

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

Механіко-машинобудівний факультет
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувача вищої освіти Дашкевича Владислава Юрійовича
(ПІБ)

академічної групи 131М-23Н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»

на тему: «Аналіз конструкторсько-технологічних можливостей механічної
обробки виробів в CAD-CAM системах нового покоління»

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від **28.04.25 №317-с**

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Рубан В.М.			
розділів:				
Аналітичний	Рубан В.М.			
Технологічний	Рубан В.М.			
Спеціальний	Рубан В.М.			
Науково- дослідницький	Рубан В.М.			
Рецензент	Кривда В.В.			

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.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри

технологій машинобудування та матеріалознавства
(повна назва)

_____ В.А. Дербаб
(підпис) (ініціали та прізвище)

« _____ » _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

здобувачу вищої освіти Дашкевича Владислава Юрійовича
(прізвище та ініціали)

академічної групи 131М-23Н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

спеціалізації за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг машинобудівного виробництва»

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 №317-с

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень - процес механічної обробки деталі на верстаті з ЧПК.

Предмет досліджень - швидкість виконання поставлених завдань в середовищі САМ-програми Autodesk, функціональні можливості системи, складність роботи програми і повнота інформації.

Мета – ефективність використання інформаційних технологій на прикладі автоматизованої механічної обробки корпусної деталі Вал на верстаті з ЧПК.

Вихідні дані для проведення роботи - 1) аналіз джерел інформації з питань режимних параметрів механічної обробки; 2) аналіз застосування інтерфейсу САМ-системи при виконанні конструкторських та технологічних задач; 3) визначення впливу режимів різання та стратегій фрезерної обробки на продуктивність і оптимальність керуючої програми для верстата з ЧПК.

3 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Новизна - удосконалено підхід до оцінки стратегій (траєкторій) фрезерної обробки деталі в САМ-системі Autodesk та створення методики залежності

основного часу обробки від режимних параметрів обробки заданих матеріалів заготовки та інструментальних матеріалів токарних різців.

Практична цінність - оптимізація стратегії обробки в САМ-програмі на прикладі деталі Вал, скорочення (зменшення) часу на підготовку конструкторсько-технологічної документації, розрахунок оптимізованої керуючої програми для обладнання і скорочення часу механічної обробки на верстаті з ЧПК як наслідок.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Створити практичні рекомендації щодо застосування альтернативних технологічних методів виготовлення деталі типу Вал за умов використання CAD-САМ систем.

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Аналітичний розділ	29.01.2025-25.02.2025
Технологічний розділ	26.02.2025-24.03.2025
Спеціальний розділ	25.03.2025-21.04.2025
Науково-дослідницький розділ	22.04.2025-05.05.2025

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

В.М. Рубан

_____ (ініціали та прізвище)

Дата видачі 15 січня 2025 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії 5 травня 2025 р.

Прийнято до виконання

_____ (підпис здобувача вищої освіти)

В.Ю. Дашкевич

_____ (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: __ с, __ рис, __ табл., __ додаток, __ джерела.

Тема: Аналіз конструкторсько-технологічних можливостей механічної обробки виробів в CAD-CAM системах нового покоління

Ключові слова: Вал, технологія виробництва, токарна операція, фрезерна операція, ЧПК, САМ-система.

Об'єкт розроблення у кваліфікаційній роботі – технологічні процеси механічної обробки однієї деталі - «Вал».

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та удосконалення технологічних процесів обробки деталі з застосуванням універсальних верстатів та верстатів з ЧПК.

Результат роботи – технологічний процес виготовлення деталі «Вал шліцьовий» в умовах серійного виробництва з застосуванням сучасного обладнання.

Новизна кваліфікаційної роботи – вибір і обґрунтування варіанту технологічного процесу виготовлення деталі «Вал» з використанням сучасних технологій, прогресивного різального інструменту та обладнання.

Практична цінність – рекомендації щодо проектування процесу обробки конкретної деталі в умовах серійного виробництва.

У кваліфікаційній роботі розроблені детальні технологічні операції. Здійснено вибір сучасних багатоцільових верстатів та верстатів з ЧПК, оснастки, прогресивного ріжучого інструменту та режимів 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 «ЕЙ БІ ЕМ ТЕХНОЛОДЖИ».

ЗМІСТ

Вступ	2
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	3
1.1 Опис конструкції та службове призначення деталі	3
1.2 Фізико-механічні властивості матеріалу деталі. Хімічний склад.....	3
1.3 Визначення типу виробництва та його характеристика	4
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	5
2.1 Технологічний контроль креслення деталі та аналіз деталі на технологічність.....	5
2.2 Вибір виду, методу отримання заготовки та його обґрунтування.....	7
2.3 Розрахунок припусків та встановлення операційних розмірів і допусків на них.....	9
2.4 Розробка технологічного маршруту виготовлення з вибором баз та обладнання	
2.5 Характеристика обладнання, яке використовується у операція технологічного процесу.....	11
2.6 Розрахунок режимів різання та норм часу для всіх технологічних операцій, дві з яких розробити детально – токарна з ЧПК,	17
3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	22
3.1 Вибір та обґрунтування технологічної оснастки.....	22
4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	35
4.1. Складання алгоритмічної моделі технології виготовлення деталі "Вал" на токарно-фрезерному верстаті з ЧПК	38
4.2 Написання оптимальної керуючої програми на розроблену операцію.....	39
4.3 Візуалізація механічної обробки та корекція.....	43
ВИСНОВКИ	
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	46
ДОДАТКИ.....	48

ВСТУП

Головне завдання машинобудування – забезпечити всі галузі промисловості високоефективними машинами та обладнанням. Машинобудування є основою індустріалізації.

Машинобудування часто розуміють як складову частину більш широкої виробничої групи – машинобудування і металообробка – в яку, окрім машинобудування входить обробка металів, виробництво металевих виробів, металоконструкцій, ремонт машин і устаткування.

Машинобудування займає провідне місце в промисловості за обсягом продукції, що випускається, вартості основних виробничих фондів і чисельності робітників, зайнятих у виробництві. У сучасному машинобудуванні більшість продукції випускається в серійному виробництві, для якого характерний безперервний процес виробництва. Велика номенклатура машин і устаткування, їх складність і можливість розчленування на окремі вузли і деталі обумовлюють широку спеціалізацію виробництва продукції машинобудування.

Виробництво машин та устаткування в розвинених країнах високо монополізовано. Найбільші монополії грають провідну роль у виробництві машинобудівної продукції.

Технологія машинобудування широко використовується практично у всіх галузях промисловості, в тому числі в авіаційній, автомобільній, верстатобудуванні у виробництві побутових приладів і машин, в інструментальній промисловості, приладобудуванні, радіопромисловості, в сільськогосподарському машинобудуванні, верстатобудуванні, судобудівництві, в важкому машинобудуванні, в електричній промисловості, енергетичному машинобудуванні.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Опис конструкції та службового призначення деталі

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.



Рис.1.1 Тривимірний фрагмент деталі Вал

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

0,49

0,37

0,80

1,10

Тε

Стан по
режими
термооб

Поковкє
нормалі

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

1.:

Тип виробництва визначається за кількістю деталей, які обробляються за рік. Із завдання річна програма складає 35000 шт., маса деталі – 4,8кг. Тип виробництва – серійне [1 ст.14 т.3.1.1.] Для середньосерійного виробництва визначаємо величину партії запуску деталей за формулою :

$$n_3 = \frac{N_{\text{річ.}}}{P_d} \times q \quad (1.1)$$

де $N_{\text{річ.}} = 35000$ шт - річна програма,
 $q = 8$ - необхідний запас деталей на складі
 P_d - число робочих днів у поточному році,

$$P_d = D_k - (D_v + D_{\text{св}}) \quad (1.2)$$

де $D_k = 365$ днів – кількість календарних днів на рік,
 $D_v = 105$ днів – кількість вихідних днів,
 $D_{\text{св}} = 11$ днів – кількість законодавчо встановлених вихідних днів на свята.
 $P_d = 365 - (105 + 10) = 250$ днів

$$n_3 = \frac{35000}{250} \times 8 = 1120 \text{ штук}$$

Приймаємо партію запуску деталей 1120 штук

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Технологічний контроль креслення деталі та аналіз її на технологічність

Робоче креслення деталі «Вал» (рис.2.1) вміщує всі необхідні відомості , які надають повне уявлення про деталь. На кресленні вказано головний вид, вигляд зліва та з права , які надають повну уяву про деталь. Також на кресленні вказані всі необхідні розміри, на поверхнях проставлена шорсткість, яка відповідає точності розмірів. Креслення вміщує всі необхідні відомості про матеріал деталі та масу деталі.

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

аналізу

Якісний аналіз технологічності:

Деталь простої форми, при обробці не потребує спеціального пристосування, різального та вимірювального інструмента. Заготовка простої форми, всі поверхні доступні для обробки. Вказані на кресленні допустимі відхилення розмірів не перевищують геометричних похибок верстата.

Кількісна оцінка:

При кількісній оцінці визначаємо наступні коефіцієнти:

- 1) Коефіцієнт точності.
- 2) Коефіцієнт шорсткості.
- 3) Коефіцієнт уніфікації .

Для визначення цих коефіцієнтів складаємо таблицю 2.1

Таблиця 2.1 – Точність розмірів та шорсткості поверхонь деталі

№ Пов.	Найменування та розміри поверхні	Квалітет точності	Граничні відхилення, мм	Шорсткість, Ra, мкм
	<u>Діаметри</u>			
1	Зовнішня поверхня Ø80	f9	-0,104	10
2	Зовнішня поверхня Ø63	h9	-0,074	2,5
3	Зовнішня поверхня Ø52	f9	-0,104	1,25
	<u>Довжини</u>			
4	215	h14	-1,150	10
5	156	h14	-1	10
6	52	h14	-0,74	10
7	42	h14	-0,62	10
8	12	h14	-0,43	10
	<u>Отвори</u>			
9	Ø28	H9	+0,052	1,25
10	Ø6	h14	-0,3	10

1) Визначаємо коефіцієнт точності

Деталь вважається технологічною за точністю, якщо виконується умова:

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} \geq 0,8 \quad (2.1)$$

де T_{cp} – середній квалітет розмірів деталі

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \times n_i}{\sum n_i} \quad (2.2)$$

де n_i – кількість розмірів кожного квалітету

$$T_{cp} = \frac{9 \times 4 + 14 \times 6}{10} = 12$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{12} = 0,92 > 0,8$$

0,92 > 0,8 – тобто за точністю деталь технологічна

2) Визначаємо коефіцієнт шорсткості

Деталь вважається технологічною за шорсткістю, якщо виконується умова:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{ср}} \leq 0,32 \quad (2.3)$$

де $Ш_{ср}$ – середня шорсткість

$$Ш_{ср} = \frac{\sum Ш_{ср} \times ni}{\sum ni} \quad (2.4)$$

$$Ш_{ср} = \frac{1,25 \times 2 + 2,5 \times 1 + 10 \times 7}{10} = 7,5$$

$$K_{ш} = \frac{1}{7,5} = 0,13 < 0,32$$

$0,13 < 0,32$ – тобто за шорсткістю деталь технологічна

3) Визначаємо коефіцієнт уніфікації

За коефіцієнтом уніфікації деталь вважається технологічною, якщо виконується умова:

$$K_y = \frac{Q_y}{Q_e} \geq 0,6 \quad (2.5)$$

де $Q_y = 10$ - число уніфікованих елементів

$Q_e = 10$ - число конструкційних елементів

$$K_y = \frac{10}{10} = 1 > 0,6$$

$1 > 0,6$ – тобто за коефіцієнтом уніфікації деталь технологічна

За всіма коефіцієнтами деталь вважається технологічною.

2.2 Вибір виду, методу отримання заготовки та його обґрунтування

Тип виробництва деталі «Вал» - середньосерійне виробництво, тому треба обрати заготовку, яка найбільш наближена до форми деталі і буде мати коефіцієнт використання матеріалу $> 0,6$. Оскільки різниця між діаметрами складає більше 5 мм, то таким вимога відповідає заготовка поковка одержана в штампах на пресі.

Визначаємо категорію поковки:

- точність виготовлення клас II
- група сталі M1
- ступінь складності поковки C1

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу

$$K_{BM} = \frac{m_{дет}}{m_{заг}} \quad (2.6)$$

Де, $m_{дет} = 4,8$ - маса деталі, кг

$m_{заг}$ - маса заготовки, кг

Розраховуємо масу заготовки

$$m_{заг} = V_{заг} \times \gamma \quad (2.7)$$

Де, $V_{заг}$ - загальний об'єм заготовки, см³

$\gamma = 7,8$ – питома вага матеріалу для сталі 45Х, г/см³

Розраховуємо об'єму заготовки

$$V_{заг} = \frac{\pi D_1^2}{4} \times l_1 + \frac{\pi D_2^2}{4} \times l_2 + \frac{\pi D_3^2}{4} \times l_3 \quad (2.8)$$

$$V_{заг} = \frac{3,14 \times 8,48^2}{4} \cdot 1,2 + \frac{3,14 \cdot 6,78^2}{4} \cdot 5,71 + \frac{3,14 \cdot 5,68^2}{4} \cdot 16,33 \\ = 687,31 \text{ см}^3$$

$$m_{заг} = 687,31 \cdot 7,8 = 5361 \text{ гр} = 5,3 \text{ кг}$$

$$КВМ = \frac{4,8}{5,3} = 0,9$$

0,9 > 0,6 – до даної деталі в умовах серійного виробництва коефіцієнт використання матеріалу задовільний.

Таблиця 2.2 – Розміри заготовки

Розміри деталі, мм	Шорсткість Ra, мкм	Припуск Z, мм	Розміри заготовки, мм	Допуск T, мм	Граничні відхилення, мм
Ø80	Ra2,5	2,4+2,4=4,8	Ø84,8	1,0	+2,1 -1,1
Ø63	Ra10	2,4+2,4=4,8	Ø67,8	1,0	+2,1 -1,1
Ø52	Ra1,25	2,4+2,4=4,8	Ø56,8	1,0	+2,1 -1,1
7	Ra10	2,3+2,7=5	12	0,9	+1,9 -1,0
52	Ra10	2,3+2,4=4,7	56,7	1,0	+2,1 -1,1
215	Ra10	2,7+2,7=5,4	220,4	1,0	+2,5 -1,5

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

2.3 Розробка маршруту механічної обробки деталі

Таблиця 2.3 – Технологічний маршрут

№ опер	Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.	Обладнання
005	Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.	Дрезерно-центрувальний верстат DOOSAN PUMA TT1300SY
010	Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.	Токарний верстат з ЧПК мод. DOOSAN PUMA TT1300SY

015	Токарня з ЧПК	Токарний ерстат з ЧПК од. ЮOSAN UMA T1300SY
<div style="border: 2px solid red; padding: 10px;"> <p>Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.</p> </div>		
<p>5. Розточити отвір 10 , фаску</p>		
0.	<div style="border: 2px solid red; padding: 10px;"> <p>Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.</p> </div>	Кально- пильний зт SAN A 00SY
025	<div style="border: 2px solid red; padding: 10px;"> <p>Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.</p> </div>	Люсарний ерстак
030	Шліфувальни верстат E- Tech EGP NC	
035	Лийна ашина	
040	Контрольна	Стіл ВТК

2.4 Характеристика обладнання, яке використовується у технологічному маршруті

005 операція – Фрезерно-центрувальна

010 операція – Токарна з ЧПК

015 операція – Токарна з ЧПК

020 операція – Вертикально-свердлильна з ЧПК

Виконуються на токарно-фрезерному обробному центрі DOOSAN PUMA



Рис.2.4 DOOSAN PUMA TT1300SY

030 операція – Круглошліфувальна

Виконується на круглошліфувальному верстаті E-Tech EGP CNC з програмним керуванням (рис2.5)



Рис.2.5 Шліфувальний верстат з ЧПУ моделі E-Tech EGP CNC

2.5 Встановлення операційних припусків, розмірів та допусків

Припуски під обробку обираємо з нормативних таблиць визначення операційних припусків [.с43т.27]

Таблиця 2.4 - Загальні та операційні припуски

Найменування і номер поверхні деталі	Загальний припуск $2z$, мм	Операційні припуски, мм		
		Попередня обробка	Кінцева обробка	Оздоблювання
Зовнішня поверхня обертання $\text{Ø}80f9$	$2,4 \cdot 2 = 4,8$	3,7	1,1	-
Зовнішня поверхня обертання $\text{Ø}63h9$	$2,4 \cdot 2 = 4,8$	3,7	1,1	-
Зовнішня поверхня обертання $\text{Ø}52f9$	$2,4 \cdot 2 = 4,8$	3,2	1,1	0,5
Торці	$2,7 \cdot 2 = 5,4$	$2,7 + 2,7 = 5,4$	-	-

Таблиця 2.5 – Визначення меж операційних розмірів та допусків на них

№	Операційні переходи	Операційні припуски, мм	Операційні розміри, мм	Квалітет точності	Допустимі відхилення
1	Зовнішня поверхня обертання Ø80f9, Ra 10				
	1. Заготовка	4,8	Ø84,8	-	+2,1 -1,1
	2. Точіння попереднє	3,7	Ø81,1	h12	-0,30
	3. Точіння кінцеве	1,1	Ø80	f9	-0,030 -0,104
2	Зовнішня поверхня обертання Ø63h9, Ra 2,5				
	1. Заготовка	4,8	Ø67,8	-	+2,1 -1,1
	2. Точіння попереднє	3,7	Ø64,1	h12	-0,30
	3. Точіння кінцеве	1,1	Ø63	h9	-0,074
3	Зовнішня поверхня обертання Ø52f9, Ra 1,25				
	1. Заготовка	4,8	Ø56,8	-	+2,1 -1,1
	2. Точіння попереднє	3,2	Ø53,6	h14	-0,074
	3. Точіння кінцеве	1,1	Ø52,5	h11	-0,19
	4. Шліфування	0,5	Ø52	f9	-0,030 -0,104
4	Торці 215h14, Ra 10				
	1. Заготовка	2,7+2,7=5,4	220,4	-	+2,5 -1,5
	2. Фрезерування	2,7+2,7=5,4	215	h14	-1,15

На зовнішню поверхню обертання Ø52f9 будемо схему розташування припусків, для чого визначаємо найбільший та найменший розміри заготовки та припуски.

Заготовки

$$D_{\text{заг. max}} = 56,8 + 2,1 = 58,9 \text{ мм}$$

$$D_{\text{заг. min}} = 56,8 - 1,1 = 55,7 \text{ мм}$$

Попереднє точіння

$$D_{1\max} = 53,6 \text{ мм}$$

$$D_{1\min} = 53,6 - 0,74 = 52,86 \text{ мм}$$

Кінцеве точіння

$$D_{2\max} = 52,5 \text{ мм}$$

$$D_{2\min} = 52,5 - 0,19 = 52,01 \text{ мм}$$

Шліфування

$$D_{3\max} = 52 - 0,03 = 51,97 \text{ мм}$$

$$D_{3\min} = 51,97 - 0,104 = 51,866 \text{ мм}$$

Визначаємо припуски по переходам.

Попереднє точіння

$$Z_{1\max} = D_{\text{заг. max}} - D_{1\min} = 58,9 - 52,86 = 6,04 \text{ мм}$$

$$Z_{1\min} = D_{\text{заг. min}} - D_{1\max} = 55,7 - 53,6 = 2,1 \text{ мм}$$

Кінцеве точіння

$$Z_{2\max} = D_{1\max} - D_{2\min} = 53,6 - 52,01 = 1,59 \text{ мм}$$

$$Z_{2\min} = D_{1\min} - D_{2\max} = 52,86 - 52,5 = 0,36 \text{ мм}$$

Шліфування

$$Z_{3\max} = D_{2\max} - D_{3\min} = 52,5 - 51,866 = 0,634 \text{ мм}$$

$$Z_{3\min} = D_{2\min} - D_{3\max} = 52,01 - 51,97 = 0,04 \text{ мм}$$

Розташування полів припусків та міжопераційних допусків для найбільш точної поверхні наведено на схемі.

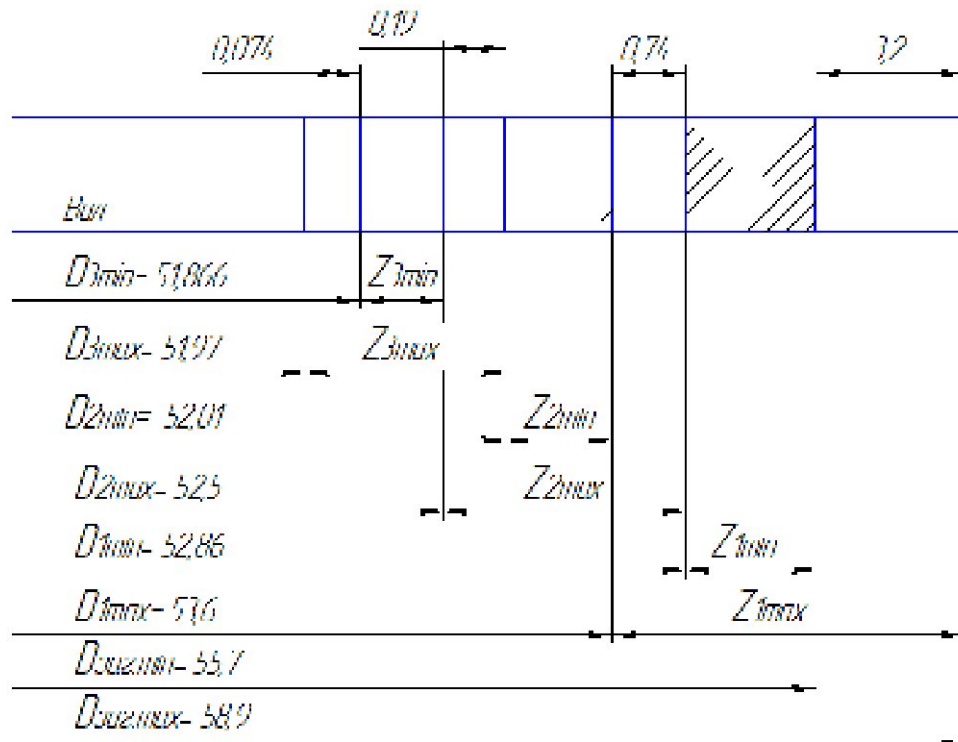


Рисунок 2.5 – Схема розташування операційних припусків

2.6 Докладна розробка двох операцій технологічного процесу

Операція 010– Токарна з ЧПК

Обладнання : Токарній з ЧПК мод. DOOSAN PUMA

Пристосування: Патрон 3-х кулачковий з пневмоприводом

Зміст операції наведено у таблиці 2.6

Таблиця 2.6 – Зміст операції 010

Зміст переходу	Допоміжний інструмент	Ріжучий інструмент	Вимірювальний інструмент
1.Встановити та закріпити деталь			
2. Підрізати уступи 3,6	Різцева головка	Різець підрізний, прохідний з тригранною пластинкою $\varphi=95^\circ$ T5K10 ДСТУ 20872-90	Шаблон довжини L = 52 мм L = 156 мм
3. Точити пов. 4,7, попередньо.	Різцева головка	Різець підрізний, прохідний з тригранною пластинкою $\varphi=95^\circ$ T5K10 ДСТУ 20872-90	
4. Точити пов. 4,7, фаски 5,8, згідно ескізу.	Різцева головка	Різець підрізний, прохідний з тригранною пластинкою $\varphi=95^\circ$ T15K6 ДСТУ 20872-90	Калібр-скоба 63h9 52,5h11 Калібр фасочний 2×45°, 4×45°
5.Розкріпити та зняти деталь.			

Траекторію переміщення інструменту наводимо на схемі наладки

Таблиця 2.7- Координати опорних точок

№ точ ки	Координата ,мм		Прирощення,мм		Lx.x, мм		Lp.x, мм	
	X	Z	ΔX	ΔZ	$\Delta X/2$	ΔZ	$\Delta X/2$	ΔZ
Інструментальний перехід №1								
Оп	180	315						
1	66	156	114	159	57	159		
2	53,6	156	12,4	0		6,2		
3	56,6	153	-3,6	3			1,8	3
4	87,8	156	-31,2	-3			15,6	3
5	87,8	208	0	-52		52		
6	64,1	208	23,7	0	11,85			
7	67,1	205	-3,1	3			1,55	3
8	67,1	156	0	49				49
9	64,1	153	3,1	3	1,55	3		
10	64,1	208	0	-55		55		
11	67,1	205	-3,1	3			1,55	3
12	67,1	3	0	202				202
13	53,6	3	13,5	0	6,75			
14	53,6	156	0	-153		153		
15	56,6	153	-3,6	3			1,8	3
Оп	180	315	-123,4	-162			61,7	162
Σ_{L1xx}					83,35	422	84	428
Інструментальний перехід №2								
Оп	180	315						
1	180	3	128,56	313	64,28	313		
2	51,44	1,06	-1,06	1,94	0,53	1,94		
3	52,5	156	0	-154,94		154,94		
4	61,94	156	-9,44	0			4,72	
5	63	157,06	-1,06	-1,06	0,53	1,06		
6	63	208	0	-50,94		50,94		
7	66	205	-3	3			1,5	3
Оп	180	315	-114	-110			57	110
Σ_{L2xx}					65,34	521,88	63,22	113

Розрахунок режимів різання

Позиція 1

Перехід 3. Точити поверхню 2, витримуючи розмір $\varnothing 81,1_{-0,30} h12$ напрохід.

1. Визначаємо глибину різання t , мм:

$$t = 1,85 \text{ мм}$$

2. Розраховуємо подачу:

$$S_o = S_t \times K_{s1} \times K_{s2} \times K_{s3}, \quad (2.11)$$

де $S_t = 0,75$ -табличне значення подачі, мм/об;

[2с.5к.21]

$K_{s1} = 0,9$ - коефіцієнт, який залежить від стану поверхні заготовки;

[2с.6к.22]

$K_{s2} = 1$ -коефіцієнт, який залежить від межі міцності обробляемого матеріалу;

$K_{s3} = 0,7$ -коефіцієнт, який залежить від матеріалу ріжучої частини інструмента.

$$S_o = 0,75 \times 0,9 \times 1 \times 0,7 = 0,47 \text{ мм/об}$$

3. Розраховуємо швидкість різання:

$$V = V_t \times K_{v1} \times K_{v2} \times K_{v3} \quad (2.12)$$

де $V_t = 85$ м/хв.- табличне значення швидкості різання;

[2с.22к.32]

$K_{v1} = 0,85$ -коефіцієнт, який залежить від стану поверхні заготовки;

[2с.23.к33]

$K_{v2} = 1,0$ - коефіцієнт, який залежить від матеріалу ріжучої частини інструмента;

$K_{v3} = 1,0$ -коефіцієнт, який залежить від періоду стійкості інструмента.

$$V = 85 \times 0,85 \times 1,0 \times 1,0 = 69,7 \text{ м/хв}$$

4. Розраховуємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D}, \quad (2.13)$$

де D - діаметр заготовки

$$n = \frac{1000 \times 69,7}{3,14 \times 84,8} = 274 \text{ хВ}^{-1}$$

5. Розраховуємо основний час:

$$T_o = \frac{L}{S_o \times n}, \quad (2.14)$$

$$T_o = \frac{9,3}{0,47 \times 274} = 0,07 \text{ хВ}$$

7. Розраховуємо потужність різання:

$$N_{\text{різ}} = N_T \times K_n \quad (2.15)$$

де $N_T = 2,9$ кВт- табличне значення потужності верстата; [4с24к33]
 $K_n = 0,9$ - коефіцієнт, який залежить від кута в плані [4с25к33]

$$N_{\text{різ}} = 2,9 \times 0,9 = 2,61 \text{ кВт}$$

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{дв}} \times \eta, \quad (2.16)$$

де $N_{\text{дв}} = 11$ кВт – потужність двигуна;
 $\eta = 0,8$ - ККД верстата.

$$N_{\text{шп}} = 11 \times 0,8 = 8,8 \text{ кВт}$$

$N_{\text{різ}} < N_{\text{шп}}$ - умова різання;

$2,61 < 8,8$ – різання можливе

Висновок: для обраного режиму потужність верстата достатня.

Та

Пер.	
1	□
2	□
3	
4	
1	
2	

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

хВ
3
6
5
7
1
3

Нормування операції

1. Визначаємо штучний час:

$$T_{шт}=(T_0+T_{доп}+K_{tb})\times(1+T_{обсл}/100), \quad (2.17)$$

де T_0 - основний час на операцію;

$T_{доп}$ - допоміжний час на операцію;

$K_{tb}=0,75$ -поправковий коефіцієнт в залежності від партії деталей

$T_{обсл}=9\%$ - час на організацію і технологічне обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби

Визначаємо загальний основний час на операцію:

$$T_0=0,13+0,06+0,35+0,87+0,31+0,8=2,52 \text{ хв}$$

Визначаємо допоміжний час на операцію за формулою:

$$T_{доп}=T_{ч.вст}+T_{х.х}+T_{вим}+T_{д.обсл}, \quad (2.18)$$

де $T_{ч.вст}=0,64$ хв-час на встановлення і закріплення деталі [4с23к3]

$T_{х.х}$ - час на холості ходи інструмента

$$T_{х.х}=T_{х.х}(x)+T_{х.х}(z) \quad (2.19)$$

де $T_{х.х}(x)$ - час на холості ходи всіх інструментів по вісі x;

$$T_{х.х}(x)=\frac{\Sigma L_{xx}(x)}{S_{хв.х.х}(x)}, \quad (2.20)$$

де $\Sigma L_{xx}=147,22$ -довжина шляху холостих ходів по вісі x

$$T_{х.х}(z)=\frac{\Sigma L_{xx}(z)}{S_{хв.х.х}(z)}, \quad (2.21)$$

де $\Sigma L_{xx}(z)=541$ -довжина шляху холостих ходів по вісі z

Згідно паспорту верстату DOOSAN PUMA

$S_{хв.х.х}(x)=500-2500$, приймаємо 1000 мм/хв

$S_{хв.х.х}(z)=1000-5000$, приймаємо 2000 мм/хв

$$T_{х.х}=\frac{147,22}{1000} + \frac{541}{2000} = 0,41 \text{ хв}$$

Твим- час на вимірювання

$$T_{\text{вим}} = T_{\text{вим1}} + T_{\text{вим2}}, \quad (2.22)$$

де $T_{\text{вим1}} = 0,07 \times 2 = 0,14$ хв- час на вимірювання скобами [4с46к11]

$T_{\text{вим2}} = 0,2 \times 2 = 0,4$ хв- час на вимірювання шаблонами [4с50к11]

$$T_{\text{вим}} = 0,14 + 0,4 = 0,54 \text{ хв}$$

$$T_{\text{д.обсл}} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \quad (2.23)$$

де $T_1 = 0,04$ хв- включення і виключення верстату;

$T_2 = 0,03$ хв- відкрити і закріпити огорожу від стружки; [4с44к10]

$T_3 = 0,15$ хв - встановити координати x,z;

$T_4 = 0,04 \times 2 = 0,08$ хв- корекція на два коректора

$$T_{\text{д.осбл}} = 0,04 + 0,03 + 0,15 + 0,08 = 0,3 \text{ хв}$$

Допоміжний час на операцію:

$$T_{\text{доп}} = 0,64 + 0,41 + 0,54 + 0,3 = 1,89 \text{ хв}$$

Штучний час на операцію:

$$T_{\text{шт}} = (2,52 + 1,89 \times 0,75) \times (1 + 9/100) = 4,28 \text{ хв}$$

Для серійного виробництва визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{\text{шт.к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п.з}}}{n_{\text{зап}}}, \quad (2.24)$$

де $T_{\text{п.з}}$ - підготовчо-заклучний час на операцію;

$n_{\text{зап}} = 1120$ шт - партія запуску деталей

Розраховуємо підготовчо-заклучний час :

$$T_{\text{п.з}} = T_{\text{п.з1}} + T_{\text{п.з2}} + T_{\text{п.з3}} + T_{\text{п.з4}}, \quad (2.25)$$

$$T_{\text{п.з}} = 13 + 3,5 + 0,4 \times 2 + 0,5 \times 2 + 7,5 = 26,8 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт.к}} = 4,28 + \frac{26,8}{1120} = 4,3 \text{ хв}$$

Операція 030 – Круглошліфувальна
 Верстат: круглошліфувальний мод. EGP
 Пристосування: повідковий патрон , центра, хомутик
 Зміст операції наведено у таблиці 2.9

Таблиця 2.9 – Зміст операції

Зміст переходу	Допоміжний інструмент	Ріжучий інструмент	Вимірювальний інструмент
1. Встановити та закріпити деталь			
2. Шліфувати поверхню 7 витримуючи розміри $\varnothing 52f9(-0,030/-0,104)$ на довжину 156мм	Оправка	Круг-шліфувальний 250x32x51	Калібр – скоба 52f9
3. Розкріпити та зняти деталь			

Шліфувати поверхню 7, витримуючи розміру $\varnothing 52f9(-0,030/-0,104)$ на довжину 156мм .

1. Глибина різання t , мм
 $t=0,01$ [3с301т55]

2. Поперечна подача $S_{поп}$, мм/хід
 $S_{поп} = t = 0,01$

3. Швидкість круга
 3.1 Допустима швидкість круга $V_{доп}$, м/с
 $V_{доп} = V_T = 35$ [3с301т55]
 3.2 Розрахунок швидкості круга V_k , м/с

$$V_k = \frac{\pi \times D_k \times n_k}{1000 \times 60}, \quad (2.26)$$

$n_k = 1900$ хв-1- паспортна швидкість
 $D_k = 250$ мм – діаметр круга

$$V_k = \frac{3,14 \times 250 \times 1900}{1000 \times 60} = 24,85 \text{ м/с}$$

$V_{доп} > V_k$ - умова міцності круга
 $35 > 24,85$ – круг міцний

4. Швидкість заготовки $V_{заг}$ м/хв

$$V_{заг} = 20$$

[3с301т55]

5. Частота обертання заготовки $n_{заг}$ хв-1

$$n_{заг} = \frac{1000 \times V_{заг}}{\pi \times D_{заг}} \quad (2.27)$$

$$n_{заг} = \frac{1000 \times 20}{3,14 \times 52,5} = 120 \text{ хв-1}$$

-в межах паспорту (100...1000)

6. Повздовжня подача стола S_o , мм/об

$$S_o = k \times B \quad (2.28)$$

$k = 0,5$ - для попереднього шліфування для $D > 20$ мм.

$B = 32$ мм – ширина круга.

$$S_o = 0,5 \times 32 = 16 \text{ мм/об}$$

7. Хвилинна подача стола з заготовкою $S_{хв}$, мм/хв

$$S_{хв} = S_o \times n_{заг} \quad (2.29)$$

$$S_{хв} = 16 \times 120 = 1920$$

-в межах паспорту (20...4000)

8. Потужність різання $N_{різ}$, кВт

$$N_{різ} = C_N \times V_{заг}^r \times S_{поп}^x \times S_o^y \times D_{заг}^q \quad (2.30)$$

$$C_N = 2,65$$

$$X = 0,5$$

$$y = 0,55$$

$$r = 0,5$$

$$q = 0$$

[3с303т56]

$$N_{різ} = 2,65 \times 20^{0,5} \times 0,01^{0,5} \times 16^{0,55} \times 52,5^0 = 5,43$$

$$N_{шп} = N_{дв} \times n \quad (2.31)$$

$$N_{дв} = 7,5$$

$$n = 0,8$$

$$N_{\text{шп}} = 7,5 \times 0,8 = 6$$

6 > 5,43 – різання можливе

9. Основний час T_0 , хв

$$T_0 = \frac{L}{S_{\text{хв}}} \times i \times K_B \times f \quad (2.32)$$

$$L = l + y + \Delta,$$

$$l = 156 \text{ мм}$$

$$(y + \Delta) = B = 32 \text{ мм}$$

i - кількість проходів

$$i = \frac{h}{t} \quad (2.33)$$

h - припуск під шліфування на сторону

$$h = 0,25 \text{ мм}$$

$$i = \frac{0,25}{0,01} = 25$$

$K_B = 1,2$ – коефіцієнт вихожування поверхні

$f = 1$, якщо $S_{\text{поп}}$ в мм/хід

$$T_0 = \frac{188}{1920} \times 25 \times 1,2 \times 1 = 2,93 \text{ хв}$$

Нормування операції:

Визначаємо штучний час:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{обсл}} + T_{\text{потр}}, \quad (2.34)$$

де $T_{\text{оп}}$ - операційний час, складається з поступових складових;

$$T_{\text{оп}} = T_0 + T_{\text{доп}}, \quad (2.35)$$

де $T_0 = 2,93$ хв - з попереднього розрахунку;

$T_{\text{доп}}$ - допоміжний час на операцію, визначається за формулою:

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{вст}} + T_{\text{пер}} + T_{\text{вим}}, \quad (2.36)$$

де, $T_{\text{вст}}$ - час на встановлення деталі в пристосуванні;

$$T_{вст} = 0,20 + 0,12 + 0,09 = 0,41 \text{ хв} \quad [15с305к15]$$

$T_{пер}$ - час зв'язаний з переходами;

$$T_{пер} = T_{пер1} + T_{пер2} \quad (2.37)$$

$$T_{пер} = 0,8 + 0,03 = 0,83 \text{ хв} \quad [15с307к17]$$

$T_{вим}$ - час на вимірювання розмірів;

$$T_{вим} = 0,13 \text{ хв} \quad [15с300к20]$$

$$T_{доп} = 0,41 + 0,83 + 0,13 = 1,37 \text{ хв};$$

$T_{обсл}$ - час на обслуговування верстата;

Приймається у відсотках від операційного часу:

$$T_{оп} = 2,93 + 1,37 = 4,3 \text{ хв}$$

$$T_{обсл} = \frac{a \times T_{оп}}{100}, \quad (2.38)$$

де $a = 1,5\%$ - час на обслуговування [15с311к19]

$$T_{обсл} = \frac{1,5 \times 4,3}{100} = 0,06 \text{ хв}$$

$T_{потр}$ - час на відпочинок і особисті потреби;

Приймається у відсотках від операційного часу:

$$T_{потр} = \frac{b \times T_{оп}}{100}, \quad (2.39)$$

де $b = 6\%$ – відсоток на потреби; [15с311к19]

$$T_{потр} = \frac{6 \times 4,3}{100} = 0,25 \text{ хв}$$

$$T_{шт} = 4,3 + 0,06 + 0,25 = 4,61 \text{ хв}$$

Для серійного виробництва визначається штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{п.з}}{n_{зап}}, \quad (2.40)$$

де $T_{шт} = 4,61 \text{ хв}$ - з попереднього розрахунку;

$T_{п.з}$ - підготовчо-заклучний час на наладку верстата і установку пристосування, на встановлення різального інструменту, на додаткові

програми, на отримання інструменту і пристосування перед початком і здачу після закінчення обробки партії деталі.

$$T_{п.з} = T_{п.з1} + T_{п.з2} + T_{п.з3} + T_{п.з4} + T_{п.з5}, \quad (2.41)$$

$$T_{п.з} = 17 + 2,5 + 6 + 1 + 10 = 36,5 \text{ хв}$$

пзап = 1120 шт- партія запуску деталей, з попереднього розрахунку

$$T_{шт.к} = 4,61 + \frac{36,5}{1120} = 4,64 \text{ хв}$$

Розрахунок режимів різання та норм часу на інші операції зводимо у таблицю 2.10, 2.11

Таблиця 2.10 – Режими різання

№ опер	Найменування переходу	D, мм	L, мм	t, мм	i	So, мм/об мм/хв	V, мм/хв	n, хв ⁻¹	To, хв
005	1.Фрезеруват торці 1,9 одночасно 2. Центруват отвори 1,9одночасн								
010	1.Підрізати уступ 3,6 2.Точити пов. 4,7 попередньо. 3.Точити пов 4, фаску 5,8 кінце	1200,0 1200,0	55	1,05	1	0,17	40,7	220	0,25
015	1.точити пов 2, поперед, кінцево 2.Свердлити отвір 10 попер. 3.Розсвердлити отвір 10 попер.								

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Продовження таблиці – 2.10

	4.Розточити Отвір 10 по	Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.
	5.Розточити отв. 10 і фас 11 кінцево	
020		
	1.Свердли отвір 12.	
	2.Зняти фас 13	
030		
	1.Шліфувати пов. 7	

Таблиця 2.11 – Норми часу

№ опер	Найменування операції	T _о	T _{вст}	T _{хх}	T _п	T _{доп}	T _{оп}	T _{обс}	T _{шт}	T _{пз}	T _{штк}
005	Фрезерно-центрувальна	0,33	0,17		0,62	0,94	1,27	0,05	1,32	18	1,33
010	Токарна з ЧПК	2,52	0,64	0,41		1,89		0,3	4,28	26,8	4,3
015	Токарна з ЧПК	1	0,64	0,27		1,48		0,3	2,29	26,8	2,31
020	Вертикально-свердлильна	0,21	0,77		0,37	1,54	1,75	0,02	1,87	22	1,88
030	Круглошліфувальна	2,93	0,55		0,83	1,37	4,3	0,06	4,61	36,5	4,64

3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вибір ріжучого і вимірювального інструмента для параметричних моделей в систему FeatureCAM.

Для зовнішнього точіння торців та зовнішніх поверхонь точінням обираємо різець з каталогу *Taegutec* з такими даними:

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Для обробки внутрішніх поверхонь розточуванням обираємо різець з каталогу ISO з такими даними:

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

PCONMS H LF LDRED WF DMIN

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

3.6 Вибір вимірювального інструмента

Для контролю розмірів деталі після операцій використовуються такі вимірювальні інструменти:

Штангенциркуль для розмірних перевірок ЦНЦ Ш 181 показана на рис. 2.12;

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

И	Ю						вимірювання, мм	
20 0503	20 0534	400 / 16	0,05	1/12 8	14 9	-	125	0,9 5

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

КАНАВОК ІШЦЦ-11

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.

Рисунок 2.15 – Штангенглибиномір для вимірювання глибини отворів ШГЦ-I
[8]

Характеристики:
Вага, кг: 0,175
Виконання: G
Накінецьник, мм: 20,5x6,0/3,5
Межа виміру, мм/дюйм: 150/6
Розмір мостику, мм: 100
Точність, ±мкм: 0,02
Ціна поділки мм/дюйм: 0,01/0,0005

4. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Складання алгоритмічної моделі технології виготовлення деталі "Вал" на токарно-фрезерному верстаті з ЧПК

В даному розділі представлений автоматизований процес токарно-фрезерна обробка деталі "Вал-шліцьовий" (рис.3.1) з ілюстрованими переходами і описом операцій. Як програма для реалізації обробки деталі була обрана Feature Cam (компанії AUTODESK) - пакет для підготовки високоефективних управляючих програм для токарно-фрезерних верстатів з ЧПК, а також Solidworks для тривимірного моделювання деталі і заготовки

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Рис.3.1 Модель деталі

AUTODESK Feature Cam 2019 дозволяє підвищити продуктивність верстатів і, одночасно з цим, досягти найвищої якості при виготовленні деталей і оснастки.

Мета даного розділу - показати приклад одного з можливих варіантів механічної обробки із застосуванням 5-ти координатного верстата DOOSAN, а також підвищення ефективності та продуктивності при створенні керуючих програм для верстатів з ЧПУ в умовах серійного виробництва.

Основні переваги пакету Feature Cam 2019:

- Гнучкі стратегії чорнової і чистової обробки;
 - Висока швидкість розрахунку керуючих програм;
 - Автоматизована оптимізація подач для скорочення часу обробки;
- Інтегровані засоби візуалізації обробки;
- Перевірка і виключення врізів;
 - Імпорт твердотільних, поверхневих і Фасетное моделей, а також каркасної геометрії в різних форматах: AutoCAD, STL, STEP, IGES, Parasolid;
 - Автоматичне розпізнавання типових елементів (отвори, кишені, кишені і т.д.) і їх обробка;
 - Закриття отворів і пазів для виключення їх обробки;
 - Гнучкий механізм кордонів для обмеження зони обробки;
 - Генерація карт налагодження для керуючих програм;
 - Контроль зіткнень з урахуванням патрона, інструменту, органів верстата і управління.

3.2 Створення моделі і симуляція обробки деталі

На початку створюємо тривимірну твердотільну модель деталі і на підставі розрахованих припусків на механічну обробку створюємо заготовку за допомогою CAD програми SOLIDWORKS (рис.3.1) Тривимірна модель деталі служить не тільки для кращої візуалізації, але і по ній в кінцевому підсумку проводять порівняння після комп'ютерної обробки. Це дає можливість швидко перевірити місця, де залишився припуск, і де могли виникнути заріз і зіткнення. У свою чергу, це зменшує час витрачається на розрахунок програми для ЧПУ.

- Моделі заготовки була обрана зі стандартних елементів програми Feature Cam 2019 року, параметри якої були прораховані в технологічному процесі виготовлення деталі.

4.4 Вибір стратегії обробки і устаткування

В основі вибору стратегії обробки варто розрахунок мінімального основного технологічного часу, тому що економічний ефект буде багато в чому визначатися саме часом обробці. Для даної заготовки виберемо верстат, який є в базі програми, тому що це демонстраційна версія. У пакеті FeatureCAM 2019 існує утиліта для створення моделі верстата, завдяки якій можна створити модель будь-якого токарно-фрезерного верстата в умовах реального виробництва. Також в програмний комплекс входить утиліта для написання і редагування постпроцесорів.

Проводимо токарних операцію (точіння заготовки з обох сторін). Як пристосування використовуємо обертається центр і патрон. Це пристосування дає можливість вести обробку заготовки без переустановлення, що в свою чергу дає нам не тільки економію часу, але і виключає похибка при перевстановлення. Як ріжучий інструмент застосовуються чистові і чорнові різці з пластиною з твердого сплаву зі спеціальним покриттям і фрези для обробки пазу.

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

4.4 Генерування керуючої програми для верстата з ЧПУ

Після повної обробки в якості результату отримуємо не тільки графічне відображення результату і візуалізацію, але і машинний код для верстата PUMA TT1300SY (рис.3.10), тобто відбувається генерація керуючої програми. Фрагмент цієї програми представлено нижче:



Рис.3.10 DOOSAN PUMA TT1300SY

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.



Рис.3.11 Керуюча програма для верстата з ЧПК

Висновок: дані технічні можливості програм і обладнання на сьогоднішній день дозволяють виключити на 90% можливість появи небажано бракуванню виробу ще на стадії проектування і створення КП для верстатів, що в свою чергу, позитивно відбивається на економічній ефективності.

Також варто додати, що застосування таких обробних центрів дозволяє скоротити значний верстатний парк, тобто відбувається комбінування можливостей різних моделей в одному верстаті.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Після викладу розділів випускної кваліфікаційної роботи магістра зробимо висновки про виконану роботу в наступному:

- в аналітичному розділі проведено аналіз креслень конструкцій деталі Вал, з метою визначення якісної оцінки технологічності конструкцій та визначення коефіцієнта уніфікації деталі, що представляє собою кількісну оцінку технологічності конструкцій деталі;

- в технологічному розділі визначається тип виробництва і форма організації технологічного процесу виробництва деталі, вибирається і економічно обґрунтовується спосіб отримання заготовок, розробляється маршрут обробки деталей, визначаються режими різання. У розробленому маршруті обробки деталей досягли вищої точності і зниження основного технологічного часу за рахунок раціональної послідовності обробки деталі на верстаті з ЧПК;

- в спеціальному розділі виконаний підбір технологічного оснащення, ріжучого та вимірювального інструменту необхідного для механічної обробки деталей на верстаті з програмним керуванням.

- в науково-дослідницькому розділі виконаний аналіз конструкторських і технологічних можливостей програмного комплексу Autodesk у існуючий технологічний процес, з корегуванням режимних параметрів у науковій базі ISCAR <https://www.imc-i.com/mpwr/Milling/MachiningPower/TSlot/Serrated>. Надані практичні рекомендації щодо складання оптимальної траєкторії обробки деталі при механічній обробці та постпроцесуванні в САМ системі FeatureCAM.