

До захисту
23.05.2025
Дрозант

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

Здобувача вищої освіти Харюка Сергія Васильовича
(ПІБ)
академічної групи 131М-23н-1
(шифр)
спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і назва спеціальності)

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

на тему Дослідження параметрів режимів різання при механічній обробці
деталі «Фланець»

за наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 №317-С
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи розділів	Богданов О.О.	86	добре	Дрозант
Аналітичний	Богданов О.О.	86	добре	Дрозант
Технологічний	Богданов О.О.	86	добре	Дрозант
Спеціальний	Богданов О.О.	86	добре	Дрозант
Науково-дослідницький	Богданов О.О.	86	добре	Дрозант
Рецензент	Анциферов О.В.	86	добре	Анциферов
Нормоконтролер	Рубан В.М.	86	добре	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)

В.А. Дербабя

(ініціали та прізвище)

« 03 » 02 2025 року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

здобувачу вищої освіти Харюку С.В. академічної групи 131м-23н-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

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

на тему Дослідження параметрів режимів різання при механічній обробці деталі «Фланець»

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 свердління отворів деталі «Фланець»

Предмет досліджень – параметри режимів різання при свердлінні отвору довжиною 20 мм та діаметром 12,5 мм деталі «Фланець»

Мета – підвищення ефективності процесу свердління за рахунок визначення оптимальних режимів різання

Вихідні дані для проведення роботи – кресленик деталі «Фланець», дані про матеріал деталі, характеристики верстатів та різального інструменту, теоретичні та довідкові дані з оптимізації процесів різання

3 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Новизна – встановлення оптимальних режимів різання при свердлінні отворів, зменшення часу обробки

Практична цінність – розробка методики визначення оптимальних параметрів режимів різання для умов серійного виробництва, зниження витрат на обробку

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Достовірність математичної моделі оптимізації режимів різання, отримання чітких рекомендацій щодо параметрів свердління, актуальність та відповідність обмеженням верстатного обладнання, використання сучасних програмних засобів моделювання

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Аналіз технологічності конструкції деталі	03.02.25-16.02.25
Проект технології обробки деталі	17.02.25-02.03.25
Розробка верстатного пристрою	03.03.25-16.03.25
Оптимізація режимів різання при свердленні отворів	17.03.25-04.05.25

6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект – оптимізація виробничого процесу, зниження витрат за рахунок зменшення основного часу обробки

Соціальний ефект – поліпшення умов праці за рахунок зменшення часу роботи та кількості відмов інструменту, підвищення рівня кваліфікації працівників через впровадження сучасних методів оптимізації

7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Забезпечення відповідності технологічного процесу стандартам ДСТУ, ISO, впровадження автоматизації та використання верстатів з ЧПК

Завдання видано


(підпис керівника)

О.О. Богданов
(ініціали та прізвище)

Дата видачі

03.02.2025

Дата подання до екзаменаційної комісії

09.05.2025

Прийнято до виконання


(підпис здобувача)

С.В. Харюк
(ініціали та прізвище)

Вступ

Машинобудівна галузь – основна база, яка визначає розвиток промисловості країни. Темпи зростання машинобудування повинні бути значно вищими за інші галузі народного господарства. На сьогоднішній день ця галузь має великий асортимент різноманітного технологічного обладнання і постійно стикається з завданнями планування перспективних технологій, створення енерго- та матеріалозберігаючих методів, підвищення якості продукції та застосування автоматизації у виробництві.

Одним із найбільш поширених видів деталей у машинобудуванні є фланець. Фланець – це деталь, що використовується для з'єднання трубопроводів, резервуарів, агрегатів та інших конструкцій за допомогою болтів. Вона забезпечує герметичність та надійність сполучень, особливо при високих тисках та температурах. Фланці виготовляють з різних матеріалів, серед яких популярність набули вуглецеві сталі, нержавіюча сталь, чавун та легкі сплави, залежно від умов експлуатації.

У цій роботі розглядається розробка технологічного процесу та дослідження параметрів режимів різання при виготовленні деталі «Фланець».

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».

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.

підвищеної міцності і високого опору зносу і працюють під дією статичних і динамічних навантажень.

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

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 45Л

$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	КСУ, Дж/см ²	НВ
280-340	630-710	14-17	13-19	41-61	209-229

$\sigma_{0,2}$ – межа короткочасної міцності, σ_B – межа текучості для залишкової деформації, δ_5 – відносне подовження при розриві, Ψ – відносне звуження, КСУ – ударна в’язкість, НВ – твердість за Брінелем.

1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Оцінка конструкції деталі на технологічність буває двох видів: якісна та кількісна [4, 5].

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

необхідні розміри, які визначають геометричні параметри елементів деталі, граничні відхилення і квалітети точності з полями допусків.

На кресленні вказані технічні вимоги до взаємного розташування деяких поверхонь відносно відповідної, містяться необхідні відомості про матеріал деталі.

На основі аналізу умов роботи деталі у виробі, а також з врахуванням серійності виробництва можливість спрощення даної конструкції і заміни її на зварювальну або складальну недоцільно. Заміна матеріалу у виробі деталі також недоцільна, так як це збільшує трудомісткість виготовлення деталі. Проста конфігурація деталі дозволяє застосовувати високо продуктивні методи обробки (рисунок 1.1).

Таким чином, за якісною оцінкою деталь «Фланець» – технологічна.

В таблиці 1.3 приведені характеристики поверхонь деталі «Фланець».

Таблиця 1.3 – Характеристика поверхонь деталі «Фланець»

№ пов.	Найменування	Розмір, мм	Квалітет	Допуск, мм	Шорсткість, Ra	МОП
1	Контур фланця					не обробляється
2,3	Торці деталі	85	h12	350	12,5	Однократне точіння
4	Торці фланця	20	h12	130	6,3	Чорнове точіння
					3,2	Чистове точіння
5	Зовнішня поверхня	Ø110	h12	350	12,5	Чорнове точіння
			h11	220	3,2	Чистове точіння
6	Зовнішня поверхня	Ø95	h12	350	12,5	Чорнове точіння
			h11	220	3,2	Чистове точіння
7	Внутрішня поверхня	Ø85	H12	350	12,5	Чорнове точіння
			H10	140	3,2	Напівчистове точіння
			K8	57	1,6	Чистове точіння
8	Внутрішня поверхня	Ø78	H12	300	6,3	Чорнове точіння
9, 10	4 отвори	Ø12; Ø20	H12	210	12,5	Свердління
			H11	130	3,2	Зенкерування
11	Конус	45°	H12	250	12,5	Чорнове точіння

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 1.1 – Ескіз деталі «Фланець»

При кількісній оцінці визначаємо наступні коефіцієнти:

- 1) коефіцієнт точності;
- 2) коефіцієнт шорсткості.

1) Визначаємо 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.

$$T_{\text{ср}} = \frac{8 \cdot 1 + 11 \cdot 4 + 12 \cdot 5 + 14 \cdot 1}{11} = 17$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{17} = 0,82 > 0,8$$

$0,82 > 0,8$ – за точністю деталь технологічна.

2) Визначаємо коефіцієнт шорсткості

Деталь вважається технологічною за шорсткістю, якщо виконується умова:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{\text{Ш}_{\text{ср}}} \leq 0,32,$$

де $\text{Ш}_{\text{ср}}$ – середня шорсткість.

$$\text{Ш}_{\text{ср}} = \frac{\sum \text{Ш}_{\text{ср}} \cdot n_i}{\sum n_i}$$

$$\text{Ш}_{\text{ср}} = \frac{25 \cdot 1 + 12,5 \cdot 3 + 6,3 \cdot 1 + 3,2 \cdot 5 + 1,6 \cdot 1}{11} = 7,85$$

$$K_{ш} = \frac{1}{7,85} = 0,13 < 0,32$$

0,13 < 0,32 – за шорсткістю деталь технологічна.

За всіма коефіцієнтами деталь вважається технологічною.

1.3 Висновки

На підставі проведеного аналізу конструкції деталі на технологічність, хімічного складу і механічних властивостей матеріалу можна зробити висновок, що деталь «Фланець» – технологічна.

2 Технологічний розділ

2.1 Встановлення виробничої програми випуску деталей

Програма випуску деталей встановлена в завданні і складає $N = 5800$ 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 $N_p = 5800$ – кількість виробів виготовлених на рік, шт.; $m = 1$ – кількість деталей на одну машину, шт.; $h = 2$ – відсоток деталей запасних частин, %.

$$N = 5800 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{2}{100}\right) = 6960 \text{ шт.}$$

Такт виробництва визначимо за формулою:

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

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

$$t_B = \frac{60 \cdot 2080}{6960} = 17,9 \text{ хв.}$$

Розмір партії визначимо за формулою:

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

де $N = 6960$ – річна програма випуску, шт.;

$a = 10$ – періодичність запуску деталей у виробництво, днів;

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

$$n = \frac{6960 \cdot 10}{260} = 267,7 \text{ шт.}$$

Приймаємо $n = 268$ шт.

2.2 Вибір і обґрунтування методу отримання заготовки

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

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

максимального розмірів – 2.

Точність вилівка: 8 – 2 – 12 – 10.

8 – клас розмірної точності.

2 – ступінь короблення.

12 – ступінь точності поверхні.

10 – точність ваги.

Допуски розмірів форми розташування вилівки приведено в таблиці

2.1.

Таблиця 2.1 – Допуски розмірів форми розташування виливки

Розмір деталі, мм	МОП	Припуск Z, мм	Розмір заготовки, мм	Допуск T, мм	Граничні відхилення, мм
Ø95	чорнове точіння	2×2	Ø99	1,4	±0,7
	чистове точіння				
Ø78	чорнове точіння	2×1,5	Ø75	1,4	±0,7
Ø110	чорнове точіння	2×5	Ø120	1,4	±0,7
	чистове точіння				
85	чорнове точіння	2×1,5	88	1,4	±0,7
5	чорнове точіння	1,5	5	0,6	±0,3
20	чорнове точіння	1,5	20	1,0	±0,5
Ø120	без обробки	-	120	1,4	±0,7
Ø170	без обробки	-	170	1,4	±0,7
R15	без обробки	-	R15	0,6	±0,3
R8	без обробки	-	R8	0,6	±0,3

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки:

$$КВМ_{лк} = \frac{M_d}{M_{злк}},$$

де $M_d = 4,12$ – маса деталі, кг;

$M_{злк} = 5,4$ – маса заготовки, кг.

$$КВМ_{лк} = \frac{4,12}{5,4} = 0,76.$$

При отриманні заготовки литтям у піщано-глиняні форми (існуючий технологічний процес):

$$КВМ_{лпг} = \frac{M_d}{M_{злпг}},$$

де $M_d = 4,12$ – маса деталі, кг;

$M_{злпг} = 10,7$ – маса заготовки, кг.

$$КВМ_{лпг} = \frac{4,12}{10,7} = 0,38.$$

$$КВМ_{лк} > КВМ_{лпг} (0,76 > 0,38)$$

Таким чином, для деталі «Фланець» в якості заготовки доцільно прийняти заготовку, отриману литтям у кокіль.

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].

Розроблений технологічний процес виготовлення деталі «Фланець» представлений в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технологічний маршрут механічної обробки деталі «Фланець»

Номер та найменування операції	Зміст операції	Схема встановлення
005	1. Підготувати деталь	

**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.

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 [5, 6].

Виконаємо розрахунок міжопераційних припусків і допусків розрахунково-аналітичним методом для внутрішньої поверхні $\varnothing 85K8^{+0,016}_{-0,038}$.

Загальний припуск на обробку $2Z_{\min} = 2 \cdot 3,5$ мм

Розмір припуску розраховується по переходах:

Чорнове точіння - $2Z_{\min} = 2 \cdot 2,2$ мкм.

Напівчисте точіння - $2Z_{\min} = 2 \cdot 1,0$ мм.

Чистове точіння - $2Z_{\min} = 2 \cdot 0,3$ мм.

Розрахунковий розмір на чистове точіння максимальний розмір деталі

$$D_{\text{ч.т.}} = D_{\text{ном.}} + \delta = 85 + 0,016 = 85,016 \text{ мм}$$

На останні переходи розраховується за формулою:

$$D_p = D_{\text{ч.т.}} - 2Z_{\min}$$

Напівчисте розточування:

$$D_{\text{п.ч.р.}} = 85,016 - 2 \cdot 0,3 = 84,416 \text{ мм.}$$

Чорнове розточування:

$$D_{ч.р.} = 84,46 - 2 \cdot 1,0 = 82,416 \text{ мм.}$$

Заготовка:

$$D_з. = 82,46 - 2 \cdot 2,2 = 78,016 \text{ мм.}$$

Міжопераційні розміри.

Максимальний розмір виконується округленням розрахункового розміру до полю допусків.

$$D_{\max \text{ заг.}} = 78,0 \text{ мм,}$$

$$D_{\max \text{ чорн.роз.}} = 82,42 \text{ мм,}$$

$$D_{\max \text{ н.ч.роз.}} = 84,42 \text{ мм,}$$

$$D_{\max \text{ чист. роз.}} = 85,016 \text{ мм.}$$

Мінімальні розміри:

$$D_{\min} = D_{\max} - \delta$$

$$D_{\min \text{ заг.}} = 78,0 - 0,3 = 77,7 \text{ мм}$$

$$D_{\min \text{ чорн.}} = 82,42 - 0,35 = 82,07 \text{ мм}$$

$$D_{\min \text{ п.чист.роз}} = 84,46 - 0,14 = 84,28 \text{ мм}$$

$$D_{\min \text{ чист.роз.}} = 85,016 - 0,054 = 84,962 \text{ мм}$$

Дійсні розміри припусків.

$$2Z_{\min} = D_{\max_i} - D_{\max}$$

$$2Z_{\max} = D_{\min_i} - D_{\min}$$

Чорнове розточування:

$$2Z_{\min} = 82,07 - 77,7 = 4,37 \text{ мм}$$

$$2Z_{\max} = 82,42 - 78,0 = 4,42 \text{ мм}$$

Напівчистове розточування:

$$2Z_{\min} = 84,46 - 82,42 = 2,04 \text{ мм}$$

$$2Z_{\max} = 84,28 - 82,07 = 2,21 \text{ мм}$$

Чистове розточування:

$$2Z_{\min} = 85,016 - 84,46 = 0,556 \text{ мм}$$

$$2Z_{\max} = 84,962 - 84,28 = 0,682 \text{ мм}$$

Перевірка розрахунку:

$$\sum Z_{\max} - \sum Z_{\min} = \delta_{\text{заг.}} - \delta_{\text{дет.}}$$

$$7,212 - 6,966 = 0,3 - 0,054$$

Отримані дані з розрахунку припусків приведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок припусків

МОП	Квалітет	Припуск Z, мм	Розрахунк. розмір, мм	Допуск, мкм	Розмір, мм		Припуск, мм	
					min	max	2Zmin	2Zmax
$\text{Ø}85\text{K}8 \left(\begin{smallmatrix} +0,016 \\ -0,038 \end{smallmatrix} \right)$								
Заготовка	12	2·3,5	78,016	300	77,7	78,0	–	–
Чорн. розт.	12	2·2,2	82,416	350	82,07	82,42	4,37	4,42
Напівчист.розт	10	2·1,0	84,416	140	84,28	84,42	2,04	2,21
Чист. розт.	8	2·0,3	85,016	54	84,962	85,016	0,556	0,682
$\text{Ø}78\text{H}12 \left(\begin{smallmatrix} +0,3 \\ \end{smallmatrix} \right)$								
Заготовка	16	2·1,5	75,3	1400	73,9	75,3		
Чорн. розт.	12	2·1,5	78,3	300	78	78,3	3,0	4,1
$\text{Ø}110\text{h}11 \left(\begin{smallmatrix} -0,22 \\ \end{smallmatrix} \right)$								
Заготовка	16	2·5	119,78	1400	119,8	121,2		
Чорн. точ	12	2·3,5	112,78	350	112,78	113,12	7,02	4,08
Чист. точ.	11	2·1,5	109,78	220	109,78	110	3	3,12
$85\text{h}12 \left(\begin{smallmatrix} -0,35 \\ \end{smallmatrix} \right)$								
Заготовка	16	2·1,5	87,75	1400	87,8	89,2		
Чорн. точ.	12	2·1,5	84,75	350	84,75	85	3,05	4,2
$20 \left(\begin{smallmatrix} -0,13 \\ \end{smallmatrix} \right)$								
Заготовка	15	1,5	21,37	1000	21,4	22,4		
Чорн. точ.	12	1	20,37	210	20,37	20,58	1,03	1,82
Чист. точ.	11	0,5	19,87	210	19,87	20	0,5	0,58
$\text{Ø}12,5\text{H}11 \left(\begin{smallmatrix} +0,13 \\ \end{smallmatrix} \right)$								
Центрування	14	2·4	8,13	520	7,61	8,13		
Свердління	12	2·6,0	12,18	180	12	12,18	12	12,31
Зенкерування	11	2·0,25	12,59	90	12,5	12,59	0,25	0,41
Цекування	11	2·12,75	38,13	130	38	38,13	25,5	25,54
$\text{Ø}95\text{d}11 \left(\begin{smallmatrix} -0,12 \\ -0,34 \end{smallmatrix} \right)$								
Заготовка	15	2·2,0	98,66	1400	98,7	99,1		
Чорн. точ.	12	2·1,5	95,66	350	95,66	96,01	3,04	3,09
Чист. точ.	11	2·0,5	94,66	220	94,66	94,88	1	1,13

2.5 Маршрут обробки деталі, режими різання, норми часу

Розроблений технологічний маршрут обробки деталі «Фланець» з вибором обладнання та інструменту наведено в таблиці 2.4. Характеристики верстатів – таблиці 2.5 – 2.6.

Таблиця 2.4 – Технологічний маршрут обробки деталі (обладнання та інструмент)

Номер та найменування операції	Зміст операції	Обладнання	Інструмент
1	2	3	4
005 Токарна з ЧПК	1. Точити торець $86,5_{-0,35}$ 2. Точити зовнішню поверхню попередньо $\varnothing 113,12_{-0,35}$ 3. Точити зовнішню поверхню остаточно $\varnothing 110_{-0,22..}$ 4. Точити фаску	HAAS ST-10	Різець токарний TAEGUTEC TCLNL 2525 M0904-TB з пластиною CNMG 090408 МК
010 Токарна з ЧПК	1. Підрізати торці $20,5_{-0,3}$, $85_{-0,87}$ і проточити зовнішню поверхню $\varnothing 95,59_{-0,35}$ попередньо. Точити поверхню $\varnothing 95_{-0,12}^{-0,34}$ остаточно та зовнішню фаску 6. 2. Розточити поверхні $\varnothing 78^{+0,35}$, $\varnothing 82,11^{+0,35}$, $\varnothing 84,031^{+0,14}$ – чорнова і напівчистова 3. Розточити поверхню $\varnothing 85_{+0,03}^{+0,60}$ остаточно і внутрішню фаску 7	HAAS ST-10	Різець токарний TAEGUTEC TCLNL 2525 M0904-TB з пластиною CNMG 090408 МК; Різець токарний TAEGUTEC S32T SKUNL 16 з пластиною KNUX 160405 R11
015 Свердлильна з ЧПК	1. Центрувати 4 отвори $\varnothing 8$ послідовно 2. Свердлити 4 отвори $\varnothing 12,5$ послідовно 3. Цекувати 4 отвори $\varnothing 21,5$ послідовно	HAAS DT-1	Свердло для центрування $\varnothing 8$ P9; Свердло спіральне $\varnothing 12,5$ TAEGUTEC TCD 125-129-16S0-3D з пластиною TCD-125-P+; Цеківка $\varnothing 21,5$ P9XC
020 Мийна	Промити деталь	Мийна машина	

Номер та найменування операції	Зміст операції	Обладнання	Інструмент
1	2	3	4
025 Контрольна	Контролювати розміри деталі	Стіл ВТК	Бездротова інтуїтивна система вимірювання, вбудована в верстат з ЧПК HAAS; Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 DIN 862; Глибиномір ГМ-100 0,01 мм; Калібр-пробка; Калібр-пробка Ø12,5; Калібр-пробка Ø21,5; Зразки шорсткості поверхні Mikrotex ОШ-30

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика верстата HAAS ST-10

Найменування параметру	Значення
Система управління ЧПК	Haas
Максимальне коливання деталей, мм	165
Переміщення по осі X, мм	200
Переміщення по осі Z, мм	406
Швидкі рухи на X, м/хв	30,5
Швидкі рухи на Z, м/хв	30,5
Швидкість обертання шпинделя, об/хв.	6000
Кількість інструментів, шт	12
Максимальна потужність, кВт	11,2
Максимальний крутний момент, Нм	102
Габаритні розміри верстата, мм	3200×1780×2060
Вага верстата, кг	3585

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика верстата HAAS DT-1

Найменування параметру	Значення
Система управління ЧПК	Haas
Робочі ходи: вісь X, мм	508
Робочі ходи: вісь Y, мм	406
Робочі ходи: вісь Z, мм	394
Швидкі рухи: вісь X, м/хв	61
Швидкі рухи: вісь Y, м/хв	61
Швидкі рухи: вісь Z, м/хв	61
Максимальний крутний момент, Нм	62
Довжина столу, мм	660
Ширина столу, мм	381
Переміщення по осі Z, мм	572
Швидкість обертання шпинделя, об/хв.	10000
Кількість інструменту	20+1
Максимальна потужність, кВт	11,2
Габаритні розміри верстата , мм	2540×2030×2490
Вага верстата, кг	2336

Визначення режимів різання та норм часу здійснюємо за відповідними методиками [7, 8, 9].

Операція 005 Токарна з ЧПК

Режими різання та норми часу приведені в таблицях 2.7 – 2.8.

Таблиця 2.7 – Режими різання

Перехід	t, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	L, мм	T _o , хв
1	1,5	0,34	315	108	17,5	0,16
2	3,5	0,34	315	108	34	0,34
3	1,5	0,21	400	138	37	0,44
4	1,5	0,21	400	138	3	0,05

Основний час на операцію.

$$T_o = \sum T_{o_i}, \text{ хв}$$

де T_{o_i} – основний час на перехід, хв.

$$T_o = 0,16 + 0,34 + 0,44 + 0,05 = 0,99 \text{ хв.}$$

Таблиця 2.8 – Норми часу

Складові частини штучного часу, норми часу	Час, хв.
Допоміжний час на операцію $T_d = T_{д.у} + \sum T_{пi} + \sum T_{вим}$	4,58
Допоміжний час на установку $T_{д.у}$	0,63
Допоміжний час на перехід $T_{п}$	3,91
Допоміжний час на вимірювання $T_{вим}$	0,04
Оперативний час $T_{оп} = T_o + T_d$	5,57
Час на обслуговування $T_{об} = \%T_{оп}$	3,5
Час на відпочинок та особисті потреби $T_{від} = \%T_{оп}$	5
Штучний час $T_{шт} = T_{оп} \cdot (1 + (T_{об} + T_{від})/100)$	6,04
Підготовчо-заклучний час $T_{пз}$:	47
на налагодження верстата	18
на налагодження упорів	12
на розточування кулачків	7
на одержання завдання та інструменту	10
Партія деталей n, шт	268
Штучно-калькуляційний час $T_{штк} = T_{шт} + T_{пз} / n$	6,22

Операція 010 Токарна з ЧПК

Режими різання та норми часу приведені в таблицях 2.9 – 2.10.

Таблиця 2.9 – Режими різання

Елементи режимів різання	Стадії обробки		
	Чорнова	Напівчистова	Чистова
Глибина різання	1,6	1	0,3
Табличне значення режимів різання			
Подача $S_{от}$, мм/об	0,4	0,25	0,25
Швидкість V_T , м/хв	97	98	110
Скоректовані значення режимів різання			
$S_o = S_{от} \cdot k_s$, мм/об	0,35	0,2	0,2
$V = V_T \cdot k_v$, м/хв	100	112	115
Розрахункові значення режимів різання			
$n_p = 1000 \cdot V / \pi \cdot D$, об/хв	338	380	410
Фактичні значення режимів різання			
n_ϕ , об/хв	300	350	400
V_ϕ , м/хв	94,2	109,9	113
N_ϕ кВт	4,2	3,3	0,9
$S_{хв} = S_o \cdot n_\phi$, мм/хв	105	70	80
$S_{хв \phi}$, мм/хв	105	70	80

Таблиця 2.10 – Норми часу

Складові частини штучного часу, норми часу	Час, хв.
Основний час на операцію	3,29
Час циклу автоматичної роботи $T_{ца} = T_m + T_d$	4,97
Допоміжний час на встановлення та зняття деталі $T_{д.у}$	0,7
Допоміжний час на вимірювання $T_{д.вим}$	0,35
Допоміжний час пов'язаний з операцією $T_{д.оп}$	0,63
Допоміжний час $T_d = T_{д.у} + T_{д.вим} + T_{д.оп}$	1,68
Коефіцієнт на допоміжний час $K_{тв}$	1
Оперативний час $T_{оп} = T_{ца} + T_d \cdot K_{тв}$	4,97
Час на обслуговування та на відпочинок і особисті потреби $T_{обс} = a_{тех} + a_{орг} + a_{вим} = \%T_{оп}$	10
Штучний час $T_{шт} = T_{оп} \times (1 + T_{обс}/100)$	7,32
Підготовчо-заключний час $T_{пз}$	16,2
організаційно-підготовчі роботи	11
наладка верстата, інструмента, пристосування	5,2
Партія деталей n , шт	268
Норма часу $T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз}/n$	7,38

Операція 015 Свердлильна з ЧПК

Режими різання та норми часу приведені в таблицях 2.11 – 2.12.

Таблиця 2.11 – Режими різання

Елементи режимів різання	Послідовність обробки отворів		
	Центрування Ø12H14	Свердління Ø12,5H12	Цекування Ø21,5H11
Глибина різання t , мм	5,5	6,25	4,5
Табличні значення режимів різання			
Подача $S_{то}$, мм/об	0,18	0,18	0,18
Швидкість різання V_t , м/хв	13,98	23,55	23,5
Частота обертання n_t , об/хв	356	680	880
Потужність N_t , кВт	1,1	2,1	1,8
Вісьова сила різання P , Н	3350	5140	5140
Скореговані режими різання			
Подача $S_{о ск}$, мм/об	0,22	0,12	0,12
Швидкість різання $V_{ск}$, м/хв	13,37	17,27	18,94
Частота обертання $n_{ск}$, об/хв	355	500	500
Подача $S_{хв}$, мм/хв	80	60	60
Потужність N , кВт	1	1	1,2

Таблиця 2.12 – Норми часу

Складові частини штучного часу, норми часу	Час, хв.
Основний час на операцію	8,60
Час циклу автоматичної роботи $T_{ца} = T_m + T_d$	10,89
Допоміжний час на встановлення та зняття деталі $T_{д.у}$	0,7
Допоміжний час на вимірювання $T_{д.вим}$	0,07
Допоміжний час пов'язаний з операцією $T_{д.оп}$	1,58
Допоміжний час $T_d = T_{д.у} + T_{д.вим} + T_{д.оп}$	2,29
Коефіцієнт на допоміжний час $K_{тв}$	1
Час на обслуговування та на відпочинок і особисті потреби $T_{обс} = a_{тех} + a_{орг} + a_{вим} = \%T_{оп}$	7
Штучний час $T_{шт} = (T_{ца} + T_d \cdot K_{тв}) \cdot (1 + T_{обс}/100)$	14,1
Підготовчо-заключний час $T_{пз}$	16,2
організаційно-підготовчі роботи	11
наладка верстата, інструмента, пристосування	5,2
Партія деталей n , шт	268
Норма часу $T_{шт.к} = T_{шт} + T_{пз}/n$	14,16

2.6 Висновки

В даному розділі проведено вибір і обґрунтування методу отримання заготовки, розраховано припуски на механічну обробку, розроблено маршрут обробки деталі, режими різання та норми часу.

3 Спеціальний розділ

3.1 Конструкція пристосування

Пристосування використовується при обробці отвору на свердлильній операції. Деталь базується по внутрішньому центральному отвору на оправці з упором в торець. При подачі тиску стиснутого повітря через штуцер в верхню мембранну частину пневмоцилиндру, шток переміщується і за допомогою швидкозмінної шайби затискає деталь в пристосуванні. Коли подача тиску в штокову порожнину припиняється - шток переміщується за допомогою пружини в зворотному напрямку, розтискуючи деталь.

3.2 Розрахунок пристосування

Похибка базування при обробці отвору не впливає на виконання розмірів, тому що виконується принцип суміжності технологічних та конструкторських баз.

Зусилля, яке виникає при використанні цього пристосування розраховується за формулою [10]:

$$Q = (D + d)^2 \cdot p - (T_k \cdot \pi \cdot d_{ш} + q)$$

де Q – зусилля на штоці;

$d = 100$ мм – діаметр кришки мембрани;

$D = 250$ мм – діаметр мембрани;

$p = 4$ атм – тиск в мережі пневмосистеми;

$T_k = 0,25$ кг – сила тертя;

$q = 145$ кг – жорсткість пружини;

$d_{ш} = 30$ мм – діаметр штоку.

$$Q = (25 + 10)^2 \cdot 4 - (0,25 \cdot 3,14 + 145) = 1\,121 \text{ Н}$$

Сила затиску пристосування повинна бути більш ніж сила різання в декілька разів.

$$Pz < Q$$

$$565 < 1\ 121$$

3.3 Висновки

В даному розділі спроектовано верстатний пристрій для свердлильної операції. Проведено розрахунок пристосування, виконано кресленик та специфікацію.

4 Науково-дослідницький розділ

4.1 Постановка задачі дослідження

Оптимізація режимів різання на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) є одним із найбільш перспективних напрямків в сучасному виробництві. Цей процес дозволяє не тільки підвищити продуктивність машин, але й значно покращити якість обробки деталей. Застосування оптимальних параметрів роботи верстату сприяє зменшенню часу обробки, забезпечує стабільну працездатність інструменту та знижує кількість браку. Крім того, такий підхід дозволяє гнучко адаптуватися до різноманітних завдань, що особливо важливо для серійного виробництва.

Найбільш суттєвими недоліками оптимізації є складність налагодження системи та потреба у спеціальних знаннях для правильної настройки параметрів. Проведення аналітичних досліджень та тестувань перед впровадженням нових режимів може бути часом затратним, а також вимагати значних фінансових вкладень у програмне забезпечення.

Крім того, стандартні методики оптимізації часто не враховують специфічні особливості окремих видів виробництва, що може призвести до неточностей у результаті. Зміна типу матеріалу або умов роботи також потребує регулярних корекцій, що збільшує складність управління цим процесом. Також можуть виникати проблеми зі стабільністю роботи верстату через технічні обмеження саме конкретної моделі.

Отже, оптимізація режимів різання для верстатів з ЧПК є складним, але важливим процесом, який вимагає комплексного підходу. Важливо враховувати як технічні особливості обладнання, так і економічні аспекти виробничого процесу.

Аналіз сучасних наукових досліджень, присвячених оптимізації режимів свердлення на верстатах з ЧПК, вказує на значний прогрес у розробці методів та інструментів для покращення цього процесу. У статті

"Optimization of Drilling Parameters Using Response Surface Methodology" (2019), автори з Індії, Patel D. та Desai S., застосували методологію поверхонь відгуку (RSM) для визначення оптимальних параметрів при свердленні алюмінієвих сплавів [11]. Дослідники з'ясували, що цей метод дозволяє точно прогнозувати вплив швидкості свердлення, подачі та глибини різання на якість отриманих отворів та довговічність інструменту.

У роботі "Artificial Neural Networks for Predicting Drill Wear in CNC Drilling Operations" (2020), наукова команда з Туреччини представила результати дослідження, де було показано, що нейронні мережі можуть ефективно використовуватися для передбачення зносу свердла під час автоматизованих процесів свердлення [12]. Результати демонструють, що такий підхід має високу точність та може допомогти уникнути аварійного зносу інструменту.

Додатково, у статті "Multi-objective Optimization of Drilling Parameters Using Genetic Algorithms" (2021) було проаналізовано застосування генетичних алгоритмів для оптимізації параметрів свердлення [13]. Автори зазначили, що цей метод дозволяє знайти компроміс між різними цілями, такими як якість поверхні, продуктивність обробки та довговічність інструменту. Висновки дослідження підтвердили ефективність генетичних алгоритмів для складних задач оптимізації.

Також варто звернути увагу на статтю "Sustainable Drilling Practices: Optimization of Energy Consumption and Tool Life" (2022), яка акцентує увагу на енергоефективності та сталому розвитку у процесі свердлення [14]. Автор зазначає, що правильна оптимізація параметрів свердлення може значно зменшити енерговитрати та емісію CO₂, що є важливим фактором для сучасних промислових процесів.

Науковці з Польщі у своїй роботі "Influence of Cutting Fluids on Drilling Performance in CNC Machining" (2020) [15] вивчили вплив різних рідин на якість свердлення та знос інструменту. Вони зробили висновок, що

правильно підібраний тип рідини може значно підвищити якість поверхні отворів та продовжити термін служби свердел.

Загалом, дослідження свідчать про те, що оптимізація режимів свердлення є комплексним процесом, який вимагає врахування багатьох факторів, включаючи матеріал заготовки, тип інструменту, рідини та конкретні цілі виробництва. Застосування сучасних методів, таких як методологія поверхонь відгуку, нейронні мережі та генетичні алгоритми, дозволяє досягти значних досягнень у поліпшенні продуктивності та якості процесу свердлення.

В даній роботі на основі досліджень, вказаних вище, створимо математичну модель механічної обробки при свердлінні та виконаємо її аналіз.

4.2 Оптимізація режимів різання при свердлінні

Вихідні дані.

Операція 015 – Свердлильна з ЧПК.

Свердлення отворів довжиною $L = 20$ мм та діаметром $D = 12,5$ мм.

Різальний інструмент

Свердло TAEGUTEC TCD 125-129-16S0-3D з пластиною TCD-125-P+

Вигляд свердла та пластини з основними геометричними параметрами представлено на рисунках 4.1 – 4.2.

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.

Мкр. Ці фактори лімітують вибрані режими різання і є основними при розгляді комплексу обмежень у завданні оптимізації. Крім того, слід звернути увагу на стійкість інструменту [18, 19].

Вибір технічних обмежень.

1) Обмеження відносно різальних можливостей (швидкості різання) інструменту

$$n \cdot S^y \leq \frac{318 \cdot D^{(q-1)} C_v \cdot k_v}{T^m}, \quad (4.1)$$

де $q = 0,4$, $C_v = 7$, $y = 0,7$, $k_v = 1,056$, $m = 0,2$ – коефіцієнти за довідниками;

$D = 12,5$ мм – діаметр свердла;

$T = 30$ хв – стійкість свердла.

2) Обмеження за потужністю верстата

$$n \cdot S^y \leq \frac{975 \cdot N_B \cdot \eta}{C_m \cdot D^q \cdot k_p}, \quad (4.2)$$

де $C_m = 0,0345$, $q = 2$, $y = 0,8$, $k_p = 0,96$ – коефіцієнти за довідниками;

$\eta = 0,9$ – коефіцієнт корисної дії верстата;

$N_B = 11,2$ кВт – потужність верстата.

3) Обмеження за міцністю механізму подачі верстата

$$S^y \leq \frac{P_v}{10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot k_p}, \quad (4.3)$$

де $C_p = 68$, $q = 1$, $k_p = 0,96$ – коефіцієнти за довідниками;

де $P_v = 9000$ Н – максимальна сила різання.

4) Обмеження за міцністю свердла

$$S^y \leq \frac{0,02 \cdot D^3 \cdot \sigma}{17,3 \cdot C_m \cdot D^q \cdot k_p \cdot k_3}, \quad (4.4)$$

де $\sigma = 700$ МПа – тимчасовий опір матеріалу свердла розриву;

$k_3 = 1,5$ – коефіцієнт запасу міцності.

5) Обмеження відносно жорсткості свердла

$$S^y \leq \frac{k_y \cdot E \cdot I}{10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot k_p \cdot L^2}, \quad (4.5)$$

де $k_y = 2,46$ – коефіцієнт втоми;

$E = 210 \cdot 10^3$ МПа – модуль пружності матеріалу свердла, МПа;

I – момент інерції свердла, мм^4 ;

L – довжина вільоту свердла.

6) Обмеження за мінімальними обертами шпинделя

$$n \geq n_{min}, \quad (4.6)$$

$$n \geq 10.$$

7) Обмеження за максимальними обертами шпинделя

$$n \leq n_{max}, \quad (4.7)$$

$$n \leq 10000.$$

9) Обмеження за мінімальною подачею

$$S \geq S_{min}$$

$$S \geq 0,05 \quad (4.8)$$

10) Обмеження за максимальною подачею

$$S \leq S_{max}$$

$$S \leq 3. \quad (4.9)$$

Цільова функція.

Вибрані технічні обмеження разом із цільовою функцією дозволяють побудувати математичну модель процесу обробки. Для більшості виробничих ситуацій, коли в розрахунках використовуються значення економічних періодів стійкості інструменту, як цільову функцію слід вибирати найменший основний час T_0 [18]:

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot S_0}.$$

Математичною моделлю в завданні оптимізації режимів різання при свердленні є сумісна система одержаних нерівностей і рівняння цільової функції. Залежно від застосованого методу вихідна модель підлягає відповідним перетворенням, щоб бути зорієнтованою на найбільш поширений метод лінійного програмування. Перетворення вихідної моделі здійснюється логарифмуванням виразів обмежень і цільової функції та одержанням відповідних лінійних форм [18].

Математична модель.

Математична модель оптимального режиму різання містить систему технічних обмежень, виражених у вигляді лінійних нерівностей, та лінійне рівняння цільової функції.

Введемо позначення $\ln(n) = x_1$; $\ln(S) = x_2$.

Для полегшення проведення математичних обчислень та побудови графіків використовуємо пакет MathCad. Приклад програми для розрахунку оптимальних режимів різання наведено в додатку.

В загальному вигляді система обмежень (формули 4.1 – 4.9) для свердлення отвору буде мати вигляд:

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

Зазначена математична модель не є вичерпною та може бути доповнена іншими обмеженнями.

Після проведення математичних перетворень у виразі (4.10) отримаємо математичну модель для визначення оптимальних режимів різання при свердленні у вигляді системи рівнянь (4.11).

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

параметрів без побудови додаткових графіків. Після підстановки всіх вихідних даних було отримане рішення системи (4.10), визначені оптимальні значення подачі та частоти обертів шпинделю при свердленні отвору.

Після рішення системи (4.10) було досліджено вплив параметру стійкості інструменту (обмеження 4.1) на оптимальні параметри подачі S , частоти обертів шпинделя n , швидкості різання V .

Отримані дані внесені до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Оптимальні режими різання (стійкість свердла $T = 30$ хв)

Параметри	Стійкість свердла T , хв.	Подача S , мм/об.	Частота обертів шпинделя n , об/хв.	Швидкість різання V , м/хв.
До оптимізації	30	0,12	500	17,27
Після оптимізації	30	0,24	678	27

Отримані значення подачі, частоти обертів шпинделя та швидкості різання для діаметру свердлення 12,5 мм відповідають рекомендованим режимам різання виробника Taegutec (рис. 4.3).

Recommended Cutting Conditions **DRILLRUSH**

Machining data for DRILL-RUSH

ISO	Material	Condition	Tensile strength (N/mm ²)	Hardness HB	Material No.	Cutting speed Vc (m/min)	Feed (mm/rev) vs. drill diameter	
							Ø12 - Ø13.9	Ø14 - Ø15.9
P	Non-alloy steel, cast steel, free cutting steel	<0.25%C Annealed	420	125	1	80-140	0.18-0.30	0.20-0.35
		>=0.25%C Annealed	650	190	2	80-130	0.18-0.30	0.20-0.35
		<0.55%C Quenched and tempered	850	250	3	80-120	0.18-0.30	0.20-0.35
		>=0.55%C Annealed	750	220	4	70-110	0.18-0.30	0.20-0.35
		Quenched and tempered	1000	300	5	50-90	0.18-0.30	0.20-0.35
	Low alloy steel and cast steel (Less than 5% of alloying elements)	Annealed	600	200	6	70-120	0.16-0.32	0.18-0.35
		Quenched and tempered	930	275	7	70-110	0.16-0.32	0.18-0.35
			1000	300	8	50-90	0.16-0.32	0.18-0.35
			1200	350	9	40-70	0.16-0.32	0.18-0.35
	High alloy steel, cast steel and tool steel	Annealed	680	200	10	50-90	0.15-0.25	0.18-0.28
		Quenched and tempered	1100	325	11	40-80	0.15-0.25	0.18-0.28

Рис. 4.3 – Рекомендовані режими різання [20]

Основний час на свердлення одного отвору до оптимізації T_{o1} :

$$T_{o1} = \frac{L}{n_1 \cdot S_{01}},$$

де L – довжина проходу свердла, мм;

$n_1 = 500$ об/хв – частота обертів шпинделя до оптимізації;

$S_{01} = 0,12$ мм/об – подача до оптимізації.

$$L = 20 + 0,4 \cdot D + \Delta = 20 + 0,4 \cdot 12,5 + 2 = 27 \text{ мм}$$

$$T_{o1} = \frac{27}{500 \cdot 0,12} = 0,45 \text{ хв.}$$

Основний час на свердлення одного отвору після оптимізації T_{o2} :

$$T_{o2} = \frac{L}{n_2 \cdot S_{02}},$$

$$T_{o2} = \frac{27}{678 \cdot 0,24} = 0,17 \text{ хв.}$$

Основний час на свердлення одного отвору зменшився на:

$$\Delta = \frac{0,45 - 0,17}{0,45} \cdot 100\% = 62\%.$$

Виконаємо дослідження операції свердлення отвору довжиною $L = 20$ мм та діаметром $D = 12,5$ мм при використанні свердел з тимчасовим опором матеріалу свердла $\sigma_v = 700 \div 900$ МПа. Математична модель залишається у вигляді (4.10).

Отримані дані зведені до таблиці 4.2. Графіки залежностей подачі, частоти обертів шпинделя, швидкості різання та основного часу від тимчасового опору матеріалу свердла розриву приведені на рисунках 4.4 – 4.6.

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.

опору матеріалу свердла розриву

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

опору матеріалу свердла розриву

З побудованих графіків видно, що залежність подачі від тимчасового опору матеріалу свердла розриву має обернено пропорційну залежність (рис. 4.4). Чим твердіший матеріал свердла, тим більша його здатність ефективно працювати з різними матеріалами, включаючи тверді та абразивні.

Тимчасовий опір матеріалу свердла – це характеристика, що показує, наскільки міцний і твердий матеріал використовується для виготовлення самого свердла. Чим вища тимчасова міцність свердла, тим краще воно може працювати з твердими матеріалами. Зміна тимчасового опору матеріалу свердла впливає на здатність інструменту працювати з різними матеріалами.

Проте подача визначається як характеристиками свердла, а й характеристиками матеріалу заготовки. Подача залежить від кількох факторів, включаючи:

- тимчасову міцність матеріалу заготовки;
- твердість та зносостійкість матеріалу свердла;
- умови різання (швидкість, охолодження, навантаження).

Якщо використовується міцніше свердло (тимчасовий опір 900 МПа замість 700 МПа), це дозволяє працювати з більш твердими матеріалами або збільшувати швидкість різання за тих же умов. Однак, якщо матеріал заготівлі залишається незмінним, подачу зазвичай знижують для запобігання перегріву або надмірного навантаження на більш жорстке свердло.

Зменшення величини подачі призводить до збільшення основного часу на свердлення отвору (рис. 4.4).

Графіки на рисунках 4.5 – 4.6 демонструють залежності частоти обертання шпинделю та швидкості різання від тимчасового опору матеріалу свердла розриву.

Аналіз результатів:

1) Подача (S) :

При збільшенні тимчасового опору матеріалу свердла (σ_v) подача зменшується. Це логічно: більш міцне свердло вимагає меншої подачі для запобігання перегріву або надмірному навантаженню.

2) Частота обертів шпинделя (n):

Зі збільшенням тимчасового опору матеріалу свердла частота обертання також трохи зменшується. Це пояснюється тим, що міцніший матеріал свердла може працювати за кілька менших оборотах без втрати ефективності.

3) Швидкість різання (V):

Швидкість різання поступово знижується із збільшенням тимчасового опору матеріалу свердла. Це пояснюється тим, що міцніші матеріали свердел можуть працювати за менших швидкостях, зберігаючи стабільність процесу.

4) Основний час (T_0):

Основний час збільшується зі зростанням тимчасового опору матеріалу свердла. Це очікуваний результат, оскільки менша подача та частота обертання призводять до збільшення часу обробки.

Результати узгоджуються з фізикою процесу: зі збільшенням тимчасового опору матеріалу свердла (σ_v) – подача зменшується; частота обертання шпинделя трохи знижується; швидкість різання падає; основний час зростає.

Ці зміни забезпечують стабільну роботу інструменту та запобігають його передчасному зносу.

Для тимчасового опору 900 МПа (порівняно з 700 МПа):

- подача знизилася з 0,26 мм/об до 0,20 мм/об (на ~23%).
- частота обертання зменшилася з 690 об/хв до 648 об/хв (на 6%).
- швидкість різання зменшилась з 27,11 м/хв до 25,46 м/хв (на ~6%).
- основний час збільшився з 0,15 хв до 0,21 хв (на ~40%).

Це підтверджує, що міцніші матеріали свердел потребують коригування режимів різання для оптимізації процесу.

Таким чином:

– обґрунтовано, що при свердлінні отвору діаметром 12,5 мм на довжину 20 мм оптимальні значення подачі та частоти обертів шпинделя становлять $S = 0,26$ мм/об та $n = 690$ об/хв., основний час при цьому зменшився на 62%.

– встановлено, що при свердлінні отвору діаметром 12,5 мм на довжину 20 мм подача знаходиться в обернено пропорційній залежності від тимчасового опору матеріалу свердла на розрив – при $\sigma_{\text{в}} = 700$ МПа подача складає $S = 0,26$ мм/об., при $\sigma_{\text{в}} = 900$ МПа – $S = 0,2$ мм/об.

4.3 Висновки

В даному розділі розглянуто оптимізацію режимів різання для свердління отвору. Розроблена математична модель для визначення оптимальних значень частоти обертів шпинделя та подачі. Для полегшення проведення математичних обчислень та побудови графіків використано пакети MathCad та Excel. Побудовано графіки залежностей подачі, частоти обертів шпинделю, швидкості різання та основного часу від тимчасового опору матеріалу свердла на розрив.