. Г.		
Нормоконтроль			

Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, національної безпеки і оборони України, зокрема відомості про їх місце розташування, службове призначення, конструкторську і технологічну документацію, описи конструкторських матеріалів та їх властивості, іншу додаткову літературу та посилання. У зв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
технологій
машинобудування та
матеріалознавства
(повна назва)
В.А. Дербаба
(прізвище, ініціали)
« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Демченку Сергію Володимировичу
(ПІБ)

академічної групи 131М-21Н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____

**за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»**
(офіційна назва)

**на тему: «Дослідження раціональних умов різання на операціях
механічної обробки деталі Вал з евольвентними шліцями»**
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка»
від 10.05.2023 р. за № 336с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Аналітичний	Аналіз технологічності конструкції деталі Вал трактора	19.03.2023
Технологічний	Проектування операційної технології механічної обробки на верстатах з ЧПК. Розробка комплексу технологічної документації	19.03.2023
Спеціальний	Проекти фрез для формоутворення евольвентних шліців та зубців	19.04.2023
Науково-дослідницький	Дослідження процесу вибору оптимальної різальної пластини на основі застосування методів нечіткої логіки	19.05.2023

Термін подання до ДЕК:

05.06.23

Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, національної безпеки і оборони України, зокрема відомості про їх місце розташування, службове призначення, конструкторську і технологічну документацію, описи конструкторських матеріалів та їх властивості, іншу додаткову літературу та посилання. У зв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

Реферат

Пояснювальна записка: 74 с., 78 рис., 27 табл., 7 додатків, 27 джерел.

Тема: «Дослідження раціональних параметрів різання на операціях механічної обробки деталі Вал з евольвентними шліцями».

Раціональні умови різання є важливою складовою в промисловому виготовленні деталей. Впливають вони на час та ціну виготовлення деталей, а в сучасній промисловості це одні з основних факторів, на які потрібно звертати увагу.

Об'єкт дослідження (розробки) у кваліфікаційній роботі – процеси виготовлення деталі приводу шестерні кінцевої передачі трактора та умови різання на операціях механічної обробки.

Предмет дослідження – пластини різального інструменту їх характеристики та вплив на режими різання.

Мета роботи – розробка технологічного процесу для деталі «Вал з евольвентними шліцями», проектування черв'ячних фрез, порівняння різальних пластин з використанням *Fuzzy Logic*.

Методика досліджень – використання сучасних комп'ютерних технологій, математичних систем та інформаційних джерел.

Результат роботи – готова стратегія обробки деталі «Вал з евольвентними шліцями» та система оцінки різального інструменту в *MatLab*.

Наукова новизна кваліфікаційної роботи – використання *Fuzzy Logic* в проблемах сучасного виробництва.

Практична цінність – рекомендації щодо виготовлення валів з евольвентними шліцями, вибору інструмента та раціоналізації умов різання.

Робота пов'язана з науковим напрямом кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства та виконана відповідно договору про співпрацю та договором про нерозголошення конфіденційної інформації та комерційної таємниці з ТОВ «ВаріУС».

ЗМІСТ

Реферат.....	3
Вступ.....	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Службове призначення деталі.....	8
1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	12
1.3 Технічна характеристика об'єкта виробництва.....	14
1.4 Характеристика та склад матеріалу.....	15
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	16
2.1 Встановлення виробничої програми випуску деталі.....	16
2.2 Вибір методу отримання заготовки.....	16
2.3 Вибір методів обробки поверхонь.....	17
2.4 Вибір верстатів для обробки деталі.....	23
2.5 Вибір інструменту, режимів різання.....	35
2.6 Розрахунок технічних норм часу обробки.....	41
3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	42
3.1 Проектування фрези для нарізання евольвентних шліців.....	42
3.2 Проектування фрези для нарізання шестерні валу.....	46
3.3 Вибір матеріалу для фрез.....	50
3.4 Методи випробування для фрез, та режими різання.....	52
4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	53
4.1 Проблема вибору раціональних параметрів і постановка задач	53
4.2 Перелік основних факторів впливу на параметри різання.....	55
4.3 Вибір різального інструменту для порівняння його в програмі <i>MatLab</i>	56
4.4 Побудова алгоритму нечіткої логіки та критерії системи оцінки різальних пластин.....	58
4.4.1 Визначення вхідних даних.....	58
4.4.2 Визначення нечітких інтервалів.....	59

4.4.3 Розрахунок ступеню належності.....	59
4.4.4 Визначення нечітких правил.....	63
4.4.5 Виконання нечітких правил, агрегація результатів, дефазифікація вхідного параметру.....	64
4.5 Результати оцінки пластин та вибір однієї для подальшого використання.....	68
Загальні висновки.....	70
Перелік посилань.....	72
Додаток А. Кресленик деталі Вал з евольвентними шліцями	
Додаток Б. Налаштування токарних переходів	
Додаток В. Комплект технологічної документації	
Додаток Г. Кресленик фрези для евольвентних шліців	
Додаток Е. Кресленик фрези для зубців	
Додаток Ж. Графічний матеріал до науково-дослідницького розділу	
Додаток К. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи	

Вступ

Загальна тенденція в розвитку сучасного виробництва полягає в тому, що науково-технічний прогрес звільняє працівника від важкої фізичної праці і переключає його на виконання операцій, які вимагають переважно участі психічних функцій. Так, механізація праці, зменшуючи навантаження в першу чергу на крупні м'язи, підвищує значення дрібних груп м'язів і ускладнює програму дій. У руховій активності особливого значення набувають швидкість і точність рухів, тонка градація м'язових зусиль при керуванні механізмами. З переходом від індивідуального до дрібносерійного і крупносерійного виробництва посилюється роль рухових функцій і зменшується програмуюча діяльність працівника.

При напівавтоматичному виробництві людина виключається з процесу власне обробки предмета праці. Її завдання обмежуються виконанням простих операцій з обслуговування обладнання [1].

Автоматизація різко змінює роль людини у виробничому процесі. Працівник управляє механізмом, що вимагає досконалого знання обслуговуваного апарата. Втручання людини в роботу автоматів може бути частим при виконанні простих дій або розрахованим на тривалу роботу зі складною програмою дій. Основною рисою діяльності працівника в цих умовах є готовність до дій і пов'язана з нею швидкість реакцій. Такий функціональний стан працівника характеризується як «оперативний спокій».

Диференціація праці отримала свій вияв у потоково-конвеєрній організації виробництва, при якій висока продуктивність забезпечується за рахунок автоматизації рухових навичок, мінімізації часу на виконання операцій, заданого ритму і темпу роботи.

Результатом науково-технічного прогресу є впровадження автоматизованих систем керування виробничими процесами, у тому числі дистанційного [1].

Оснoву технологічної підготовки виробництва складає розробка оптимального технологічного процесу, що дозволяє забезпечити випуск заданої кількості виробів заданої якості у встановлені терміни з найменшими витратами.

Важливою частиною розробки технологічного процесу обробки деталі є розробка технологічного маршруту, тобто визначення операцій технологічного процесу і послідовності їх виконання [2].


1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Службове призначення деталі

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Передача;	зубчата
ВВП;	задній
Розмір коліс;	6.5 - 16/11.2 - 24

Головна передача (Рис. 1.2 а, б) призначена для збільшення загального передаточного числа трансмісії і, крім того (у більшості тракторів), для передачі обертання від валу, що знаходиться в поздовжній площині трактора, валу, розташованому в його поперечній площині.



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.




Рисунок 1.2 – Головна і кінцева передачі [4]

а - гусеничного трактора; б - колісного трактора; 1 - конічні шестерні; 2 - механізми повороту; 3 - кінцева передача.

У колісних тракторів в ступиці відомої шестерні головної передачі розміщений механізм, званий диференціалом, через який і відбувається передача крутного моменту від головної передачі до кінцевої. У гусеничних тракторів ведені шестерні головної передачі зазвичай жорстко укріплені на валу заднього моста, і обертання від них на кінцеву передачу 3

передається через механізми 2 призначені для управління поворотом трактора. Кінцева передача служить для збільшення переданого крутного моменту шляхом підвищення передавального числа трансмісії ($\tau = 435\ 994$), а також для передачі обертання від головної передачі або диференціала до ведучих коліс (зірочкам) трактора [4].

У одних типів тракторів кінцеві передачі розташовані в загальному корпусі з головною передачею і диференціалом і складаються з двох пар циліндричних шестерень, по одній парі на кожне колесо. У інших тракторів ці шестерні встановлені в окремих корпусах, які закріплені з боків заднього моста, тому їх іноді називають бортовими редукторами, або бортовими передачами. Кількість шестерень в кінцевих передачах буває від двох до п'яти в кожній. У деяких потужних тракторів, як гусеничних так і колісних, знаходять застосування планетарні передачі, по конструкції більш компактні і передають обертання з великим передавальним числом ($\tau = 6$).

Влаштовані і діють планетарні передачі наступним чином. Від головної передачі обертання передається через вал на сонячну шестерню. Обертання від сонячної шестірні передається на малі циліндричні шестерні - сателіти, вільно сидять на пальцях, укріплених, в водію. Сателіти, обертаючись, обкатуються по зубам коронної (епіциклічних) шестерні, через пальці захоплюють за собою водило і через з'єднаний з ним корпус редуктора обертання передається на провідне колесо або зірочку [4].

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Деталь вал трактора відноситься до деталей класу "вали". Деталь являє собою вал, у якого є циліндрична зубчата передача. Обробка валу ведеться прохідними різцями.

Вал має центрові отвори, що дозволяють встановлювати його в центрах на більшості операцій, крім зуборізальних, що забезпечує необхідну точність розмірів оброблюваних поверхонь та їх взаємне розташування. Це забезпечує принцип сталості баз у технологічному процесі.

Деталь має зручні базові поверхні, що дозволяє на всіх операціях використовувати стандартні пристрої.

Конструктивно деталь вважаємо технологічною.

розраховуємо показники технологічності конструкції деталі [9].

Середній квалітет точності обробки деталі визначається за такою формулою:

$$T_{\text{ср.}} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} =$$

Для розрахунку середнього квалітету точності складаємо вихідну таблицю точності 1.2.

Таблиця 1.2 – Точність поверхонь деталі

Квалітет точності	5	7	14
Кількість поверхонь	2	2	3

$$IT_{cp} = \frac{7 * 2 + 5 * 2 + 14 * 3}{2 + 2 + 3} = 9,4$$

Коефіцієнт точності обробки визначається за такою формулою:

$$K_{т.ч.} = 1 - \frac{1}{IT_{cp}}$$

$$K_{т.ч.} = 1 - \frac{1}{9,4} = 0,894$$

Деталь відповідає базовим технологічним вимогам.

Середня шорсткість поверхонь визначається за формулою

$$Ra_{cp} = \frac{\sum Ra_i \cdot n_i}{\sum n_i}$$

Для розрахунку середньої шорсткості складаємо вихідну таблицю шорсткості деталі 1.3.

Таблиця 1.3 – Шорсткість поверхонь деталі

Шорсткість R, мкм	0,8	1,6	3,2	12,5
Кількість поверхонь, n	2	3	5	2

$$Ra_{cp} = \frac{0,8 * 2 + 1,6 * 3 + 3,2 * 5 + 12,5 * 2}{2 + 3 + 5 + 2} = 3,38 \text{ мкм}$$

Коефіцієнт шорсткості деталі визначається за такою формулою:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ra_{cp}},$$

$$K_{ш} = \frac{1}{3,38} = 0,29 \text{ мкм}$$

Таким чином, технологічність конструкції деталі в результаті якісного аналізу можна оцінити як гарну.

1.3 Технічна характеристика об'єкта виробництва

При розробці технологічного процесу необхідно враховувати вплив

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

матеріалу виготовлення. При виготовленні важливо правильно підібрати матеріал,

щоб властивості виробу відповідали службовому призначенню. Ця деталь виготовляється із сталі 40 X.

1.4 Характеристика та склад матеріалу

Сталь 40X – це конструкційна легована сталь. Призначена для виробництва деталей підвищеної міцності. Продукція зі сталі 40X виготовляється відповідно до вимог стандартів ДСТУ 7806 . Конструкційну леговану сталь марки

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Загартування від 860°C в маслі, відпуск при 500°C	≥785	≥980	≥10	≥45
---	------	------	-----	-----

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Встановлення виробничої програми випуску деталі

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

машинобудуванні та будівельної галузі [7].

З огляду на зростаючі потреби ринку, сучасні виробники пропонують велику кількість різноманітних рішень. Гарячекатаний прокат займає значну за обсягом нішу серед металургійної продукції в цілому. Особлива технологія виробництва надає йому специфічні якості, які відсутні у інших заготовок. Цей вид металопрокату виходить в результаті технологічного процесу, що складається з декількох етапів. Для початку заготівля очищається від наявних дефектів, що гарантує отримання на виході високоякісного виробу. Потім метал нагрівається до

температури в 1000 градусів за Цельсієм. При таких умовах відбувається рекристалізація сталі, завдяки чому вона стає пластичною і податливою. На завершальному етапі заготовка пропускається через спеціальний верстат, який надає їй необхідну конфігурацію

Ця технологія дуже затребувана на сьогоднішній день. Її застосування дозволяє створювати деталі будь-яких форм і розмірів. Плюс цього способу – в його дешевизні і простоті. Для отримання необхідного елемента потрібен всього один виробничий цикл. Немає необхідності нагрівати заготовку кілька разів для додання їй відповідної форми. Ця технологія забезпечує оперативний випуск готової продукції, завдяки чому рівень продуктивності поліпшується, а витрати зменшуються [7].

Таблиця 2.1 – Параметри прокату [7]

Номінальний діаметр d , мм	Граничні відхилення, (мм) при точності прокатки						Маса 1 м довжини прокату, кг
	A1	B1	B1	AO1	A2	B2	
95	-	+0,6 -2,0	+0,8 -2,0	-	-	±2,0	49,749

При довжині деталі 263 мм та припуску по торцям 5 мм довжина заготовки становить 273 мм, маса заготовки G_3 складає $0,273 \text{ м} \times 13,58 = 3,7 \text{ кг}$. Довжина прокату сягає 273 м.

Коефіцієнт використання матеріалу

$$K_{BM} = G_d / G_3 = 3,49 / 3,7 = 0,94$$

2.3 Вибір методів обробки поверхонь

Маршрут виготовлення деталі – це розширений план обробки заготовки. Метою цього етапу є призначення загального плану обробки деталей, побудова технологічного маршруту та попередній вибір обладнання. Кількість

технологічних операцій та їх призначення буде визначатися виходячи з розміру, параметру шорсткості, та геометрії поверхні деталі [8].

Відповідальними поверхнями є:

- поверхні $\varnothing 37.5h12$ – поверхні під стопорні кільця;

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

- центрувальна операція – центрувати торець заготовки 1;
- токарна операція – точити начорно поверхні 3, 5, 10, 9 до розмірів $\varnothing 39.8$, $\varnothing 41.8$, $\varnothing 56.4$, $\varnothing 91.8$ відповідно;
- токарна операція – точити начисто поверхні 3, 5, 10, 9 до розмірів $\varnothing 38.8$, $\varnothing 40.8$, $\varnothing 55.4$, $\varnothing 90.8$ відповідно;
- токарна операція – точити канавку 7 до розміру $\varnothing 37.5$;
- токарна операція – точити торець 2 деталі в розмір $263 \pm 1,3$ мм;


- центрувальна операція – центрувати торець заготовки 2;
- токарна операція – точити начорно поверхні 4, 6, 9, 11 до розмірів $\varnothing 39.8$, $\varnothing 41.8$, $\varnothing 56.4$ відповідно;
- токарна операція – точити начисто поверхні 4, 6, 9, 11 до розмірів $\varnothing 38.8$, $\varnothing 40.8$, $\varnothing 55.4$ відповідно;
- токарна операція – точити канавку 8 до розміру $\varnothing 37.5$;
- зубонарізна операція – на поверхні 9 нарізати евольвентні зубці модуль $m=6$, число зубів $z=13$;
- шліценарізна операція – на поверхнях 3, 4 нарізати евольвентні шліці модуль $m=2$, число зубів $z=11$.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

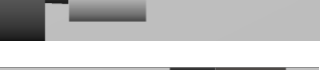
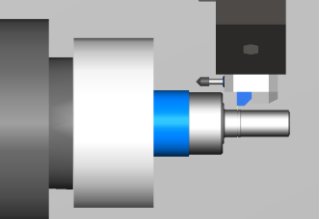
мм


УОУ», тиски

Δ

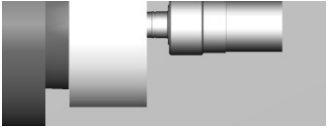
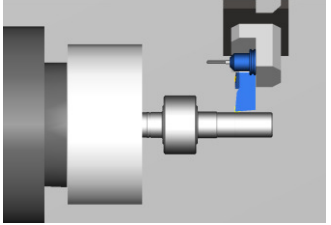
№ операції	Найменування операції	Зміст операції	Верстат, обладнання, пристосування	Зображення процесу
		Точити начорно		


Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

		$\varnothing 55.4, \varnothing 90.8$ відповідно;		
		Точити начорно канавку 7 до розміру $\varnothing 37.5$;		



№ операції	Найменування операції	Зміст операції	Верстат, обладнання, пристосування	Зображення процесу
				


Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

		<p>розмірів $\varnothing 39.8$, $\varnothing 41.8$, $\varnothing 56.4$ відповідно;</p>		
		<p>Точити начисто поверхні 4, 6, 11 до розмірів $\varnothing 38.8$, $\varnothing 40.8$, $\varnothing 55.4$ відповідно;</p>		

№ операції	Найменування операції	Зміст операції	Верстат, обладнання, пристосування	Зображення процесу
		Тоштити		

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

		2-11,		
20	Термічна обробка	Загартування	Вакуумна піч загартування в маслі/газі VOQ.	
25	Термічна обробка	Відпускання	Піч СДО-7.30.7/6.	

№ операції	Найменування операції	Зміст операції	Верстат, обладнання, пристосування	Зображення процесу
			Верстат М1400	
<div style="border: 2px solid red; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> <p>Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.</p> </div>				

2.4 Вибір верстатів для обробки деталі

Розрізання прокату буде здійснено на верстаті "Proma PPK-90U" (Рис.2.2). "Proma PPK-90U" це - гідравлічний стрічково-відрізний верстат з системою охолодження. Використовується для різання замкнутим стрічковим полотном таких матеріалів, як: фасонні профілі, труби, суцільний профіль з легких сплавів, кольорових металів, конструкційних, нержавіючих та швидкоріжучих сталей, чавуну.

Особливості:

- Можливість підключення до побутової електромережі
- Стрічкова пилка призначена для різання дрібних заготовок із матеріалів різної щільності: від алюмінію та його сплавів до високоміцної сталі.
- Жорстка чавунна конструкція.
- Різання під кутом [10].

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Діаметр 10 мм, довжина 1000 мм, відстань між центрами 1000 мм, переміщення по осях X/Z 470/1650 мм, оберти шпинделя 1800 об/хв (45 кВт),

інструментальних місць у револьвері 12 шт. Стрічковий конвеєр для стружки, що самоцентрується без проходу прутка SAMCHULLY HC32.

Найбільші у своєму класі горизонтальні токарні обробні центри, що дозволяють здійснити такі операції, як різання на високих режимах та уривчасте різання. Верстати характеризуються підтримкою високої точності обробки

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Рисунок 2.3 - Загальний вигляд токарного верстату з ЧПК
DOOSAN PUMA 600 [11]

Таблиця 2.3 – Основні технічні характеристики верстату [11]

Параметри обробки

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Система ЧПУ	Fanuc
Габарити	
Довжина	5760 мм
Висота	2780 мм
Глибина	3145 мм
Вага	16300 кг

Для операцій шліценоарізної та зубонарізної було обрано верстат STANKO СТШ1500.150/6ПФ4 (Рис. 2.4). Верстат шліце-зубофрезерний ЧПУ призначений для нарізування шліцевих валів та зубчастих коліс із зовнішнім прямозубим та косозубим зачепленням в умовах одиничного та серійного виробництва. Нарізування проводиться черв'ячною або модульною фрезою. Верстат дозволяє обробляти шліцеві вали, зубчасті колеса, черв'яки діаметром до 150 мм,

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Рисунок 2.4 - Верстат STANKO СТШ1500.150/6ПФ4 [12].

Переваги термообробки виробів із сталі 40X у киплячому шарі порівняно з традиційними способами: було досліджено нагрівання під загартування високоміцних болтів із сталей 40X та 38XC. З дослідів випливає, що при горизонтальному положенні болта М24 в киплячому шарі частинок корунду діаметром 0,32 мм, опалюваному природним газом, найповільніше температура підвищується на осі болта в місці стику його тіла і головки. Швидкість нагрівання в цій точці майже вдвічі менша, ніж на поверхні в середині болта, так щоб уникнути перегріву температура киплячого шару не повинна помітно перевищувати кінцеву температуру нагрівання. У шарі з температурою 900 ° С болт прогрівається до 860 ° С приблизно за 3 хв (термопара зачеканена на осі під головкою), в той час як в електропечах К-160, що використовуються в даний час, нагрівання до 860 ° С триває, за нашими експериментальними даними, 40 хв. За цей час в електропечах утворюється значний шар окалини, що відшаровується, у той час як при нагріванні в киплячому шарі з двоступінчастим спалюванням поверхню виходить чистою. Експерименти показали, що для аустенізації достатня витримка болтів з обох сталей при температурі шару 860-870° протягом 10-15 хв.

Оскільки швидкість охолодження цих виробів у киплячому шарі виявилася недостатньою, загартування здійснювали в олії. Відпущені після загартування (410 ° С, 80 хв) болти відрізнялися високими показниками міцності при достатній пластичності:

Сталь 40X: $\sigma_{\text{в}}=147-150$ кгс/мм², $a_{\text{н}}=3,84-3,27$ кгс*м/см², НВ 345-360

Паралельно болти М24 зі сталі 38XC після витримки в киплячому шарі з температурою 910° (15 хв) охолоджували в соляній ванні при 360° (20 хв) з метою отримання структури нижнього бейніту. При досить високій міцності ($\sigma_{\text{в}} = 163$ кгс/мм²) була отримана значно більша ударна в'язкість (8,65-10,6 кгс-м/см²). Нарешті, частину болтів із сталі 38XC після такого ж нагрівання витримували в маслі протягом 42 с, а потім переносили в киплячий шар температурою 360° С.

Такий режим дозволив підвищити межу міцності до 171,5-173 кгс/мм², але трохи знизив ударну в'язкість ($a_n = 6,25-6,72$ кгс*м/см²). Як показали дослідження, нагрівання протягом 8-10 хв у шарі температурою 910° З забезпечує перетворення вихідної феритокарбідної суміші в аустеніт та отримання досить однорідних властивостей.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Рисунок 2.5 - Вакуумна піч загартування в маслі/газі VOQ [13]

Відпуск буде здійснений в печі СДО-7.30.7/6 (Рис. 2.6). Електропіч з викочуванням СДО-7.30.7/6 І2 з вентилятором. Нагрівачі (ТЕНи в нержавіючій оболонці) розміщені в нішах бічних стін печі. Робоча камера печі виготовлена із нержавіючої сталі. У печі є припливно-витяжні вентиляційні отвори із шиберами та фланцями для видалення, при необхідності можливих газових виділень. Електропіч

обладнана системою автоматичного регулювання температури на основі твердотільних безконтактних реле та мікропроцесорного терморегулятора, що дозволяє задавати температуру, час набору температури та час витримки садка при зазначеній температурі. Можливе встановлення терморегулятора з виходом на комп'ютер для архівування процесів термообробки. Електропіч футерована волокнистими теплоізоляційними матеріалами та призначена для промислового використання. Шафа керування вміщена на боці печі. Примусова циркуляція повітря здійснюється в горизонтальній площині вздовж виробу трубчастої форми. Можливе виготовлення печі з циркуляцією повітря у вертикальній площині. Відкривання одностулкових дверей та викочування пода виконуються вручну (можливе встановлення електроприволів) (Таблиця 2.4) [14].

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Рисунок 2.6 - Піч СДО-7.30.7/6 [14]

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

2.8).

Круглошліфувальний верстат для внутрішнього та зовнішнього шліфування М1408.

1. Верстат в основному застосовується для шліфування малих валів, циліндричних.

гільз, голчастих вентилів, поршнів та інших конусних та сферичних поверхонь. Виріб закріплюється трикулачковим затискним патроном, цанговим патроном, а також спеціальними захватами. Верстат широко застосовується у виробництві деталей для приладобудування, автомобільної індустрії,

електромеханіки, текстильної промисловості, суднобудування, а також виробництва швейних машин та різного роду обладнання.

2. Поздовжнє переміщення робочого стола здійснюється, як гідравлічно, так і вручну. Шліфувальна бабка та передня бабка обертаються рівномірно. У гідравлічній системі використовуються шестерні із відмінними характеристиками.

3. Верстат застосовується в цехах з ремонту інструментів та обладнання, а також у цехах з дрібносерійного та середньосерійного виробництва [15].

Технічні характеристики M1408.

Діаметр OD шліфування $\Phi 2\text{-}\Phi 80\text{мм}$.

Діаметр ID шліфування $\Phi 10\text{-}\Phi 60\text{мм}$.

Довжина OD шліфування 300мм.

Довжина ID шліфування 65мм.

Висота нерухомого центру 115мм.

Максимальна вага виробу 10кг.

Швидкість робочого столу 0.1-4м/хв.

Швидкість лінії шліфувального диска 35м/с.

Максимальне переміщення робочого столу 340мм.

Кут повороту робочого столу $-5^\circ - +9^\circ$.

Параметри OD шліфувального диска Макс. $\Phi 250 \times 25 \times \Phi 75\text{мм}$ Мін. $\Phi 180 \times 25 \times \Phi 75\text{мм}$.

Швидкість обертання ID шпинделя 16000 об/хв.

Конус передньої та задньої бабки Морзе NO.3.

Габарити верстата (ДхШхВ) 1360х1240х1000мм.

Вага верстата 1500кг.

Загальна потужність двигуна 2,34 кВт.

Округлість (зовніш./внутр.) 1,5/2,5 μm (O. D/I. D).

Ідентичність внутрішніх діаметрів поздовжніх перерізів (зовніш./внутр.)
5/8 μm (O. D/I. D).

Шорсткість поверхні (зовніш./внутр.) Ra0,25/0,63 μm (O. D/I. D) [15].

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Зубошліфувальний верстат з ЧПУ КХ 1 L вироблений фірмою *Karr* із системою управління *Siemens* у 2002 році, розрахований на максимальний діаметр зубчастого колеса 240 мм, ширину ЗК 150 мм, максимальний модуль – 5, найбільша кількість зубів – 999. Вісь А 360°. Вісь В -110/+60°. Вісь С 360°. Макс. швидкість осі А: 4000 об / хв, макс. швидкість осі В: 5400 ° / хв, макс. швидкість осі С: 7000 об / хв (Таблиця 2.5) [16].

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.


Модель	<i>KX 1 L</i>
Рік виробництва	2002
Діаметр ЗК <i>max</i> (мм)	<i>Siemens</i>
Діаметр ЗК (мм)	240
Ширина ЗК	150
Модуль <i>max</i>	5
Кількість зубців (<i>max</i>)	999
Кут нахилу лінії зуба (°)	+35/-35
Переміщення по осі X (мм)	350
Переміщення по осі Y (мм)	120
Переміщення по осі Z (мм)	140
Прискорений хід X/Y/Z	10
Габаритні розміри(Д x Ш x В)	7040x4910x2510
Вага верстату (кг)	13500

2.5 Вибір інструменту, режимів різання.



Вибір інструментів здійснювався за допомогою каталогів *TaeguTec* [18], *Hoffmann Group* [19], інструмент для операцій зубонарізання та шліценарізання був спроектовано власноруч. *Hoffmann Group* з'явилася в 1919 році на даний момент входить в список світових лідерів з розробки, виробництва та постачання професійних інструментів. Бренд *TaeguTec* відомий як виробник металорізального інструменту, вольфрамівмісних порошків, твердосплавних валків і зносостійких деталей з твердого сплаву і кераміки. Компанія представляє широкий асортимент інструменту для точіння, фрезерування, свердління і не тільки, а також сучасні системи модульної швидкозмінною оснастки. Крім того, *TaeguTec* випускає спеціалізовану промислову продукцію. В області виробництва твердосплавних


Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.



Назва операції	Інструменти	Зображення інструмента
		

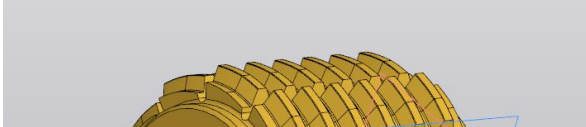
Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

	Свердло <i>3HD</i> 050-020-06P13	
	Зінкер <i>Garant</i> 150050	


Назва операції	Інструменти	Зображення інструмента
		

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

		
--	--	--

Назва операції	Інструменти	Зображення інструмента
		

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

		
--	--	--

Вибір режимів різання був здійснений за рекомендацією до інструментів в каталогах та вирахований за математичним методом, режими наведені в таблиці 2.4.

Для розрахунку режимів різання буде використано математичну модель.

Розрахунок подачі здійснено за формулою:

$$S = (C_s * R_y * r_u) : (t_x * z^2), \text{ мм/об};$$

де C_s – параметрична характеристика матеріалу;

R_y – задана шорсткість, мкм;

r_u – радіус при вершині токарного інструменту, мм;

t_x – точіння глибина, мм;

φ_z – кут при вершині різця.

Одна з фундаментальних формул швидкості записується так:

$$V = (C_v * K_v) : (T_m * t_x * S_y), \text{ м/хв, де}$$

C_v – комплексний коефіцієнт, узагальнюючий матеріал деталі, різця, умови процесу;

K_v – додатковий коефіцієнт, що характеризує особливості точіння;

T_m – стійкість інструмента, хв;

t_x – глибина різання, мм;

S_y – подача, мм/об.

За спрощених умов та з метою доступності розрахунків, швидкість токарної обробки заготовки можна визначити:

$$V = (\varphi * D * n) : 1000 \text{ м/хв,}$$

де n – частота обертання шпинделя верстата, об/хв.

Використовувана потужність обладнання:

$$N = (P * v) : (60 * 100), \text{ кВт,}$$

де P – сила різання, Н;

V – швидкість, м/хв.

Таблиця 2.7 – Режими різання [18]

Назва операції	Подача S (мм/об)	Швидкість різання V (м/хв)	Глибина різання за один прохід t (мм)	Оберти шпинделя n , об/хв
Торець правий чорнова	0.2	200	6,5	650
Торець правий чистова	0.15	150	1,5	500

Назва операції	Подача S (мм/об)	Швидкість різання V (м/хв)	Глибина різання за один прохід t (мм)	Оберти шпинделя n , об/хв
Праве свердління	0.1	300	-	1000

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Точіння лівої канавки чорнове	0.1	200	-	800
Точіння лівої канавки чистове	0.08	140	-	1000
Нарізання шестерні	2.5	40	-	170

Назва операції	Подача S (мм/об)	Швидкість різання V (м/хв)	Глибина різання за один прохід t (мм)	Оберти шпинделя n , об/хв
Нарізання шліців	2	15	-	150
Круглошліфування поверхні	0.003	280	-	50
Шліфування шестерні	2, 0.25	0.17	0.04-0.006	-
Шліфування шліців	2, 0.25	0.15	0.04-0.006	-

2.6 Розрахунок технічних норм часу обробки.

Час був взятий з програми *FeatureCAM* та вирахований з формул(табл. 2.5) [20].

Оперативний час:

$$T_{оп} = T_o + T_e$$

Норма штучного часу:

$$T_{шт} = (T_o + T_e)(1 + (\alpha_{обс} + \alpha_{олн})/100) :$$

Норма штучно-калькуляційного:

$$T_{шк} = T_{шт} + T_{пз} / n_d :$$

Таблиця 2.8 – Час обробки [20]

№ оп.	Назва операції	Основний час, $t_{осн}$	Допоміжний час, $t_{доп}$	Оперативний час, $t_{оп.}$	Час організаційного обслуговування робочого місця, $t_{орг}$	Час відпочинку, $t_{відп}$	Норма штучного часу, $t_{шт}$	Норма штучно - калькуляційного, $t_{шк}$
5	Відрізна	5 хв.	0.5 хв.	5.5 хв.	0.25 хв.	0.2 хв.	5.52 хв.	6 хв.
10	Токарна з ЧПК	19 хв.	2 хв.	21 хв.	0.95 хв.	0.84 хв.	21.3 хв.	22 хв.
15 (1)	Зубонарізна	12.5 хв.	1.25 хв.	13.75 хв.	0.625 хв.	0.5 хв.	14.1 хв.	14.5 хв.
15 (2)	Шліценарізна	20 хв.	2 хв.	22 хв.	1 хв.	0.75 хв.	23.2 хв.	25 хв.
30	Круглошліфування	4 хв.	0.4 хв.	4.4 хв.	0.22 хв.	0.18 хв.	4.45 хв.	5 хв.
35 (1)	Зубошліфування	9 хв.	0.9 хв.	9.9 хв.	0.36 хв.	0.45 хв.	9.1 хв.	9.5 хв.
35 (2)	Шліцешліфування	18 хв.	1.8 хв.	19.8 хв.	0.72 хв.	0.9 хв.	18.2 хв.	19 хв.

Розроблена технологічна документація знаходиться у додатку А.

3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

Проекти фрез для формоутворення евольвентних шліців та зубців

3.1 Проектування фрези для нарізання евольвентних шліців

Для проектування фрези застосовано *CAD* програму.

Послідовність команд:

Додаток \Rightarrow Механіка \Rightarrow Вали і механічні передачі (2D) \Rightarrow Основне меню \Rightarrow
Побудування моделі \Rightarrow Нова модель \Rightarrow Фрези черв'ячні \Rightarrow Фреза черв'ячна

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Фреза черв'ячна має модуль 3, клас точності В, правозахідна. Позначення фрези 2520-0678 В.

Розрахунки фрези було проведено автоматично в САД програмі.

Основні геометричні розміри фрези 2520-0678 В.

Діаметр фрези, $d_{ao} = 80$ мм.

Довжина фрези, $L = 71$ мм.

Діаметр по буртика, $d_l = 54$ мм $< d_{ao} - 2 \cdot H_k = 57.6$.

Ширина буртика, $l = 4$ мм.

Число стружкових канавок, $z_o = 10$.

Тип канавки – гвинтова.

Висота зуба, $h_o = 4,2 \text{ мм.} = 1,4 \times m$.

Радіус закруглення вершин, $p_{ao} = 0,3 \text{ мм.} = 0,1 \times m$.

Радіус закруглення впадин, $p_{fo} = 0,9 \text{ мм.} = 0,3 \times m$.

Падіння потилиці, $K_l = 4,5 \text{ мм.}$

Задній кут на бокових ріжучих краях,

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Клас поля допуску на ширину шпонкового пазу, C11

Проточка шпонкового пазу, $d_l = 39 \text{ мм.}$ $r = 0.00 \text{ мм.}$ $b = 29 \text{ мм.}$

По вказаним даним було побудовано кресленик (Додаток Е) та 3D модель фрези (Рис. 3.1). В таблиці 3.2 показані додаткові параметри фрези 2520-0678 В.

Таблиця 3.2 – Додаткові параметри фрези 2520-0678 В

<i>Фреза 7162-40311В</i>		
<i>Модуль</i>	<i>m</i>	<i>3</i>

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

<i>Профіль передньої поверхні</i>	<i>f_y</i>	<i>0,04</i>
<i>Різниця середніх окружних кроків стружкових канавок</i>	<i>f_{Pta}</i>	<i>0,04</i>

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Рисунок 3.1 - 3D модель фрези 2520-0678 В.

3.2 Проектування фрези для обробки зубчатого вінця

Послідовність команд:

Додаток \Rightarrow Механіка \Rightarrow Вали і механічні передачі (2D) \Rightarrow Основне меню \Rightarrow
Побудування моделі \Rightarrow Нова модель \Rightarrow Фрези черв'ячні \Rightarrow Фреза черв'ячна
для циліндричних зубчатих коліс з евольвентним профілем валів з евольвентним
профілем

Параметри зубців під які буде будуватись фреза зазначені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Перелік геометричних параметрів евольвентних зубців

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

	<i>Відхилення основного кроку</i>	f_{pt}	$\pm 0,025$
<i>Ділильний діаметр</i>		d	78
<i>Допуск на похибку напрямку зуба</i>		F_{β}	0,025
<i>Допуск на торцеве биття базової поверхні</i>		F_{τ}	0,016

Основні геометричні розміри фрези 142108-9061А.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Кут стружкової канавки, $\nu = 22^\circ = 18\dots30^\circ = \{18^\circ, 22^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ\}$

Глибина стружкової канавки, $H_k = 16$ мм.

$$= h_o + \frac{K_1 + K_2}{2} + r_k$$

Радіус заокруглення стружкової канавки, $r_k = 0$ мм.

$$= 0.5 \left[\frac{2\pi(d_{ao} - 2H_k)}{10z_o} \right]$$

Доля шліфованої частини зуба, $k_u = 0,33$.

Ширина фаски на буртиках, $c_l = 1$ мм.

Кут фаски на буртиках, $\alpha_l = 45^\circ$.

Радіус скруглення на буртиках, $z_2 = 1$ мм.

Діаметр отвору шпонкового паза, $d = 50$ мм.

Довжина ступені, $l = 142$ мм.

Клас поля допуску на ширину шпонкового пазу, C11

По вказаним даним було побудовано кресленик (Додаток Є) та 3D модель фрези (Рис. 3.2). В таблиці 3.4 показані додаткові параметри фрези 142108-9061А.

Таблиця 3.2 – Додаткові параметри фрези 142108-9061А

Фреза 142108-9061А		
Модуль	m	6
Число зубців	Z_0	12
Число заходів	p	1
Напрямок витків фрези	-	права
Кут підйому витка фрези на середньому розрахунковому діаметрі	$\gamma_{\text{тв}}$	$2^\circ 24'$
Напрямок стружкових канавок	-	ліва
Кут нахилу лінії контакту на середньому розрахунковому діаметрі	$\lambda_{\text{тв}}$	$2^\circ 24'$
Хід гвинтових стружкових канавок	P_{z0}	6060
Стандарт евольвентних шліців	-	
Клас точності	-	A
Радіальне биття буртиків	f_y	0,006
Торцеве биття буртиків	f_t	0,005
Радіальне биття по вершині зубів	f_{db}	0,032
Профіль передньої поверхні	f_r	0,032
Різниця середніх окружних кроків стружкових канавок	$f_{P_{тв}}$	0,032

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Рисунок 3.2 - 3D модель фрези 142108-9061А

3.3 Вибір матеріалу для фрез

Фрези повинні виготовлятися відповідно до вимог справжнього стандарту щодо робочих креслень, затверджених у встановленому порядку. Цілісні фрези та зубчасті рейки до збірних фрез повинні виготовлятися з швидкорізальної сталі за ГОСТ 19265. Марки сталі зазначені у таблиці 3.1 Допускається виготовляти фрези

з інших марок швидкорізальної сталі, що забезпечують стійкість фрез відповідно до вимог цього стандарту. Для фрез, виготовлених із швидкорізальної сталі з вмістом ванадію 3% і більше і кобальту 5% і більше, твердість має бути 64...66 HRC₃[22]. Тож обрано швидкоріжучу інструментальну сталь Р6М5Ф3.

Таблиця 3.3 - Хімічний склад сталі Р6М5Ф3 [23]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	V	Co	Cu
0.95 - 1.05	0.2 - 0.5	0.2 - 0.5	до 0.6	до 0.025	до 0.03	3.8 - 4.3	4.8 - 5.3	5.7 - 6.7	2.3 - 2.7	до 0.5	до 0.25

Твердість сталі у відпаленому стані, твердість зразків після загартування та відпуски, температура загартування та відпуски повинні відповідати значенням, зазначеним у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 Твердість матеріалу Р6М5Ф3 [22]

Марка сталі	Твердість			Температура, °C	
	Після відпалу		Після загартування з відпуском HRC ₃ (HRC), не менше	Загартування	Відпуск
	HB, не більше	Діаметр відбитку мм, не менше			
Р6М5Ф3	269	3,7	65 (64)	1220	550

3.4 Методи випробування фрез, та режими різання

Випробування фрез повинні проводитися на шліцефрезерних або зубофрезерних верстатах, відповідних встановленим для них нормам точності

Фрези повинні випробовуватися на заготовках із сталі марки 45 твердістю 187 ... 207 НВ. Як мастильно-охолоджувальну рідину повинен застосовувати 5%-ний за масою розчин емульсолу у воді або індустріальне масло 20А -з витратою не менше 5л/хв [22].

Випробування фрез повинні проводитись на режимах зазначених в таблиці 3.5, та таблиці 3.6.

Таблиця 3.5 Режими різання для випробування модульної фрези 2520-0678 В

Вид обробки	Висота шліцевого валу, мм	Подача S_0 , мм/об	Швидкість різання v , м/хв
Чистова	2.0 до 3.5	1.2 - 1.6	35
	3.5 до 8	1.0 - 1.4	30
Чорнова	2.0 до 3.5	2.4 – 2.9	40
	3.5 до 8	2.2 – 2.6	35

Таблиця 3.6 Режими різання для випробування модульної фрези 142108-9061А

Модуль, мм	Подача S_0 , мм/об	Швидкість різання v , м/хв
4 - 6	2	25
6 - 10	2,5	25
10 - 16	3	20
16 - 25	4	18

Роботоздатність фрез повинна перевірятися протягом 10 хв. машинного часу. Після випробувань фреза не повинна мати викришених і зім'ятих ріжучих кромки і має бути придатна для подальшої роботи. Контроль параметрів фрез повинен проводитись засобами ми контролю, що мають похибку вимірювання не більше: при вимірі лінійних розмірів - значень при контролі форми та розташування поверхонь - 33% до пуску на параметр, що перевіряється. Твердість фрез повинна контролюватись на приладах - Контроль шорсткості поверхонь фрез повинен проводитись шляхом порівняння з контрольними зразками, поверхні яких мають граничні значення параметрів шорсткості, або із зразками шорсткості поверхні за Порівняння здійснюється візуально за допомогою лупи ЛП-1-4Х за Контроль профілю зубів фрез здійснюється на проекторі при 50х збільшенні. За погодженням із споживачем точність чистових фрез по елементам профілю допускається визначати виміром профілю пробного кільця, нарізаного фрезою на шліцефрезерних або зубофрезерних верстатах, що відповідають встановленим для них норм точності. Пробні кільця перевіряються калібрами, у тому числі комплексними, чи універсальними вимірювальними засобами. Зовнішній вигляд фрез перевіряється візуально [22].

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

Дослідження процесу вибору оптимальної різальної пластини на основі застосування методів нечіткої логіки

4.1 Проблема вибору раціональних параметрів і постановка задач

Режими різання в механообробці - це сукупність робочих параметрів, що визначають, з якою швидкістю, силою і на яку глибину відбувається занурення різця в деталь у процесі видалення з поверхні шару металу. Їх базові значення визначаються розрахунковим шляхом на підставі геометрії ріжучої кромки інструменту та виробу, що обробляється, а також швидкості їх зближення. На

реальні процеси обробки металу впливає безліч факторів, пов'язаних з особливостями застосовуваного інструменту, верстатного обладнання та матеріалу, що обробляється. Тож розрахунку технологічних режимів різання застосовуються емпіричні формули. А базові значення входять до їх складу разом з такими довідковими величинами, як групи поправочних коефіцієнтів, величина стійкості, параметри умов обробки та ін. Режими різання впливають не тільки на задану точність і клас обробки виробу. Від них залежить сила, з якою край інструменту впливає на метал, що безпосередньо впливає на споживану потужність, рівень виділення тепла і швидкість зносу інструменту. Тому розрахунок їхніх параметрів є одним із основних завдань технологічних служб підприємств. Незважаючи на безліч різновидів металорізального обладнання та інструменту в основі всієї

М

І

Д

І

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Рисунок 4.1 – Три основні групи обчислення режимів різання [24].

Основний розрахунок режимів механообробки ведеться виходячи з трьох параметрів: швидкості різання (V), подачі (S) і глибини різання (t). Для отримання практичних значень цих параметрів, які можна використовувати у виробництві, першому етапі визначають їх розрахункові величини. Після чого за ними за допомогою емпіричних формул, довідкових таблиць і даних з паспортів обладнання виконують підбір технологічних режимів різання, які найкраще відповідатимуть виду оброблюваного матеріалу, можливостям верстата, а також типу та характеристик інструменту. Від правильного розрахунку та вибору даних параметрів залежить не тільки якість обробки, а й такі показники, як продуктивність, собівартість продукції та експлуатаційні витрати. З іншого боку, сила на інструмент у процесі обробки впливає як швидкість його зносу, а й у стан оснащення і пристосувань. Наслідком роботи на занадто великих швидкостях та подачах є неприпустимі вібрації та підвищене навантаження на вузли та механізми обладнання. А це може призвести не лише до втрати точності, а й до виходу верстата з ладу [24].

4.2 Перелік основних факторів впливу на параметри різання

Для дослідження раціональних умов різання було взято чорнові токарні операції. На режими різання обраних операцій, впливають такі фактори:

1. Задані параметри поверхні, в тому числі її шорсткість та якість.
2. Параметричні характеристики обладнання.
3. Спосіб кріплення заготовки.
4. Фізичні і механічні властивості оброблюваного металу.
5. Геометричні та механічні особливості різця: розміри кутів, державки, радіус при вершині, розмір, тип і матеріал ріжучої кромки з відповідною теплопровідністю і теплоємністю, ударною в'язкістю, твердістю, міцністю [25].

При токарній обробці потрібно враховувати такі три основні критерії:

1. Відповідність різця і обточуваного об'єкта.
2. Оптимізація між собою подачі, швидкості і глибини, максимальна продуктивність і якість обробки: мінімальна шорсткість, точність форм, відсутність дефектів.
3. Мінімальні витрати ресурсів. Порядок розрахунку режиму різання при токарній обробці здійснюється з високою точністю. Для цього існує кілька різних систем [25].

Таким чином, аналіз науково-технічної літератури показав, що процес механічного оброблення металів характеризується значною кількістю параметрів процесу та факторів. У зв'язку з цим проблема оптимізації процесу не є остаточно вирішеною.

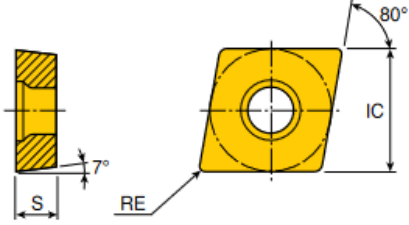
Новітнім методом оптимізації складних систем є метод з використанням *Fuzzy logic* [26]. Тому в даному розділі поставлено завдання дослідження, що пов'язане з раціональним вибором різальних пластин за умови застосування *Fuzzy logic*.

4.3 Вибір різального інструменту для порівняння його в програмі *MatLab*

Порівнюватись будуть пластини з каталогу *TeaguTec* [27]. Обрані пластини, їх зображення та характеристики знаходяться в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1- Пластини, їх характеристики та зображення

Назва фрези	Зображення	Характеристики
ССМТ 09Т304 FM		Розмір: IC = 9,52. S = 3,97. RE = 0,2 – 0,8. CVD покриття – TT8115B.

Назва фрези	Зображення	Характеристики
		<p>Глибина різання – 0,5 - 2,5 (мм). Подача – 0,08 - 0,25 (мм/об). Швидкість різання – 200 – 440 (м/хв). Різальних країв – 2.</p>

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

<p><i>CCMM 120408RH</i></p>		<p>Розмір: IC = 12,7. S = 4,76 – 5,56. RE = 0,8 – 1,2. CVD покриття – TT8115B. Глибина різання – 2,5 – 6,0 (мм). Подача – 0,3 - 0,7</p>
-----------------------------	---	---

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

різальних пластин

Основний алгоритм роботи з нечіткою логікою записується так:

Визначення вхідних даних → визначення нечітких інтервалів →
розрахунок ступеня належності → визначення нечітких правил →
виконання нечітких правил → агрегація результатів → дефазифікація
вихідного параметра.

4.4.1 Визначення вхідних даних

Щоб побудувати систему оцінювання з використанням *Fuzzy logic* потрібно обрати критерії оцінки тобто вхідні дані системи. Обрано п'ять критеріїв: призначення пластини, глибина різання, стабільність стружколому при обробці сталі, кількість різальних крайок, *CVD* покриття.

Призначення пластини – обробка яких операцій буде оптимальною для різальної пластини.

Глибина різання – це половина різниці оброблюваного та обробленого діаметра заготовки (вимірюється в мм).

Стабільність стружколомому при обробці сталі – це здатність стружколомому не змінювати структуру при обробці сталі.

Кількість різальних крайок – це кількість країв пластини, яких можна використовувати для обробки матеріалу.

CVD покриття – *CVD* називають процес, який використовують для отримання високочистих твердих покриттів.

4.4.2 Визначення нечітких інтервалів

Вхідні дані та нечіткі інтервали які їх характеризують наведені в таблиці 4.2.

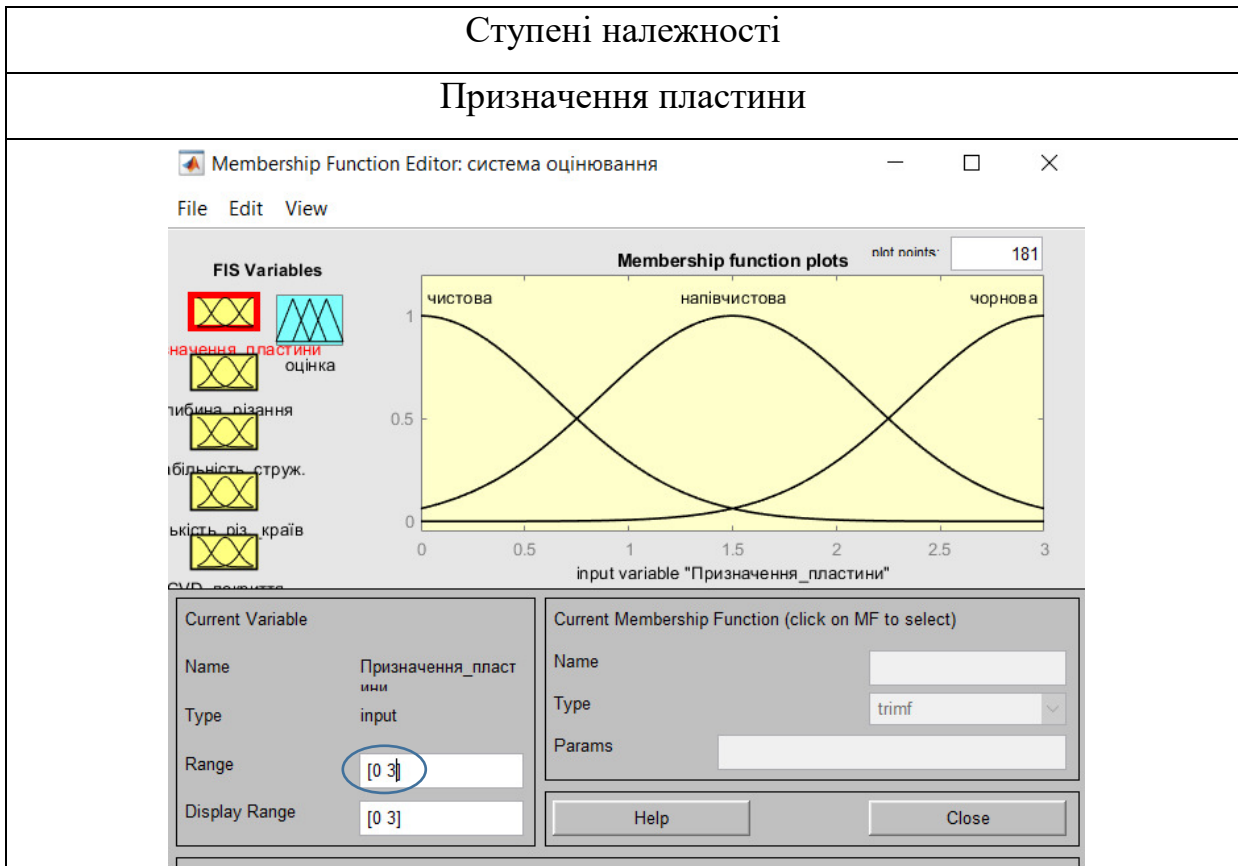
Таблиця 4.2 – Вхідні дані та їх нечіткі інтервали

Вхідні дані	Нечіткий інтервал
Призначення пластини	Чистове, напівчистове, чорнове.
Глибина різання	Мала, середня, велика.
Стабільність стружколомому при обробці сталі	Стабільно, середня стабільність, нестабільно.
Кількість різальних крайок	Мінімальне, середнє, максимальне.
<i>CVD</i> покриття	Ефективне, недостатньо ефективне.

4.4.3 Розрахунок ступеню належності

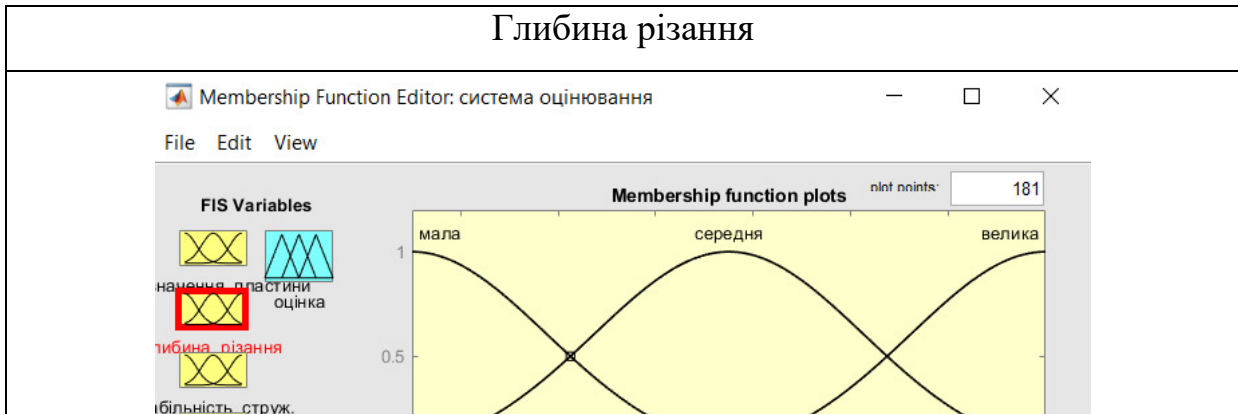
Ступені належності задані графічно та наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Ступені належності нечітких інтервалів



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Глибина різання



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

Name	стабільність_струж.	Name	<input type="text"/>
Type	input	Type	trimf
Range	<input type="text" value="[0 61]"/>	Params	<input type="text"/>
Display Range	<input type="text" value="[0 61]"/>	<input type="button" value="Help"/> <input type="button" value="Close"/>	
Selected variable "стабільність_струж."			

Кількість різальних крайок



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

The screenshot shows a control panel with the following elements:

- 'Range' input field containing '[0 13]' (circled in blue).
- 'Display Range' input field containing '[0 13]'.
- 'Params' input field.
- 'Help' and 'Close' buttons.
- 'Ready' status indicator.

4.4.4 Визначення нечітких правил

Щоб оцінити пластини потрібно ввести правила по яким буде вирахована оцінка. Вхідні дані, які зазначені вище мають різну важливість при оцінюванні, тому при внесенні правил в систему кожен критерій матиме свій відсоток важливості (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Відсотки важливості критеріїв в системі оцінювання

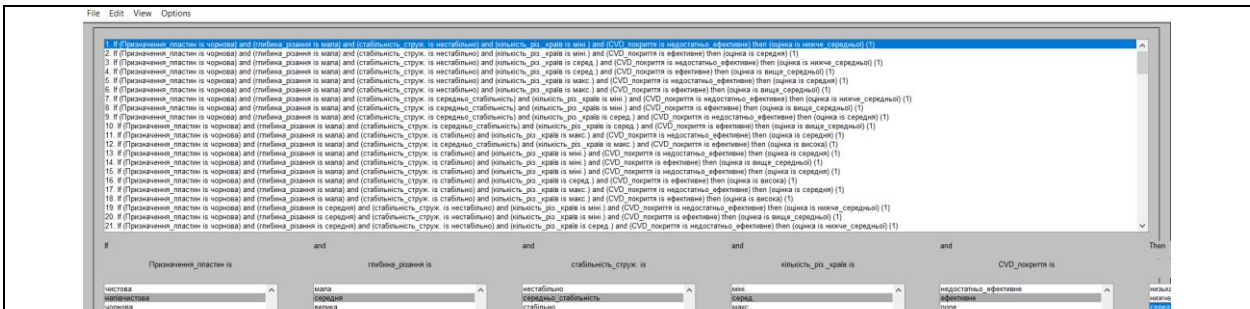
Критерії оцінювання	Відсоток важливості при
---------------------	-------------------------

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

1.



Правило для отримання середнього балу



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.



4.4.5 Виконання нечітких правил, агрегація результатів, дефазифікація вхідного параметру

Виконання нечітких правил, агрегація результатів та дефазифікація вхідного параметру виконуються у одному вікні програми *MatLab*, приклад показаний на рисунку 4.2. Поверхні залежності (відгуку) одного параметру від інших показана на рисунках 4.3-4.6.

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

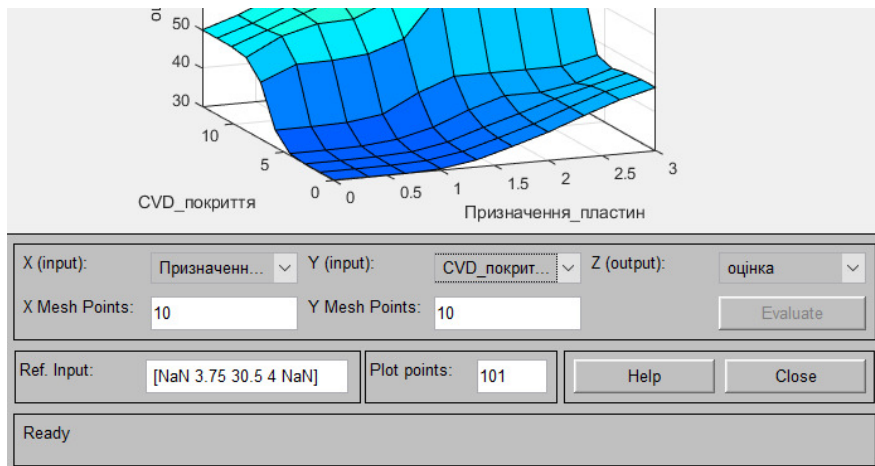
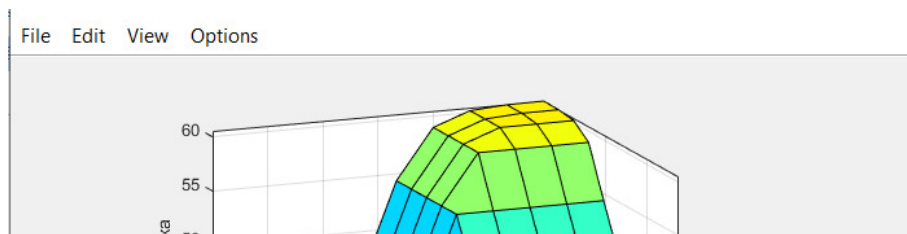
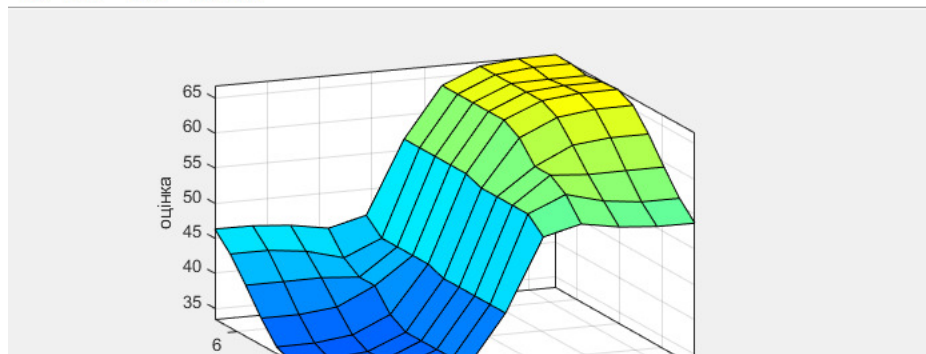


Рисунок 4.3 – Поверхня відгуку параметрів призначення пластини, CVD покриття та оцінки.



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

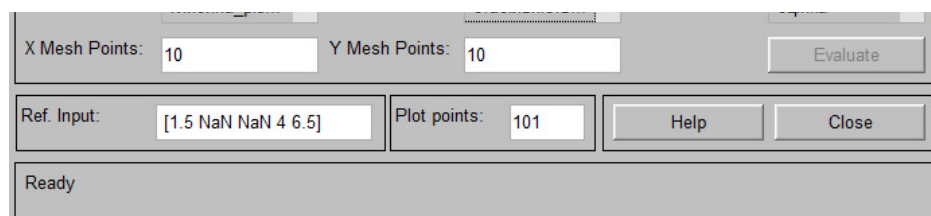


Рисунок 4.6 – Поверхня відгуку глибина різання, стабільність стружколомому при обробці сталі та оцінки.

4.5 Результати оцінки пластин та вибір однієї для подальшого використання

Результати оцінки пластин показані в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Результати оцінювання

Назва пластини	Дані для оцінки	Оцінка
	Використання пластини	

Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

	кількість різальних країв – мала, глибина різання – не глибока,	
--	---	--

Назва пластини	Дані для оцінки	Оцінка
	CVD покриття – підходить.	
<i>WNMG 080408RT</i>	Використання пластини – чорнове, стабільність стружколомому при обробці сталі – стабільна, кількість різальних країв – велика, глибина різання – середня, CVD покриття – підходить.	87
<i>CSMM 120408RH</i>	Використання пластини – чорнове, стабільність стружколомому при обробці сталі – середня стабільність, кількість різальних країв – середня, глибина різання – глибока, CVD покриття – підходить.	85
<i>CNMG 120408KT</i>	Використання пластини	88

Назва пластини	Дані для оцінки	Оцінка
	<p>– чорнове, стабільність стружколомому при обробці сталі – стабільна, кількість різальних країв – середня, глибина різання – глибока, CVD покриття – підходить.</p>	

Висновок до вибору пластини – таким чином, взявши до уваги запропоновані пластини та порівнявши їх за допомогою *Fuzzy Logic* було обрано для використання пластину *CNMG 120408KT*. Графічний матеріал до науково-дослідницького розділу знаходиться у Додатку Є.

Загальні висновки

В даному дипломному проекті на основі отриманих знань з технології машинобудування, автоматизації, стандартизації, проектування був розроблений технологічний процес, який відповідає вимогам гнучкого автоматизованого виробництва та економічної ефективності.

Для операцій механічної обробки були обрані сучасні різальні інструменти, верстати та згенерований код УП в програмі *Feature CAM*. Розраховані режими різання, основний час та розроблена технологічна документація

В спеціальному розділі для зубонарізних операцій розроблені черв'ячні фрези з використанням *CAD*-програм та зроблені кресленики цих інструментів.

В науково-дослідницькому розділі було розглянуто основні фактори, які впливають на режими різання. За допомогою програми *MatLab* та інструменту *Fuzzy logic* було порівняно вибірку різальних пластин, потім обрано одну для використання її в механічній обробці.

Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. <https://buklib.net/books/25809/> Фізіологія і психологія праці. Крушельницька Я.В. Навч. посібник. — К.: КНЕУ, 2000. — 232 с.
2. https://ua-referat.com/%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BA%D0%B0_%D0%BE%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%B%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%83_%D0%B2%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%B0_%D0%B4%D0%B5%D1%82%D0%B0%D0%BB%D1%96_%D0%92%D0%B0%D0%BB-%D1%88%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8F
«Розробка оптимального технологічного процесу виробництва деталі Вал-шестерня».
3. https://motoline.in.ua/val_shesternya_pryvodu_shesterni_kintsevoji_peredachiy5.html
4. <https://volnovaha-ptu.org.ua/news/09-05-12-10-11-2020/> Волноваське професійно-технічне училище «Кінцеві передачі, їх призначення, будова і дія».
5. <https://selm.com.ua/katalog-selhoztehniki/?typeauto=claas&mark=lexion&model=58500011&group=100-10-681>
6. <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/40x> Інформація про Сталь 40X.
7. <https://archgrid.info/perevahy-nedoliky-hariachekatanoho-metaloprokatu.html>
Переваги і недоліки гарячекатаного прокату

8. <https://studfile.net/preview/5043022/page:2/> Київський національний університет будівництва та архітектури «Змішувач асфальту - 2013 / ПЗ / Технологічна частина».

9. _____

10. <https://santeho.com.ua/lentochnaia-pila-po-metallu-proma-ppk-90u> Сайт стрічкової пилки.

11. <https://vitcompany.com.ua/stanki/tokarnye-stanki/stanki-tokarnye-s-chpu/tokarnyy-standok-s-chpu-doosan-puma-600-id16857.html> Сайт токарного верстату.

12. <https://www.stanko.pro/blank-s66t> Сайт зубонарізного верстату.

13. https://sktg.com.ua/vakuumnoe-oborudovanie/vacuum_furnace_oil_quenching Сайт печі.

14. <http://bortek.ua/promyshlennye-ehlektropechi/pechi-vykatnym-podom-600/podovaya-pech-sdo-7-30-7-6> Сайт печі.

15. <https://flagma.ua/krugloshlifovalny-universalny-standok-80-o4442206.html> Сайт шліфувального верстату.

16. <https://vitcompany.com.ua/stanki/zuboobrabatyvayushchie-stanki/zuboshlifovalnye-stanki/zuboshlifovalnyy-standok-s-chpu-kapp-kx-1-1-id14746.html> Сайт зубошліфувального верстату.

17.

18. <https://taegutec.com.ua/> каталог інструментів *TeaguTec*

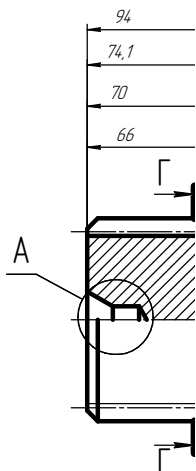
19. https://ecatalog.hoffmanngroup.com/index_ru.html?country=rus_RU_RUE/catalogs/&catalog=90000001#page_172 каталог інструментів *HoffmannGroup*

20. <https://studfile.net/preview/6164656/page:9/> Норми часу обробки

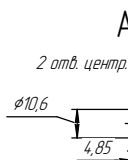
21.

22. <https://toolsua.com.ua/upload/gallery/8027-86.pdf> Контроль якості фрез.

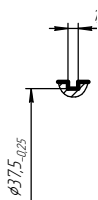
23. _____



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.



B(2:1)



6
13
755-2015
+0,3
8-С
$28,893_{-0,04}^{-0,06}$
0,028
0,071
0,036
0,05
0,02
$\pm 0,025$
78
0,025
0,016
СТ 6033-80
5
$3_{-0,09}^{-0,033}$
$-0,026$ 0,071
71.ТК
Масштаб
349
21
ММФ ТММ
Сталь 40
Формат А1

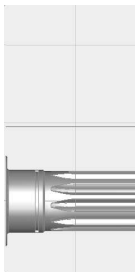
Додаток Б (лист 1)

Налаштування токарних переходів. Операція 10 Токарна з ЧПК, верстат DOOSAN PUMA 600, система ЧПК FANUC.



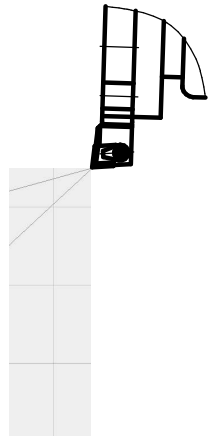
верстату з ЧПК
600

Точити тс
φ95; дов



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

Точити начисто

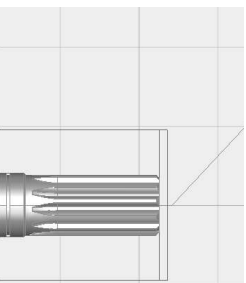
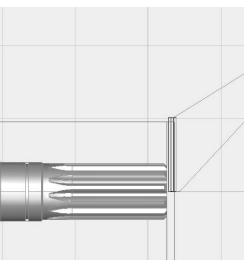


Т



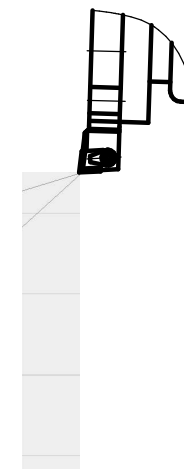
верстат з ЧПК
0

Точити торець 2.
φ95; довжина 5



Конференційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 17.07.2023р.

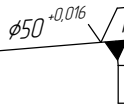
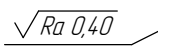
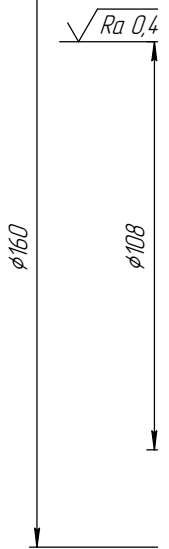
очити начисто



Назва операції	Подача (мм/об)	Оберти шпинделя (об/хв)
Свердлити отвір 2	0.1	1400

назва операції	(мм/об)	(об/хв)
Центрувати отвір 2	0.1	500

Фрагмент коду УП



Конференційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 17.07.2023р.

6
12
1
праве
2 °24'
ліве
2 °24'
6060
A
0,006
0,005
0,032
0,032
0,032

3.02.03.ТК

Лист	Маса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

І.Кунци									
Н.Контр									
С.Літ									

"Інструментальна сталь Р6М5Ф3"

НТУ "ДП" ММФ ТММ

Лист. номер

Сторінка №

Лист. №

Таблиця 4.1- Пла

Назва фрези
ССМГ 09Т304 FM
ССМГ 09Т304 FA
ІНМГ 080408RT
ССММ 120408RH
ІСММ 120408KT

Конференційну інформацію
 та комерційну таємницю
 вилучено з матеріалів на
 підставі експертного
 висновку від 17.07.2023р.

результати оцінювання

Дані для оцінки	Оцінка
Використані пластини – напівчистове, стабільність стружколому при обробці сталі – середня стабільність, кількість різальних край – мала, глибина різання – неглибока, CVD покриття – підходить.	55
Використані пластини – чистове, стабільність стружколому при обробці сталі – нестабільно, кількість різальних край – мала, глибина різання – неглибока, CVD покриття – підходить.	36
Використані пластини – чорнове, стабільність стружколому при обробці сталі – стабільна, кількість різальних край – велика, глибина різання – середня, CVD покриття – підходить.	87
Використані пластини – чорнове, стабільність стружколому при обробці сталі – середня стабільність, кількість різальних край – середня, глибина різання – глибока, CVD покриття – підходить.	85
Використані пластини – чорнове, стабільність стружколому при обробці сталі – стабільна, кількість різальних край – середня, глибина різання – глибока, CVD покриття – підходить.	88