

28.04.25.  
 Ру Рубан В.М.  
 Ру Рубан В.М.

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

Механіко-машинобудівний факультет  
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

**ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
 кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувачу вищої освіти Мазниця Максим Іванович  
(ІПБ)

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

спеціальності 131 Прикладна механіка  
 за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг

машинобудівного виробництва»

на тему: «Дослідження характеристик режимів різання та різального інструменту при механічній обробці деталі на верстаті з ЧПК»

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.	86	добре	В.М. Рубан
розділів:				
Аналітичний	Рубан В.М.	86	добре	В.М. Рубан
Технологічний	Рубан В.М.	86	добре	В.М. Рубан
Спеціальний	Рубан В.М.	88	добре	В.М. Рубан
Науково-дослідницький	Рубан В.М.	86	добре	В.М. Рубан
Рецензент	Гашин О.В.	86	добре	О.В. Гашин
Нормоконтролер	Рубан В.М.	85	добре	В.М. Рубан

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)

  
(підпис)

В.А. Дербоба  
(підпис та прізвище)

« 15 » 01 2025 року

## **ЗАВДАННЯ** на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

здобувачу вищої освіти Мазниця Максим Іванович  
(прізвище та ініціал)

академічної групи 131М-23н-1 ММФ  
(группа)

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 - стійкість різального інструменту в залежності від швидкості різання.

Мета - дослідження впливу режимів різання на стійкість різального інструменту при механічній обробці деталей на верстаті з ЧПК.

Вихідні дані для проведення роботи - 1) аналіз джерел інформації з питань підвищення стійкості різального інструменту; 2) аналіз застосування формули Тейлора та її модифікацій для прогнозування зносу інструменту; 3) визначення впливу режимів різання на стійкість інструменту для конкретних умов обробки.

**3 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ**

Новизна - удосконалено підхід до оцінки стійкості інструменту на основі поєднання класичної формули Тейлора з сучасними програмними засобами (калькулятор Sandvik Coromant). Застосовано точну апроксимацію емпіричних даних, що дозволяє прогнозувати поведінку інструменту в різних режимах

## Вступ

Обробка різанням є основним технологічним процесом при виготовленні деталей машин. Обробка різанням відрізняється досить високою продуктивністю, точністю, універсальністю та гнучкістю.

Розрахунок і вибір раціональних режимів різання – ключові завдання при розробці технологічних процесів механічної обробки. При розрахунку режимів різання необхідно враховувати вплив таких факторів як властивості матеріалу заготовки, стан оброблюваної поверхні, матеріал і геометричні параметри різального інструменту, характеристики верстатного обладнання та ін.

Призначення режиму різання полягає у виборі глибини різання, подачі й швидкості різання при найвигіднішій стійкості інструмента. Найпродуктивнішим режимом різання вважається такий, при якому забезпечується найбільша продуктивність і найменша собівартість обробки деталі.

При призначенні елементів режиму різання необхідно найбільш повно використовувати різальні властивості інструмента, а також кінематичні й динамічні характеристики верстата. При цьому необхідно забезпечити задану якість оброблюваної деталі.

В даній роботі розглянуто вплив режимів різання на стійкість різального інструменту при механічній обробці деталей на верстаті з ЧПК.

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 «ДТМ-ІНЖИНІРИНГ».

## 1 Аналітичний розділ

### 1.1 Характеристика об'єкту виробництва

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

досить малим.

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

Хімічний склад сталі 40ХН приведений в таблиці 1.1, в таблиці 1.2 – механічні властивості [2, 3].

**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.**

## 1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Оцінка технологічності конструкції деталі здійснюється за якісними та кількісними показниками. Розглянемо обидва аспекти на основі креслення, що наведено в Додатках.

Якісна оцінка базується на аналізі конструктивних особливостей деталі та її матеріалу.

### 1) Якісна оцінка технологічності.

- Форма деталі:

Деталь має складну форму з фланцем, отворами різного діаметру (наприклад, 12 отворів діаметром 33 та 8 отворів M24-6H), що ускладнює її виготовлення.

Наявність фасок (4 фаски) та гострих кромek вимагає додаткової обробки, що збільшує трудомісткість.

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

дотримання жорстких допусків, що також збільшує трудомісткість.

- Технологічні вимоги:

Фланець повинен витримувати гідравлічний тиск  $P = 105$  МПа протягом 10 хвилин, що вказує на високі вимоги до міцності та якості обробки.

Ультразвукова дефектоскопія заготовки гарантує відсутність внутрішніх дефектів, але додає додатковий етап контролю.

Висновок за якісною оцінкою:

Конструкція деталі є технологічною, але має ряд ускладнень через складну форму, високу точність обробки та використання сталі 40ХН. Це збільшує трудомісткість та вартість виготовлення.

## 2) Кількісна оцінка технологічності.

Кількісна оцінка проводиться за такими показниками технологічності, як коефіцієнт точності, коефіцієнт шорсткості, коефіцієнт використання матеріалу.

- Коефіцієнт точності.

Деталь вважається технологічною за точністю, якщо виконується умова:

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{\text{ср}}} \geq 0,8,$$

де  $T_{\text{ср}}$  – середній квалітет розмірів деталі.

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

де  $n_i$  – кількість розмірів кожного квалітету.

$$T_{\text{ср}} = \frac{6 \cdot 3 + 9 \cdot 1 + 12 \cdot 5 + 14 \cdot 27}{35} = 13,29$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{13,29} = 0,92 > 0,8$$

0,92 > 0,8 – за показником точності деталь технологічна.

- Коефіцієнт шорсткості.

Деталь вважається технологічною за шорсткістю, якщо виконується умова:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{ср}} \leq 0,32 ,$$

де  $Ш_{ср}$  – середня шорсткість.

$$Ш_{ср} = \frac{\sum Ш_{ср} \cdot ni}{\sum ni}$$
$$Ш_{ср} = \frac{12,5 \cdot 28 + 3,2 \cdot 3 + 1,6 \cdot 3 + 0,8 \cdot 2}{35} = 10,46$$

$$K_{ш} = \frac{1}{10,46} = 0,1 < 0,32$$

0,1 < 0,32 – за показником шорсткості деталь технологічна.

- Коефіцієнт використання матеріалу.

$$КВМ = \frac{M_d}{M_z} \geq 0,6,$$

де  $M_d = 32$  – маса деталі, кг;

$M_z = 51,2$  – маса заготовки, кг.

$$КВМ = \frac{32}{51,2} = 0,625 > 0,6$$

0,625 > 0,6 – за показником використання матеріалу деталь технологічна.

За кількісною оцінкою деталь «Фланець» – технологічна.

### 1.3 Висновки

На підставі проведеного аналізу конструкції деталі на технологічність, хімічного складу і механічних властивостей матеріалу робимо висновок, що деталь «Фланець» – технологічна, але має складну форму та високі вимоги до точності обробки, що збільшує трудомісткість виготовлення.

## 2 Технологічний розділ

### 2.1 Встановлення виробничої програми випуску деталей

Програма випуску деталей складає  $N = 1500$  шт/рік. Задана програма визначається за даною кількістю випуску готових виробів на рік при визначній кількості змін на добу і встановленою тривалістю змін [4, 5].

Детальна програма виробів визначається за формулою:

$$N = N_p \cdot m \cdot \left(1 + \frac{h}{100}\right),$$

де  $N_p = 1500$  – кількість виробів виготовлених на рік, шт.;

$m = 1$  – кількість деталей на одну машину, шт.;

$h = 2$  – відсоток деталей запасних частин, %.

$$N = 1500 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{2}{100}\right) = 1530 \text{ шт.}$$

Такт виробництва визначимо за формулою:

$$t_B = \frac{60 \cdot \Phi_D}{N},$$

де  $\Phi_D = 2080$  - річний фонд роботи обладнання, годин.

$$t_B = \frac{60 \cdot 2080}{1530} = 81,6 \text{ хв.}$$

Розмір партії визначимо за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi};$$

де  $N = 1500$  – річна програма випуску, шт.;

$a = 5$  – періодичність запуску деталей у виробництво, днів;

$\Phi = 260$  – число робочих днів у році.

$$n = \frac{1500 \cdot 5}{260} = 28,85 \text{ шт.}$$

Приймаємо  $n = 28$  штук.

## 2.2 Розрахунок заготовки

Спосіб отримання заготовок визначається призначенням і конструкцією деталі, матеріалом, технічними вимогами, масштабом і серійністю випуску, а також економічністю виготовлення [6, 7, 8].

Згідно аналізу якості поверхонь та форми деталі, матеріалу призначаємо метод одержання заготовки – поковка штампована.

Тип заготівельного обладнання та розрахунок заготовки поковка ведемо за ДСТУ EN 10250-1:2022.

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

Конфігурація поверхонь роз'єму штампа – П (плоска);  
Вихідний індекс – 18.

Призначаємо припуск та кувальні напуски:

Ø350 – Ra 12,5; припуск 3,8;

Ø200 – Ra 3,2; припуск 2,8;

Ø90 – Ra 12,5; припуск 2,4;

Ø60 – Ra 1,6; припуск 3,0;

Ø72 – Ra 12,5; припуск 3,0;

Ø84 – Ra 3,2; припуск 3,0.

Товщина - 15 мм – Ra 12,5; припуск 2,5;

Товщина - 70 мм – Ra 12,5; припуск 2,5;

Товщина - 100 мм – Ra 12,5; припуск 2,6;

Товщина - 130 мм – Ra 12,5; припуск 2,6;

Товщина - 60 мм – Ra 1,6; припуск 3,0;

Товщина - 29 мм – Ra 12,5; припуск 2,2;

Товщина - 150 мм – Ra 12,5; припуск 2,6;

Штамповані ухили – зовнішні 7°, внутрішні – 10°.

Розміри поковки та їх допустимі відхилення:

$$\text{Ø}350 + 2 \cdot (6,3 + 3,8) = 370,2 \approx 370 \text{ мм};$$

$$\text{Ø}200 + 2 \cdot (5,6 + 2,8) = 216,8 \approx 217 \text{ мм};$$

$$\text{Ø}90 + 2 \cdot (4,5 + 2,4) = 103,8 \approx 104 \text{ мм};$$

$$\text{Ø}90 - 2 \cdot (4,5 + 2,4) = 76,2 \approx 76 \text{ мм};$$

$$\text{Ø}60 - 2 \cdot (4,5 + 3,0) = 45 \text{ мм};$$

$$\text{Ø}72 - 2 \cdot (4,5 + 3,0) = 57 \text{ мм};$$

$$\text{Ø}84 + 2 \cdot (4,5 + 3,0) = 99 \text{ мм};$$

$$150 + 2 \cdot (5,0 + 2,6) = 165,2 \approx 165 \text{ мм};$$

$$15 + (4,0 + 2,2) = 21,2 \approx 21 \text{ мм};$$

$$70 - (4,5 + 2,4) = 63,1 \approx 63 \text{ мм};$$

$$100 + (5,0 + 2,6) = 107,6 \approx 107 \text{ мм};$$

$$130 + (5,0 + 2,6) = 137,6 \approx 137 \text{ мм};$$

$$60 - (4,5 + 3,0) = 52,5 \approx 52 \text{ мм};$$

$$29 - (4,0 + 2,2) = 20,6 \approx 20 \text{ мм}.$$

М.

**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.**

Допустима величина остаточного облою – 1,6 мм.

Допустиме відхилення від плоскості – 1,6 мм.

Допустимі відхилення від концентричності пробивного отвору відносно зовнішнього контуру поковки – 2,0 мм.

Допустиме зміщення по площинні з'єднання штампів – 1,4 мм.

Креслення заготовки деталі «Фланець» приведено в Додатках.

### 2.3 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут обробки деталізначається у залежності від типу виробництва та точності поверхонь. Деталь «Фланець» виготовляється в умовах серійного виробництва, в якому застосовується, як універсальне обладнання так і обладнання з ЧПК. Для виготовлення даної деталі заданої точності та для забезпечення технологічних вимог необхідно в технологічному процесі витримувати єдність та сумісність баз [4, 5].

Для вибору верстата з ЧПК для обробки даної деталі необхідно врахувати такі фактори:

- габаритні розміри деталі

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

На основі вищезазначеного аналізу рекомендується вибрати токарно-фрезерний обробний центр з ЧПК, який може виконувати всі необхідні операції за один установ деталі. Наприклад, MAZAK INTEGREX i-100H [9].

Для шліфувальних операцій використовуємо верстат JUNKER JUMAT 5000 [10].

Характеристики верстатів приведені в таблицях 2.1-2.2, загальний вигляд – рисунки 2.1-2.2.

Розроблений технологічний процес виготовлення деталі «Фланець» представлений в таблиці 2.3. Номера позицій поверхонь приведені на кресленні деталі в Додатках.

Вибір і обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі «Фланець» представлений в таблиці 2.4.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд верстата MAZAK INTEGREX i-100H [9]

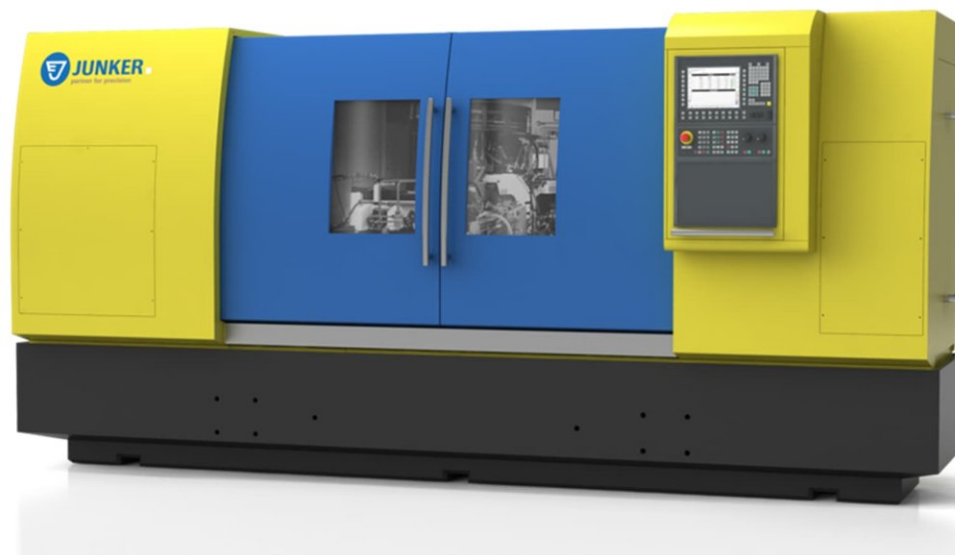


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд верстата JUNKER JUMAT 5000 [10]

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика верстата MAZAK INTEGREX i-100H [9]

Найменування параметру		Значення
Параметри заготовлі	Максимально встановлюваний діаметр, мм	530
	Максимально обробний діаметр, мм	500
	Максимальний діаметр прутка (залежно від типу патрона), мм	51
	Максимально оброблювана довжина, мм	854
Головний шпиндель	Розмір патрона, дюйм	6
	Максимальна частота обертання, об/хв	6000
	Максимальна потужність (30 хв. цикл), кВт	11
Другий шпиндель	Розмір патрона, дюйм	6
	Максимальна частота обертання, об/хв	6000
	Максимальна потужність (30 хв. цикл), кВт	11
Фрезерний шпиндель	Нахил по осі В	240°
	Місткість інструментального магазину	36
	Максимальна частота обертання, об/хв	12000
	Максимальна потужність, кВт	8
Нижня револьверна головка	Максимальна частота обертання, об/хв	12000
	Максимальна потужність, кВт	8
Переміщення по осях	Вісь X, мм	450
	Вісь X2, мм	220
	Вісь Y, мм	210
	Вісь Z, мм	904
	Вісь Z2, мм	903
	Вісь W, мм	903
Розміри верстата, мм		3415×2170×2250
Маса, кг		9930

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики верстата JUNKER JUMAT 5000 [10]

Найменування параметру	Значення
Кількість шліфувальних бабок	1
Довжина шліфування, мм	700
Затискна довжина, мм	700
Висота центрів, мм	170
Вага заготовки, кг	130
Діаметр шліфувального круга, мм	500
Діаметр деталі, що оброблюється, мм	280
Розміри верстата, мм	4900×3400×2350
Маса, кг	14000

Таблиця 2.3 – Технологічний маршрут механічної обробки деталі «Фланець»

№	Операція	Поверхні, що оброблюються	Верстат
010	Токарна з ЧПК	Установ А 6,13,8,9,10,11,25,26 Установ Б 1,3,4,17,18,19,20,26,31	MAZAK INTEGREX i-100H
015	Токарна з ЧПК	Установ А 7,8,9,11,12,13,26,27,28,29,30,31 Установ Б 1,2,3,4,5,6,14,15,16,17,18,19	MAZAK INTEGREX i-100H
020	Вертикально-свердлильна	34	MAZAK INTEGREX i-100H
025	Вертикально-свердлильна	35	MAZAK INTEGREX i-100H
030	Вертикально-свердлильна	32,33	MAZAK INTEGREX i-100H
035	Термічна	-	Термопіч
040	Внутрішньо-шліфувальна	22,17	JUNKER JUMAT 5000
045	Круглошліфувальна	1,4,8,9	JUNKER JUMAT 5000
050	Контрольна	-	Стіл ВТК

Таблиця 2.4 - Вибір і обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі «Фланець»

№ пов.	Розмір, мм	Послідовність технологічних переходів обробки	Точність, IT	Допуск, Т	Шорсткість, Ra	Припуск t, мм.	Міжопераційний розмір з допуском, мм

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

## 2.4 Розрахунок міжопераційних припусків і допусків

Припуск на обробку поверхонь деталі може бути призначений за відповідними довідковими таблицями або на основі розрахунково-аналітичного методу визначення припусків. Таблиці дають змогу призначити припуски незалежно від технологічного процесу оброблення деталі й умов його здійснення, і тому в загальному випадку є завищеними, містять резерви зниження витрат матеріалу і трудомісткості виготовлення деталі. Застосування розрахунково-аналітичного методу скорочує в середньому витрату металу в стружку, порівняно з табличними значеннями, створює єдину систему визначення припусків на обробку [11, 12].

Розрахунок припусків для поверхні  $\varnothing 84h12$  приведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунок припусків та граничних розмірів за технологічними переходами обробки поверхні  $\varnothing 84h12$

	Rz, мкм	h, мкм	Похи бка, мкм	2Zmin, мкм	dmin, мкм	Td, мкм	dmax, мкм	dmin, мкм	2Zmax, мкм	2Zmin, мкм
Поковка	320	350	36	-	84,806	2200	87	84,8	-	-
Точіння чорнове	50	50	0	706	84,1	350	84,45	84,1	2550	700
Точіння чистове	25	25	0	100	84	250	84,25	84	200	100
Сумарні припуски, мкм									2750	800

## 2.5 Маршрут обробки деталі, режими різання, норми часу

Розроблений технологічний маршрут обробки деталі «Фланець» з вибором обладнання та інструменту наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Технологічний маршрут обробки деталі (обладнання та інструмент)

№ опер.	Найменування операції та зміст технологічних переходів	Оснащення, різальний інструмент, вимірювальний інструмент
010	Токарна з ЧПК - підрізка торців поверх. 1,13 - точіння поверхні 3 - підрізка торця 4 - точіння поверхні 6 - підрізка торців 8,9 - точіння поверхонь 10,11 - точіння поверхонь 17,18 - точіння поверхонь 19,20 - точіння поверхні 25 - точіння поверхні 26,31	Трикулачковий патрон, Різальний інструмент [13]: 1) державка SCLCR/L 2525M 12, пластина CCMT 12 04 08-PR, сплав 4335 2) державка SDJCR/L 1616H 11HP, пластина DCMT 11 T3 08-PR, сплав 4335 3) державка A20S-SCLCR/L 09HP-R, пластина CCMT 09 T3 08-PR, сплав 4335 Вимірювальний інструмент: Система вимірювання, вбудована в верстат Штангенциркуль ШЦ-I-150-0,05 DIN 862 Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 DIN 862
015	Токарна з ЧПК - точіння фасок 2,5,7 - нарізання різьби пов. 10 - точіння фаски 12 - прорізка поверхні 14,15 - точіння поверхні 16 - точіння поверхні 17,20 - точіння канавки поверхонь 21,22,23,24. - точіння поверхні 26 - точіння фаски 27 - точіння канавки поверхонь 28,29,30 - точіння поверхні 31	Трикулачковий патрон Різальний інструмент [13]: 1) державка SCLCR/L 2525M 12, пластина CCMT 12 04 08-PR, сплав 4335 2) державка SDJCR/L 1616H 11HP, пластина DCMT 11 T3 08-PR, сплав 4335 3) державка R166.0KF-12E-11, пластина R166.0L-11MM01-050, сплав 1125 4) державка R/LAF151.37-25-024A25, пластина N151.3-300-25-7G, сплав 1125 Вимірювальний інструмент: Система вимірювання, вбудована в верстат Штангенциркуль ШЦ-I-150-0,05 DIN 862 Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 DIN 862

№ опер.	Найменування операції та зміст технологічних переходів	Оснащення, різальний інструмент, вимірювальний інструмент
020 025	Вертикально-свердлильна - свердлити отвори пов.36,37,38. - свердлити отвір пов.34 - нарізати дюймову різьбу	Спеціальне верстатне пристосування, Різальний інструмент [13]: 1) свердло Ø17 870-1700-17L20-10, пластина 870-1890-18-PM, сплав 4334 2) свердло Ø18,25 870-1800-18L20-3, пластина 870-1890-18-PM, сплав 4334 3) мітчик для дюймової різьби NPT 1/2 ANSI B1,21,1 Вимірювальний інструмент: Система вимірювання, вбудована в верстат Штангенциркуль ШЦ-I-150-0,05 DIN 862 Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 DIN 862 Калібр-пробка для дюймової різьби
030	Вертикально-свердлильна - свердлити отвір пов. 32, - нарізати різьбу M24 - свердлити отвір пов. 33	Спеціальне верстатне пристосування, Різальний інструмент [13]: 1) свердло Ø15 DS20-D1500L20-04, пластина, DS20-0104-P-H5W, сплав 4334 2) мітчик M24 Iscar TPSN M-24X4.0-M 3) свердло Ø15 DS20-D1500L20-07, пластина DS20-0104-P-H5W, сплав 4334 3) свердло Ø33 DS20-D3300L40-04, пластина DS20-0407-P-H5W, сплав 4334 Вимірювальний інструмент: Система вимірювання, вбудована в верстат Штангенциркуль ШЦ-I-150-0,05 DIN 862 Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 DIN 862 Калібр-пробка різьбова M24 PR-HE DIN 7162
035	Термічна	Термопіч
040	Внутрішньо-шліфувальна - шліфування внутрішньої поверхні 1,7,22	Спеціальне верстатне пристосування, Різальний інструмент: 1) шліфувальний круг 40×10×30 2AM28CM 16K 35м/с – А ДСТУ ISO 603-5:2019 Вимірювальний інструмент: Зразки шорсткості поверхні Mikrotex OШ-30
045	Круглошліфувальна - шліфування торців поверхонь 1,4,8,9	Спеціальне верстатне пристосування, Різальний інструмент: 1) шліфувальний круг 100×10×30 2AM28CM16K 35м/с – А ДСТУ ISO 603-5:2019 Вимірювальний інструмент: Зразки шорсткості поверхні Mikrotex OШ-30
050	Контрольна Контролювати розміри деталі	Стіл ВТК

Визначення режимів різання та норм часу при обробці на верстаті MAZAK INTEGREX i-100H здійснюємо табличним методом [14, 15] та рекомендованими режимами з каталогів інструменту Sandvik Coromant.

Режими різання та норми часу на операції механічної обробки представлені в таблицях 2.7 – 2.11.

Таблиця 2.7 – Режими різання та норми часу для операції 015 Токарна з ЧПК (установ А)

	Тшт-к, хв
<b>Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.</b>	5,6

Таблиця 2.8 – Режими різання та норми часу для операції 016 Токарна з ЧПК (установ Б)

	Т-к, в
<b>Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.</b>	,6

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

свердлильна

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

Розсвердлити отвір 2	24	49	6,2	0,5	14,7	220
----------------------	----	----	-----	-----	------	-----

## 2.6 Висновки

В даному розділі проведено розрахунок заготовки, розраховано припуски на механічну обробку, розроблено маршрут обробки деталі, призначено режими різання та обрано сучасне верстатне обладнання та інструмент.

### 3 Спеціальний розділ

#### 3.1 Промислові роботи

Промислові роботи (ПР) відносяться до великого класу машин, які використовуються для автоматизації виробництва. Складовою їх є маніпулятор, призначений для імітації рухів та робочих функцій руки людини і який керується оператором або діє автоматично. Маніпулятори бувають біотехнічні та автоматичні, до їх структурної схеми входять задаючий, виконавчий, зв'язковий та робочий органи. Окрема частина робочого органу, що виконана у вигляді захоплювачів різного типу, інструментів, давачів та ін., призначена для виконання технологічних завдань маніпулятора [16].

Промисловий робот ПР є не що інше, як перепрограмовуваний автоматичний маніпулятор промислового призначення, який дає можливість автоматизувати не тільки основні, але й допоміжні технологічні операції.

Основне призначення ПР – це переміщення в просторі об'єктів маніпулювання, до яких відносяться заготовки, деталі, захоплювальні пристрої, допоміжний, вимірювальний або оброблювальний інструмент [16].

Захоплювальні пристрої (ЗП) промислових роботів (ПР) і маніпуляторів (М) служать для захоплення і втримання у визначеному положенні об'єктів маніпулювання. Ці об'єкти можуть мати різні розміри, форму, масу і володіти різними фізичними властивостями, тому ЗП відносять до числа змінних елементів ПР. Як правило, ПР і М комплектують набором типових (для даної моделі) ЗП, котрі можна міняти залежно від вимог конкретного робочого завдання. Іноді на типовий захват встановлюють змінні робочі елементи (губки, присоси і т.п.). За необхідності ПР оснащують спеціальними ЗП, які призначені для виконання певних операцій. До ЗП ставлять вимоги загального характеру, і спеціальні, пов'язані з конкретними умовами роботи. До числа обов'язкових вимог відносять надійність

захоплення і втримання об'єкта, стабільність і базування, недопустимість пошкоджень чи руйнування об'єкта. Міцність ЗП повинна бути високою при малих габаритних розмірах і масі. Особливу увагу слід приділяти надійності кріплення ЗП до руки ПР. При обслуговуванні одним ПР декількох одиниць обладнання застосування широкодіапазонних ЗП чи їх автоматична заміна може виявитись одинично можливим розв'язанням, якщо одночасно обробляються деталі різних конфігурації і маси. Тому до ЗП для ПР, що працюють в умовах серійного виробництва, ставляться додаткові вимоги:

- широка діапазонність (можливість захоплення і базування деталей в широкому діапазоні маси, розмірів і форми),
- забезпечення захоплення близько розміщених деталей, легкість і швидкість заміни (навіть до автоматичної заміни ЗП).

У ряді випадків необхідна автоматична зміна зусилля втримання об'єкта залежно від маси деталі [16].

### 3.2 Захватний пристрій

Захватний пристрій ПР – призначено для захоплення предметів обробки і утримання їх в процесі переміщення.

Враховуючи масу і габаритні розміри деталі «Фланець» – обираємо хватний пристрій типу важеля. Захоплення деталі проводиться по зовнішніх поверхнях.

До хватних пристроїв пред'являються наступні вимоги [16]:

- надійність захоплення і утримання об'єкту під час розгону і гальмування рухомих елементів ПР;
- точність базування заготовки в захопленні;
- недоступність пошкоджень предмету обробки;
- міцність при малих габаритах і масі.

При частій зміні заготовки або при обслуговуванні одним ПР декількох верстатів захватні пристрої повинні забезпечувати можливість роботи із заготовками з розмірами, формою і масою в широкому діапазоні. Для обслуговування верстата MAZAK INTEGREX i-100H вибираємо спеціальний швидкозмінний однопозиційний захватний пристрій з поворотними затискними губками для деталей типу тіл обертання.

Даний захватний пристрій дозволяє змінювати положення деталі установки її, наприклад, з накопичувача в патрон верстата.

Захватні пристрої роботів здійснюють наступні функції:

- утримують об'єкт маніпулювання під час його транспортування;
- базують положення об'єкту маніпулювання щодо маніпулятора.

Захватний пристрій утримує об'єкт маніпулювання за допомогою сил тертя, що виникають при кінематичній дії його елементів на об'єкт маніпулювання, фіксації об'єкту маніпулювання по виступах, що є на ньому, отворах, штифтам та іншим поверхням, які можуть бути використані як бази.

Загальний вигляд захватного пристрою приведено на рисунку 3.1, схема утримання заготовки – рисунок 3.2.

Хвостовик 1 кліщів уніфікованого типу кріпиться в шпинделі 2 кисті руки за допомогою замку і фіксатора, який входить в паз на фланці 3. У розточуванні корпусу 1 встановлений поршень 4, який переміщається під дією тяги 5, що пов'язана з головкою 6 механізму приводу. До поршня 4 за допомогою пальців кріпляться важелі 7 і 8 шарнірного паралелограма, на довгому плечі 9 якого гвинтами закріплені змінні губки. Встановлене положення губок фіксується.

Початкові дані:

- маса заготовки  $M_z = 51,2$  кг;
- діаметр заготовки  $D_z$  до 170 мм;
- максимальне прискорення затискного пристрою  $a = 5$  м/с<sup>2</sup>.

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.

При обмеженок деталі пальцем визначаються:

$$N = N_1 = N_2 = \frac{M_3}{2 \cdot \sin \alpha'}$$

де  $M_3 = 51,2$  кг – маса заготовки;

Г 3  
мці

$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha = 60^\circ$  – кути контакту заготовки з пальцем.

$$N = \frac{51,2}{2 \cdot \sin 60^\circ} = 29,6 \text{ Н.}$$

Сила тертя:

$$F_T = F_{T1} = F_{T2} = \mu N,$$

де  $\mu = 0,15$  – коефіцієнт тертя для незагартованих пальців без насічки.

$$F_T = 0,15 \cdot 29,6 = 4,44 \text{ Н.}$$

Зусилля утримання заготівки:

$$F = \frac{M_3 \cdot (g + a)}{4 \cdot \mu} = \frac{51,2 \cdot (9,81 + 5)}{4 \cdot 0,15} = 1264 \text{ Н.}$$

В якості провідної ланки використаємо пневмоциліндр. Такий привід має наступні переваги:

- простота керування
- невисока вартість
- надійність
- відсутність джерел забруднення
- пожежо- і вибухобезпечність.

Недоліки пневматичних приводів:

- необхідність спеціальних пристроїв підготовки стислого повітря
- невисока статична жорсткість.

Визначаємо діаметр поршня приводу захватного пристрою:

$$D_{\Pi} = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot P_n \cdot \eta_n \cdot \eta'}}$$

де  $F$  – зусилля захватного пристрою;

$P_n = 0,63$  МПа – тиск стисненого повітря в системі;

$\eta_n = 0,85$  – коефіцієнт корисної дії приводу;

$\eta = 0,94$  – коефіцієнт корисної дії захватного пристрою.

$$D_{\text{п}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1264}{3,14 \cdot 0,63 \cdot 0,85 \cdot 0,94}} = 56 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр поршня приводу пневмоциліндра – 63 мм.

Пневмоциліндр ISO 6430 діаметр  $\varnothing 63$  мм, довжина ходу 100 мм, з демпфіруванням.

### 3.3 Висновки

В даному розділі спроектовано захватний пристрій для переміщення та установки деталі на верстаті. Проведено розрахунок пристрою, виконано кресленик та специфікацію.

## 4 Науково-дослідницький розділ

### 4.1 Постановка задачі дослідження

Актуальність досліджень стійкості різального інструменту при механічній обробці деталей на верстатах з ЧПК обумовлена постійним прагненням до підвищення ефективності виробничих процесів. Стійкість інструменту є ключовим фактором, який визначає продуктивність обробки, якість поверхні деталі та економічність виробництва. Збільшення швидкостей різання та інтенсифікація режимів обробки призводять до інтенсивного зносу інструменту, що потребує глибокого розуміння механізмів його зношування та розробки методів оптимізації процесу. У цьому контексті дослідження стійкості інструменту на основі формули Тейлора та аналізу впливу режимів різання, геометрії інструменту та інших факторів є важливим напрямком для покращення ефективності механічної обробки.

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

Це рівняння часто переписують у логарифмічному вигляді для зручності аналізу [17]:

$$\log(T) = \log(C) - n \cdot \log(V) \quad (4.2)$$

Формула Ф.У. Тейлора базується на спостереженні, що при збільшенні швидкості різання час стійкості інструменту зменшується за степеневим законом. Це пов'язано з тим, що зростання швидкості різання призводить до підвищення температури в зоні контакту інструменту з заготовкою, що, у свою чергу, прискорює процеси зносу (термічний знос, абразивний знос, адгезійний знос тощо).

Показник  $n$  є ключовим параметром, який визначає, наскільки сильний вплив має зміна швидкості різання на стійкість інструменту. Для більшості пар матеріалів інструменту та заготовки значення  $n$  знаходиться в діапазоні від 0,1 до 0,3. Чим вище значення  $n$ , тим сильніше знижується стійкість інструменту при збільшенні швидкості різання [17].

Рівняння Ф.У. Тейлора широко використовується в механічній обробці для:

1) Оптимізації режимів різання. Допомогає визначити оптимальну швидкість різання, яка забезпечує баланс між продуктивністю обробки та довговічністю інструменту.

2) Оцінки стійкості інструменту. На основі відомих параметрів  $C$  та  $n$  можна прогнозувати час стійкості інструменту при заданих умовах обробки.

3) Планування технологічних процесів. Формула допомагає вибирати інструменти та режими обробки для конкретних матеріалів заготовок.

4) Аналізу економічної ефективності. Завдяки рівнянню можна оцінити вартість заміни інструменту та знайти компроміс між витратами на інструмент і продуктивністю обробки [17].

Хоча рівняння Ф.У. Тейлора є фундаментальним інструментом у металорізанні, воно має певні обмеження:

1) Не враховує комплексних факторів. Формула не враховує вплив таких факторів, як геометрія інструменту, вібрації, тертя, температурні поля, властивості покриттів інструменту.

2) Лінійна апроксимація. У реальних умовах залежність між швидкістю різання та стійкістю інструменту може бути нелінійною через складні взаємодії в зоні різання.

Для подолання цих обмежень формулу Тейлора було доповнено та модифіковано:

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

використанням сучасних датчиків (температури, сил різання, вібрацій) дозволяє уточнювати параметри  $C$  та  $n$  для конкретних умов обробки [17, 18].

Рівняння Тейлора залишається базовою моделлю для аналізу стійкості різального інструменту завдяки своїй простоті та ефективності. Проте сучасні дослідження демонструють необхідність його доповнення та уточнення для врахування складних взаємодій у процесі різання. Комбінація класичних моделей з новими методами моделювання та аналізу дозволяє досягти більш точних прогнозів стійкості інструменту та оптимізувати процеси механічної обробки.

Автори надали детальний огляд факторів, які впливають на стійкість різального інструменту, зокрема швидкість різання, геометрія інструменту та матеріал заготовки. Особливу увагу приділено ролі температури в процесі різання та її впливу на знос інструменту [19].

Дослідження Дж. П. Давіма розглядає сучасні методи оптимізації режимів різання для збільшення стійкості інструменту. Автор акцентує увагу на важливості вибору оптимальних параметрів різання (глибина різання, подача та швидкість) для зменшення зносу інструменту [20].

Металургічні аспекти процесу різання докладно описані в цій книзі [18]. Шоу пояснює, як механічні властивості матеріалу інструменту та заготовки впливають на стійкість інструменту. Він також аналізує роль тертя та теплових процесів у формуванні зносу.

У роботі [21] автор розглядає вплив вібрацій та динамічних процесів на стійкість інструменту. Він демонструє, як неправильний вибір режимів різання може призвести до зростання вібрацій, що значно скорочує термін служби інструменту.

Гржесь пропонує комплексний підхід до аналізу стійкості інструменту, враховуючи не лише режими різання, але й покриття інструменту [22]. Він показує, як сучасні технології нанесення покриттів можуть значно збільшити стійкість інструменту.

У роботі [23] Астахов досліджує триботехнічні аспекти процесу різання, зокрема роль тертя та адгезії у формуванні зносу інструменту. Автор також розглядає вплив геометрії інструменту на його стійкість, зокрема кутів різання та форми ріжучої кромки.

Попередні дослідження демонструють, що стійкість різального інструменту залежить від багатьох факторів, таких як режими різання (швидкість, подача, глибина), геометрія інструменту, матеріали заготовки та інструменту, а також умови процесу (температура, вібрації). Формула Тейлора залишається основним інструментом для оцінки стійкості, але сучасні дослідження доповнюють її моделями, які враховують додаткові

фактори, такі як вібрації, тертя та використання покриттів. Ці дослідження підкреслюють важливість комплексного підходу до аналізу стійкості інструменту для забезпечення ефективності механічної обробки.

#### 4.2 Дослідження стійкості інструменту

Високошвидкісна механічна обробка (у зарубіжній літературі High Speed Machining або HSM) відноситься до одного з перспективних напрямів розвитку сучасної технології машинобудування. Цей напрямок сформувався у 40-х роках минулого століття і з того часу є перманентним. Спочатку підвищення швидкості різання на звичайних верстатах практикували передові робітники, використовуючи твердосплавні різці (BK6, BK8, T15K6). Тоді під «швидкісною обробкою» розуміли механічну обробку з підвищеними порівняно з нормами) швидкостями різання. І вже тоді при чистовій обробці заготовок при точінні (швидкісне точіння) та фрезеруванні (швидкісне фрезерування) були досягнуті швидкості різання порядку 400-700 м/хв. [24].

В даній роботі пропонується дослідити стійкість різального інструменту, що використовується на токарних операціях обробки деталі «Фланець», з метою виявлення закономірностей впливу режимів різання.

В технологічному розділі даної роботи було обрано високопродуктивний різальний інструмент з каталогів Sandvik Coromant [13]. Такий інструмент забезпечить якісну обробку деталі з необхідною точністю, але ціна його досить велика у порівнянні з інструментом вітчизняних виробників. Наприклад, різець SCLCR/L 2525M 12 коштує 122 Євро, пластина до нього CCMT 12 04 08-PR – 17,2 Євро [13]. Різець прохідний прямий 25×20×140 T15K6 (Чернігівський інструментальний завод, Україна) коштує 200 грн. [25].

Вихідні дані:

Верстат – MAZAK INTEGREX i-100H.

Операція – 015 Токарна з ЧПК.

Різальний інструмент – Sandvik Coromant SCLCR/L 2525M 12 з пластиною CCMT 12 04 08-PR.

Режими різання – таблиці 2.7-2.8 даної роботи.

Прикладні програми – MS Excel, калькулятор швидкості різання (програма для розрахунків Sandvik Coromant [26]).

Використання калькулятора швидкості різання Sandvik Coromant дозволило отримати залежність стійкості різця SCLCR/L 2525M 12 (пластина CCMT 12 04 08-PR, сплав 4335) від швидкості різання (рисунок 3.1).

Дана залежність цілком відповідає класичній формулі Тейлора (4.1). При збільшенні швидкості різання час стійкості інструменту значно зменшується.

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

(калькулятор швидкості різання Sandvik Coromant)

За отриманими даними в MS Excel було побудовано графік залежності стійкості різця від швидкості різання та виконано апроксимацію степеневою функцією (рис. 3.2). Дана залежність має вигляд:

**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.**

Швидкість різання та стійкість інструменту до корекції становила  $V = 57,4$  м/хв. та  $T = 60$  хв. відповідно, після використання калькулятора швидкості різання Sandvik Coromant –  $V = 131$  м/хв. та  $T = 20$  хв. Як бачимо швидкість різання зросла у 2,3 рази, стійкість знизилася у 3 рази.

У подальшому за допомогою формули (4.4) можна корегувати швидкість різання або стійкість різця для отримання необхідних значень.

Отримана формула (4.4) може бути використана для оптимізації режимів різання на верстаті MAZAK INTEGREX i-100H при використанні різального інструменту Sandvik Coromant.

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

режимах обробки.

Результати дослідження можуть бути використані для підвищення ефективності технологічних процесів на підприємствах, що використовують верстати з ЧПК. Отримані залежності дозволяють коригувати режими різання з урахуванням конкретних умов і типу інструменту, що зменшує витрати на інструмент і підвищує якість обробки.

### 4.3 Висновки

В даному розділі отримано залежність стійкості інструменту від швидкості різання, яка узгоджується з класичною формулою Тейлора. Показано, що підвищення швидкості різання призводить до зменшення стійкості інструменту у степеневій залежності. Побудовано графіки та апроксимаційна модель з достовірністю  $R^2 = 1$ . Запропоновано корекцію режимів обробки для досягнення балансу між продуктивністю і довговічністю інструменту.