

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування

ДИПЛОМНА РОБОТА

Технологія виготовлення деталі «Храповик ПМ.20.23.017» з використанням

Назва теми

верстатів з ЧПК

Рівень вищої освіти перший (бакалавр)

Галузь знань 13 механічна інженерія
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 131 прикладна механіка
Шифр і назва спеціальності
Назва

Освітня програма «технології машинобудування»
Назва

Шифр ДРБ.ФІТА.ПМ.23.05.ПЗ

Виконав студент <u>4</u> курсу група <u>ПМТ-19-1</u> Шифр	Підпис	<u>Володимир ШАХОВАЛ</u> Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Керівник <u>канд. техн. наук, доцент</u> Науковий ступінь, звання	Підпис	<u>Володимир МИЛЬКО</u> Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Нормоконтролер <u>канд. техн. наук, доцент</u>	Підпис	<u>Сергій БИСЬ</u> Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
До захисту допускаю: Завідувач кафедри <u>технології машинобудування</u> Назва	Підпис	<u>Віталій ТКАЧУК</u> Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Дата « <u> </u> » <u> </u> 2023		

Хмельницький 20 23

6 Консультанти розділів дипломного проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата видачі завдання 6.03.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Загальний розділ	20.03.2023	
2 Технологічний розділ	20.04.2023	
3 Конструкторський розділ	20.05.2023	
4 Охорона праці	10.06.2023	

Студент Володимир ШАХОВАЛ
Підпис _____ Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник проєкту (роботи) Володимир МИЛЬКО
Підпис _____ Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Шаховал Володимир Вікторович (прізвище, ім'я, по батькові) на захист дипломного проєкту (роботи)
за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Технологія виготовлення деталі "Храповик ПМ.20.23.017" з використанням верстатів з ЧПК.

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету



ВІКТОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ КО
(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Шаховал В. В. за період навчання на факультеті інженерії, транспорту та архітектури з 2020 по 2023 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за національною шкалою: відмінно 15,62 %, добре 53,12 %, задовільно 31,25 %.
шкалою ЄКТС: А 18,92 %, В 21,62 %, С 29,73 %, D 5,41 % E 24,32 %.

Методист факультету

[Signature]
(підпис)

(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Шаховал Володимир Вікторович

вимагав з'ясування, чи виконались на даний момент
не проектування цього проєктуав системно
і порушував умови дипломного проєктування,
якщо був оцінений "задовільно"

Оцінка дипломного проєкту (роботи) задовільно

Керівник дипломного проєкту

[Signature]
(підпис)

Вільно С.С
(ім'я, прізвище)

" " 2023 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Шаховал В. В. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

Тихоходий Надія Юрівна
(імя)

[Signature]
Вікторія ТКАЧУК
(підпис, ім'я, прізвище)

" 22 " 06 2023 р.

ЗМІСТ

	Вступ.....	8
1	Загальний розділ	10
1.1	Стан питання та визначення задач дипломного проектування.....	10
1.2	Аналіз об'єкту виробництва. Призначення та конструкція деталі.....	10
1.3	Аналіз технологічності конструкції деталі.....	13
1.4	Визначення типу і організаційної форми виробництва...	15
2	Технологічний розділ.....	17
2.1	Вибір заготовки і обґрунтування методу її отримання....	17
2.2	Вибір технологічних баз.....	19
2.3	Встановлення планів обробки поверхонь деталі.....	20
2.4	Вибір варіанта технологічного маршруту та його техніко-економічне обґрунтувань.....	20
2.5	Розрахунок припусків.....	22
2.5.1	Розрахунок припуску на обробку Ø90	22
2.6	Розробка технологічних операцій механічної обробки	27
2.7	Призначення режимів різання	29
2.8	Вибір режимів різання на інші операції (переходи) по таблицям нормативів.....	32
2.9	Технічне нормування операцій.....	34
2.10	Оформлення технологічної документації.....	37
3	Конструкторський розділ.....	38
3.1	Проектування верстатного пристрою для свердлування отворів	38
3.1.1	Вибір схеми базування та закріплення деталі.....	38

3.1.2	Вибір установочних елементів пристрою.....	38
3.1.3	Розрахунок точності обробки.....	38
3.1.4	Розрахунок сили закріплення деталі.....	40
3.1.5	Розрахунок силового приводу пристрою.....	41
3.1.6	Розрахунок деталей пристрою на міцність.....	42
3.1.7	Опис роботи пристрою.....	43
3.2	Проектування контрольного пристрою.....	44
4	Охорона праці.....	47
4.1	Аналіз технологічного процесу з точки зору охорони праці	47
4.2	Вибір схеми проектування заземлення.....	50
4.3	Розрахунок заземлення.....	52
5	Висновки.....	56
6	Список використаних джерел.....	57
	Додатки.....	

ВСТУП

Ви абсолютно праві, що в наш час досягнення високого рівня виробництва вимагають значних зусиль. Технічний прогрес є одним з ключових факторів, що впливають на якість продукції і конкурентоспроможність на ринку. Особливо в машинобудуванні науково-технічний прогрес відіграє важливу роль у розвитку народного господарства.

Для прискорення науково-технічного прогресу необхідно зосередитись на таких аспектах: інтенсифікація праці, підвищення ефективності виробництва та покращення якості продукції. Однак, одним з найважливіших факторів є вдосконалення технологічних методів виготовлення машин.

Якість машин залежить не тільки від їхньої конструкції, але й від процесу виробництва. Використання прогресивних технологій обробки, методів зміцнення робочих поверхонь, автоматизованих систем управління та економічних методів організації виробництва допомагає досягти високої точності, якості та довговічності машин. Крім того, використання сучасних технологій, таких як числове програмування верстатів із ЧПУ, електронно-обчислювальні машини, сприяє підвищенню ефективності виробництва.

Отже, поєднання технологічних вдосконалень, використання прогресивних методів та організаційних рішень допомагає досягти високого рівня виробництва та якості продукції. Для досягнення цих цілей важливо залучити наукові дослідження, інженерний розробки і інновації, а також вдосконалювати процеси навчання та кваліфікацію працівників.

Ви перерахували деякі з основних напрямків у сучасній технології машинобудування, які допомагають покращити ефективність виробництва та якість продукції. Основні ідеї цих напрямків включають:

1. Наближення заготовок до готових деталей: Цей підхід полягає в тому, щоб виготовляти заготовки, які вже максимально наближені до форми, розмірів та

якості поверхонь готових деталей. Це дозволяє зменшити втрати матеріалу, скоротити час обробки і знизити витрати на інструменти та енергію.

2. Застосування автоматизованих систем: Використання автоматичних ліній, агрегатних верстатів, верстатів з числовим програмуванням (ЧПК) та інших автоматизованих систем допомагає знизити працеемкість процесу виробництва і підвищити продуктивність.

3. Концентрація операцій: Об'єднання кількох операцій на одному верстаті дозволяє виконувати їх одночасно або послідовно з використанням багатьох інструментів. Це зменшує час переналаштування та переміщення деталей, що сприяє збільшенню продуктивності.

4. Використання електрохімічних та електрофізичних методів: Включаючи електроіскрову, електроконтактну, електроімпульсну, ультразвукову та електроабразивну обробку, ці методи дозволяють досягти високої точності та якості при обробці деталей.

5. Зміцнення поверхні: Розвиток методів зміцнення поверхні, включаючи механічні, термічні, термомеханічні та хіміко-термічні методи, дозволяє покращити експлуатаційні властивості деталей і забезпечити їх довговічність.

6. Висока точність та якість обробки: Розвиток прогресивних методів обробки забезпечує досягнення високої точності розмірів, форми деталей, якості поверхонь та точності спряжень. Це важливо для забезпечення надійності та довговічності машинних деталей.

Застосування цих напрямків у технологічних процесах дозволяє досягти підвищення ефективності виробництва та покращення якості виготовленої продукції в машинобудуванні.

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Стан питання та визначення задач дипломної роботи

Дипломна бакалаврська робота, в рамках загальноосвітньої програми підготовки бакалаврів зі спеціальності "Прикладна механіка" галузі знань "Механічна інженерія", є самостійною та логічно завершеною роботою, яка має на меті отримання ступеня бакалавра в галузі технології машинобудування.

Основні завдання, які необхідно виконати при написанні дипломної роботи бакалавра, включають:

1. Запропонувати вдосконалений технологічний процес оброблення деталі з використанням сучасного обладнання, зокрема верстатів з ЧПК. Ви повинні розробити оптимальний послідовний набір операцій оброблення, враховуючи особливості деталі та використання верстатів з ЧПК для досягнення необхідної якості та ефективності виготовлення.

2. Провести раціональний вибір методу отримання заготовки. Вам потрібно визначити найкращий спосіб виготовлення заготовки, враховуючи матеріал, геометрію деталі, обсяг виробництва та інші фактори.

3. Провести розрахунки та вибір припусків. Вам необхідно визначити допустимі припуски на розміри деталі з урахуванням потрібної точності та технологічних вимог.

4. Розрахувати та вибрати різальний інструмент і режими різання. Вам необхідно визначити оптимальний різальний інструмент, швидкість різання, подачу та інші параметри для кожної операції оброблення.

5. Провести нормування технологічних операцій механічної обробки. Визначити час, необхідний для виконання кожної операції, враховуючи складність та особливості обробки.

6. Спроекувати та провести розрахунки верстатного та контрольного пристрою. Розробити проект верстатного обладнання та забезпечити належну функціональність та ергономіку пристроїв контролю.

7. Виконати необхідні графічні матеріали та оформити технологічну документацію. Ви повинні підготувати креслення, схеми, діаграми та інші графічні матеріали, а також створити повну технологічну документацію, яка описує всі аспекти виготовлення деталі.

8. Навести з точки зору охорони праці необхідні вимоги до безпечної роботи при виконанні технологічного процесу, протипожежної безпеки та безпечних умов роботи на підприємствах машинобудівного комплексу. Ви повинні розглянути і описати заходи безпеки та норми, які потрібно дотримуватися під час виконання технологічних операцій.

Під час написання дипломної роботи бакалавра вам слід дотримуватися наукових методів дослідження, використовувати наявну літературу, нормативно-технічну базу та розробити власні рекомендації та висновки на основі проведених досліджень.

1.2 Аналіз об'єкту виробництва. Призначення та конструкція деталі

На кресленні деталі вказано, що конструкція дозволяє отримати заготовку як з круглого прокату так і литвом. Згідно з описом, основні поверхні деталі підлягають токарному точінню.

Креслення містить усі необхідні відомості про деталь, включаючи перерізи, проекції та види, що дають повну уяву про конструкцію деталі. Вказані всі необхідні розміри, розмірні ланцюги зберігають розмірну визначеність, існує взаємозв'язок між обробленими та необробленими поверхнями, вказано точність розмірів. Технічні вимоги містять інформацію про параметри шорсткості на поверхнях, що обробляються, для кожного виду обробки.

Також зазначено, що основні поверхні деталі (рис. 1.1) використовуються для визначення положення деталі у виробі, а інші поверхні класифіковано як допоміжні, виконавчі та вільні в залежності від їх службового призначення.

Узагальнюючи, креслення деталі містить достатню кількість інформації про її конструкцію, розміри, обробку поверхонь та вимоги до точності, що дозволяє зробити висновок про його повноту та відповідність вимогам технічної документації.

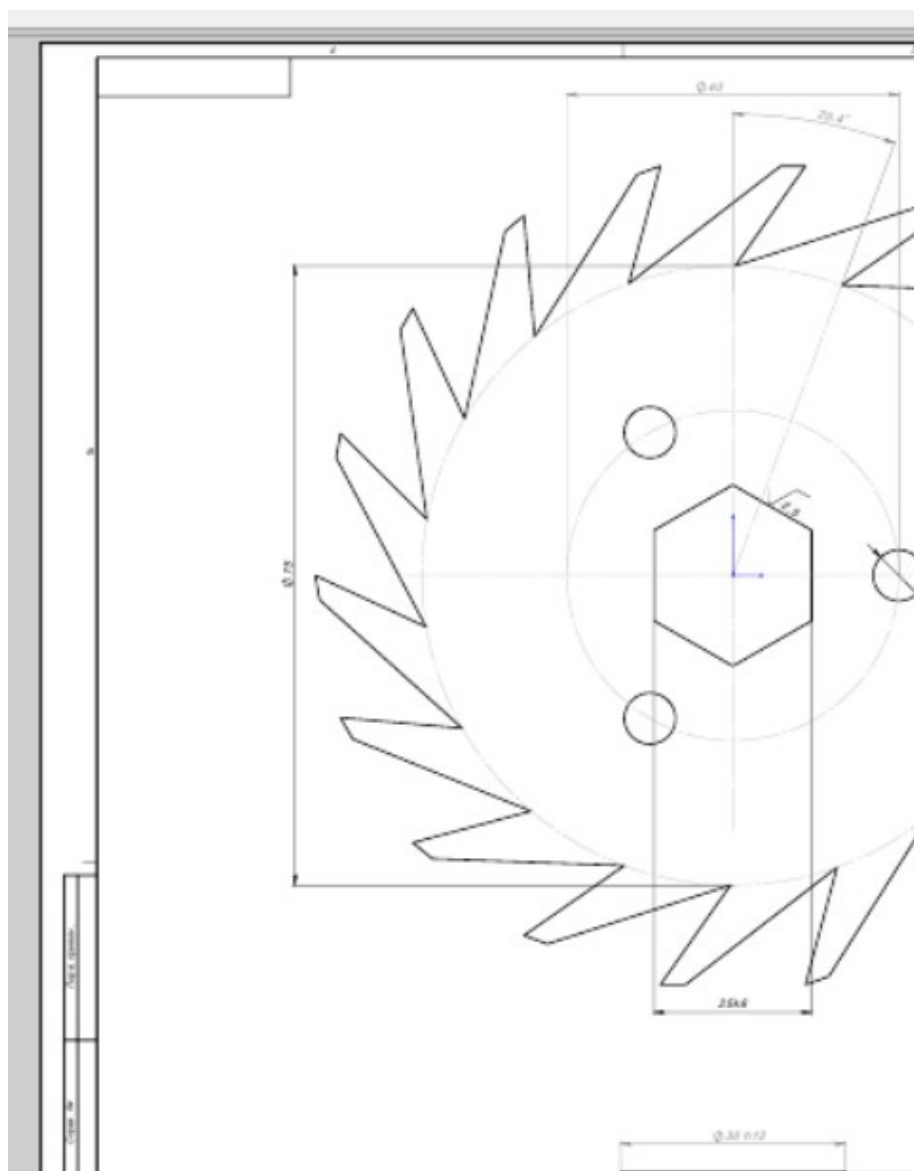


Рисунок 1.1 – Деталь храповик

Деталь типу "Храповик" має технологічну конструкцію, оскільки вона складається з простих поверхонь, які можуть бути виготовлені за допомогою стандартних інструментів та типових технологічних схем. Конструкція включає кілька ступенів, які не відрізняються суттєво за діаметральними розмірами. Це дозволяє зменшити відходи матеріалу під час механічної обробки.

Для виготовлення використовується конструкційна сталь 45 (згідно зі стандартом ДСТУ 7809:2015), яка є широкодоступним матеріалом і відповідає вимогам для даної деталі.

Головною базою деталі є її вісь обертання, яка використовується для обробки та контролю деталі за допомогою центрових отворів. Допоміжними базами є зовнішні циліндричні поверхні та торці деталі. Торці також виконують конструктивну функцію.

Виготовлення деталі "Храповик" може використовувати типові та стандартні технологічні процеси, а також універсальне обладнання, що спрощує процес виготовлення.

Таблиця 1.1 Хімічний склад та механічні властивості сталі 45

C , %	Si , %	Mn , %	Не більше		Ni , %	Cr , %
			S , %	P , %		
0.4 ...0.5	0.17...0.37	0.5...0.8	0.045	0.045	0.3	0.3
σ_T , МПа	$\sigma_{тим}$, МПа	δ_5 , %	ψ , %	КСИ, Дж/см ²	НВ Гаряч.	Не більше Відпал
не менше						
360	610	16	40	50	241	197

1.3 Визначення типу і організаційної форми виробництва

Тип виробництва може бути характеризований коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о.}$, який вказує на відношення між кількістю технологічних операцій,

що виконуються або призначені для виконання підрозділом, і кількістю робочих місць у цьому підрозділі протягом місяця.

Коефіцієнт закріплення операцій визначає ефективність використання робочої сили та розподіл навантаження між працівниками. Він може бути виражений у відсотках або десятковому значенні. Наприклад, якщо коефіцієнт закріплення операцій дорівнює 0,8 (або 80%), це означає, що на кожному робочому місці протягом місяця виконується або призначено виконання 80% доступних технологічних операцій.

$$K_{з.о.} = \frac{\sum P_0}{O}, \quad (1.1)$$

де $\sum P_0$ – кількість різноманітних операцій;

O – фактична кількість робочих підрозділів, що виконують різноманітні операції.

Табл. 1.2 Визначення коефіцієнту закріплення операції

Операції	$T_{шт.}$	m_p	P	$\eta_{з.ф.}$	O
1.Токарна	3,56	0,434	1	0,434	1,84
2. Токарна з ЧПК	2,56	0,3126	1	0,3126	2,56
3. Вертикально - фрезерна	3,56	0,434	1	0,434	1,84
4. Шліфувальна	1,526	0,186	1	0,186	4,3

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{10,5}{4} = 2,6$$

За результатами розрахунку встановлено тип виробництва – багатосерійний. У такому типі виробництва операції розподіляються між різними робочими підрозділами, які спеціалізуються на виконанні конкретних операцій. Кожен підрозділ займається своєю частиною процесу виробництва, що дозволяє

забезпечити ефективну організацію та швидкий випуск виробів у великих обсягах.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір заготовки і обґрунтування методу її отримання

Для проведення вартісного порівняння двох методів отримання заготовок, можна використати формулу, що враховує витрати на кожен з методів. Розрахунок вартості отримання заготовки може включати такі фактори, як витрати на матеріал, обладнання, робочу силу, енергію, інструменти та інші витрати, пов'язані з кожним методом.

Для проведення вартісного порівняння двох методів отримання заготовок - отримання заготовки з прокату і отримання заготовки штампуванням на ГKM, можна використовувати наступну формулу для розрахунку вартості отримання заготовки:

Вартість отримання заготовки = Вартість матеріалу + Вартість обробки + Вартість обладнання + Вартість праці + Вартість енергії + Інші витрати,

де кожен компонент враховує відповідні витрати, пов'язані з кожним методом отримання заготовки.

Рекомендую провести детальний розрахунок вартості для кожного методу, використовуючи конкретні дані про витрати на матеріал, обробку, обладнання, працю, енергію та інші фактори для кожного методу. Отримані результати дадуть вам можливість зробити обґрунтований вибір методу отримання заготовки, враховуючи конкретні умови вашого виробництва та економічні фактори.

$$S_{\text{заг1}} = ((S_{\text{баз}}/1000) \otimes Q \otimes k_{\text{Г}} \otimes k_{\text{С}} \otimes k_{\text{В}} \otimes k_{\text{М}} \otimes k_{\text{П}}) - (Q - q) \otimes S_{\text{відх}}/1000, [1] \quad (2.1)$$

де $S_{\text{баз}}$ - базова вартість 1 т заготовок, $S_{\text{баз}} = 49000$ грн;

$S_{\text{відх}}$ - вартість 1 т відходів, $S_{\text{відх}} = 7000$ грн;

Q - маса заготовки, $Q = 0,5$ кг;

q - маса готової деталі, $q = 0,35$ кг;

k_T - коефіцієнт класу точності, $k_T = 1,05$, [1];

k_C - коефіцієнт групи складності, $k_C = 0,85$, [1];

k_B - коефіцієнт маси, $k_B = 1,2$, [1];

k_M - коефіцієнт марки матеріалу, $k_M = 1$, [1];

k_{Π} - коефіцієнт об'єму виробництва, $k_{\Pi} = 1$, [1],

$$S_{\text{заг1}} = ((49000/1000) \cdot 0,5 \cdot 1,05 \cdot 0,85 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1) - (0,5 - 0,35) \cdot 7000/1000 = 24 \text{ грн.}$$

2) Проаналізуємо заготовку з прокату.

Розрахуємо затрати на матеріал заготовки скориставшись формулою:

$$M = Q \cdot S \cdot (Q - q) \cdot S_{\text{відх}}/1000, \quad (2.2)$$

де Q - маса заготовки храповика, $Q = 1,22$ кг;

$S_{\text{баз}}$ - базова вартість 1 кг матеріалу сталь 45, $S_{\text{баз}} = 32$ грн;

q - маса готової деталі храповик, $q = 0,35$ кг;

$S_{\text{відх}}$ - вартість 1 т відходів сталі 45, $S_{\text{відх}} = 7000$ грн,

$$M = 1,22 \cdot 32 - (1,22 - 0,35) \cdot 7000/1000 = 33 \text{ грн.}$$

Виконаємо розрахунки вартості заготовок, що отримані з металопрокату:

$$S_{\text{заг}} = M + \sum C_{\text{оз}}, \quad (2.3)$$

де M - затрати на матеріал. $M=33$ грн.;

Річний економічний ефект від застосування визначимо за формулою:

$$E_{\text{заг}} = (S_{\text{заг1}} - S_{\text{заг2}}) \cdot N = (33 - 24) \cdot 10000 = 90000 \text{ грн.} \quad (2.4)$$

Так, на підставі розрахунків вартості отримання заготовок за допомогою двох методів - штампування на ГKM і виготовлення з прокату, можна прийняти рішення про вибір штампованої заготовки. Оскільки собівартість штампованої заготовки є нижчою в порівнянні з заготовкою отриманою з прокату, це робить метод штампування на ГKM більш економічним та доцільним для даної деталі.

2.2 Вибір технологічних баз

Для виконання першої операції, а саме точіння ми використовуємо зовнішню поверхню заготовки як базу. На операції токарно-фрезерування ми використовуємо зовнішню поверхню заготовки та центровий отвір як базу. Для свердлування отворів та фрезерування зубців ми використовуємо торець та шестигранну поверхню як базові поверхні. Для шліфування зовнішньої поверхні ми використовуємо центрові отвори як базу.

2.3 Встановлення планів обробки окремих поверхонь

Ефективна організація операцій залежить від раціонального використання обраного технологічного обладнання, оснащення та різального інструменту.

При виборі технологічного обладнання враховуємо такі показники: метод обробки, габаритні розміри заготовки, оброблювані розміри, потужність різання та продуктивність обладнання.

При виборі різального інструменту беремо до уваги: максимальне використання нормалізованого та стандартного інструменту, оброблювану поверхню, точність та якість обробки, проміжні розміри та допуски, а також стійкість інструменту.

Для обробки деталі по контуру рекомендовано використовувати токарний верстат з ЧПК. Для підготовки керуючої програми складаємо розрахунково-технологічну карту (РТК).

2.4 Вибір варіанта технологічного маршруту та його техніко-економічне обґрунтувань

Під час виконання завдання необхідно провести аналіз двох варіантів технологічного маршруту. Рішення про вибір конкретного варіанта приймається після техніко-економічного порівняння, яке здійснюється на основі операцій, що відрізняються між варіантами.

Метою розробки варіанта технологічного маршруту обробки деталі є створення загального плану обробки, визначення послідовності операцій та переходів у технологічному процесі, вибір відповідного обладнання, такого як верстати, пристрої, різальні та вимірювальні інструменти, а також вибір оптимального технологічного процесу, який мінімізує витрати на одиницю продукції.

Порівняння двох технологічних процесів буде здійснюватись шляхом порівняння двох операцій, в яких обробка отвору $\varnothing 6,2$ мм виконується за допомогою двох різних методів: у першому варіанті - на верстаті 2P135Ф3, а у другому - на верстаті 2P118.

Критерієм оптимальності є найменше значення сумарної технологічної собівартості обробки, що визначається як мінімум приведених витрат на одиницю продукції.

При виборі варіанта технологічного маршруту приведені витрати визначаються у вигляді приведених витрат на одну годину роботи устаткування (Сп.з, грн. / год.). Годинні приведені витрати визначаються за допомогою наступної формули:

$$C_{п.в} = C_3 + C_{чз} + E_n(K_c + K_3), \quad (2.5)$$

де $C_{п.в}$ - погодинні приведені затрати, грн./год. C_3 - основна та допоміжна ЗП, грн./год. $C_{чз}$ - погодинні затрати на експлуатацію одного робочого місця, грн./год.

E_n - Нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладів є показником, який використовується для оцінки рентабельності і доцільності

капітальних інвестицій, $E_H=0.15$ [10], с.39 K_c, K_3 - Питомі години капітальних вкладів відповідають витратам капіталу на одну годину роботи устаткування (верстату) і будівлі і виражаються в гривнях за годину.

$$C_3 = \epsilon C_{\text{т.ф.}} \cdot K \cdot Y, \quad (2.6)$$

де ϵ - коефіцієнт , який враховує додаткову ЗП що дорівнює 9% , яка нарахована на соціальне страхування 7.6% та приробіток до основної зарплати у результаті перевиконання норми на 30% , $\epsilon = 1.54$ [5],

$C_{\text{тф}}$ - погодина тарифна ставка робітника відповідного розряду ,

$C_{\text{тф}} = 67$ грн./год.,[5],

K - коефіцієнт , який враховує зарплату наладчика , $k=1$, [5].

Y - коефіцієнт , який враховує оплату робітника при багатOVERстатному обслуговуванні , $y=1$, [5],

$$C_{\text{ч.з}} = C_{\text{ч.з}}^{\text{бп}} \cdot K_m, \quad (2.7)$$

де $C_{\text{ч.з}}$ - практичні години затрати на базовому робочому місці, грн./год.,

$C_{\text{ч.з}}^{\text{бп}} = 36.3$ грн./год.

K_m - коефіцієнт , який враховує у скільки разів затрати пов'язані із даним робочим верстатом більші аналогічним витратам у базового верстата , $k_m = 0.7$, [5],.

Перший варіант. Оброблення отвору за допомогою вертикально-свердлувального верстату 2P135Ф3.

$$C_{\text{ч.з}} = 36,3 \cdot 1,1 = 40 \text{ грн./год.}$$

Питомі погодинні капітальні вкладення у верстат обчислюються шляхом поділу суми капітальних вкладень у верстат на кількість годин, протягом яких він функціонує.

$$K_c = (Ц \cdot 100) / (F_d \cdot \eta_3), \quad (2.8)$$

де:

$Ц$ – є балансовою вартістю верстата, $Ц=700400$ грн. [5];

F_d – фактичний річний фонд робочого часу, $F_d=2030$ год.

η_3 – коефіцієнт фактичного завантаження верстата, $\eta_3=0,8$ [5];

$$K_c = (7040 \cdot 100) / (2030 \cdot 0,8) = 433 \text{ грн./год.}$$

Питомі погодинні капітальні, що відображають вкладення у будівлю:

$$K_3 = (F \cdot 78,4 \cdot 100) / (F_d \cdot \eta_3), \quad (2.9)$$

де:

F – фактична виробнича площа, яку займає верстат із врахуванням проходів. Вона знаходиться за допомогою формули:

$$F = F_B \cdot K_B, \quad (2.10)$$

тут:

F_B – площа, яку займає сам верстат, $F_B = 5,1 \text{ м}^2$ [5];

K_B – коефіцієнт, який враховує додаткові виробничі площі проходів, $K_B = 2,5$ [5];

$$F = 5,1 \cdot 2,5 = 12,8 \text{ м}^2.$$

$$K_3 = (12,8 \cdot 78,4 \cdot 100) / (2030 \cdot 0,8) = 62 \text{ грн./год.}$$

Тоді погодинні приведені затрати для першого варіанту будуть дорівнювати:

$$C_{п.в1} = 40,2 + 40,0 + 0,15 \cdot (433 + 62) = 154,5 \text{ грн./год.}$$

Другий варіант отримання отвору. Оброблення виконується на свердлувальному верстаті 2Н118

Аналогічно попередньому варіанту знайдемо погодинні приведені затрати для другого варіанту. Із формули (2.4) визначимо основний та допоміжний заробіток робітника.

$$C_{т.ф}=60,6 \text{ грн./год}; [5], \quad y=1 [5];$$

$$C_3=1,5 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1=92,8 \text{ грн./год};$$

Знайдемо погодинні затрати на експлуатацію робочих місць:

$$C_{ч.з}^{б.п}=36,3 \text{ грн./год}; \quad K_m=1,6 [5];$$

$$C_{ч.з}=36,3 \cdot 1,6=58,1 \text{ грн./год.}$$

Питомі родинні капітальні вкладення у верстати визначимо:

$$Ц=5530 \text{ грн}, [10], c163, \quad K_c=(5530 \cdot 100)/(2030 \cdot 0,8)=340 \text{ грн./год.}$$

Виробнича площа, яку займає сам верстат із урахуванням проходів, знаходимо за формулою (2.7):

$$F_B=7,9 \text{ м}^2; \quad K_B=2,5; \quad F=7,9 \cdot 2,5=19,75 \text{ м}^2.$$

Питомі погодинні капітальні вкладення у будівлю визначаємо із формули (2.6):

$$K_3=(19,75 \cdot 78,4 \cdot 100)/(2030 \cdot 0,8)=95,3 \text{ грн./год.}$$

Знаходимо погодинні приведені затрати для другого варіанта

$$C_{п.в2}=92,7+58,1+0,15 \cdot (340+95,3)=216,2 \text{ грн./год,}$$

Це означає, що питомі годинні капітальні вкладення для першого варіанта були нижчими, ніж для другого варіанта.

Таким чином, з урахуванням того, що годинні приведені витрати для першого варіанта менші, ніж для другого, можна зробити висновок, що перший варіант є більш ефективним з економічної точки зору. ($C_{п.в2}=216,2 > C_{п.в1}=154,5$), Ми приймаємо перший варіант технологічного процесу, що передбачає застосування операції 010 - вертикально-свердлувальну для обробки отвору.

2.5 Розрахунок припусків

Аналітичний розрахунок припусків на обробку поверхні $\varnothing 90h7^{(+0,022)}$.

Технологічний маршрут обробки поверхні $\varnothing 90h7^{(+0,022)}$ складається з трьох переходів:

- чорнове точіння – Ra25 (Rz160);
- напівчистове точіння – (Rz63);
- шліфування – Ra2,5 (Rz25).

Кривизна профілю сортового прокату $[\Delta] = 0,1\text{мкм на } 1\text{мм}$ [6]с.186табл.16.

Тоді

$$\Delta_k = [\Delta] \cdot l, \text{ мкм}, \quad (2.11)$$

де l -довжина заготовки , $l=840\text{мм}$,

$$\Delta_k = 0,1 \cdot 840 = 8,4\text{мкм},$$

Зміщення осі заготовки в результаті похибки центрування

$$\Delta_y = 0,25 \cdot \sqrt{T^2 + 1}, \text{ мм}, \quad (2.12)$$

де T -допуск на діаметральний розмір бази заготовки, використаної при центруванні, $T=870\text{ мкм}$ [6]с.192.табл.32.

$$\Delta_y = 0,25 \cdot \sqrt{0,87^2 + 1} = 0,331 \text{ мм},$$

Тоді сумарні відхилення розташування:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_k^2 + \Delta_y^2} = \sqrt{8,4^2 + 331^2} = 332 \text{ мкм},$$

Призначаємо точність і якість поверхні заготовок після механічної обробки по [6]с.181табл.5:

1.Точити начорно Rz=63; h=60мкм,

2.Точити начисто $Rz=25$; $h=30$ мкм,

3.Шліфувати $Rz=5$; $h=5$ мкм.

Визначаємо відхилення розташування після кожного методу обробки:

$$\Delta_i = \Delta_{i-1} \cdot K_y, \quad \text{мкм}, \quad (2.13)$$

де K_y - коефіцієнт уточнення, $K_{y1}=0,06$, $K_{y2}=0,04$, $K_{y3}=0,03$, [6]с.190табл.29.

Для чорнового точіння:

$$\Delta_1 = 332 \cdot 0,06 = 19,92 \text{ мкм},$$

Для чистового точіння:

$$\Delta_2 = 19,92 \cdot 0,04 = 0,79 \text{ мкм},$$

Для шліфування:

$$\Delta_3 = 0,79 \cdot 0,03 = 0,02 \text{ мкм},$$

Оскільки деталь встановлюється по центрових отворах , то $\varepsilon=0$,

Призначаємо допуски на кожний перехід.

Для виробу $\varnothing 90h7$, $T_2=35$ мкм буде отримано після чистового точіння.

Тоді по [6]с.192табл.32 послідовність отриманих квалітетів 14-9-7-6.

$$T_{\text{заг}}=870 \text{ мкм},$$

$$T_1=87 \text{ мкм},$$

$$T_2=35 \text{ мкм},$$

$$T_3= 22 \text{ мкм}.$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Таблиця розрахунку припусків на обробку поверхні $\varnothing 90h7^{(+0,022)}$.

Склад Операції	Елементи припуску, мкм				Розрах. припуск, мкм	Розрах. розмір, мкм	Допуск, мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	h	Δ	ϵ				d_{\min}	d_{\max}	$2z_{\min}$	$2z_{\max}$
Заготовка	160	200	332	-			870	94,13	95		
Точити:											
1.Начорно	63	60	19,92	-	2×692	90,308	87	90,22	90,31	3910	4690
2.Начисто	25	25	-	-	2×142,92	90,132	35	90,1	90,13	120	180
3.Шліфув.	5	5	-	-	2×55	90,022	22	90	90,02	100	110

Розрахунок мінімальних значень припусків проводимо за формулою:

$$2z_{\min} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + h_{i-1} + \Delta_{i-1}), \text{ мкм}, \quad (2.14)$$

Для чорнового точіння:

$$2z_{\min 3} = 2 \cdot (25 + 30) = 2 \cdot 55 \text{ мкм},$$

Для чистового точіння:

$$2z_{\min 2} = 2 \cdot (63 + 60 + 19.92) = 2 \cdot 142.92 \text{ мкм},$$

Для шліфування:

$$2z_{\min 1} = 2 \cdot (160 + 200 + 332) = 2 \cdot 692 \text{ мкм},$$

Розрахунковий розмір

$$d_{\min 3} = d_n + ei = 90 + 0,022 = 90.022 \text{ мм},$$

$$d_{\min i} = d_{\min i+1} + 2z_{\min i+1}, \text{ мм}, \quad (2.15)$$

Тоді

$$d_{\min 2} = 90.022 + 2 \cdot 55 = 90,132 \text{мм},$$

$$d_{\min 1} = 90.022 + 2 \cdot 142.92 = 90.308 \text{мм},$$

d_{\max} отримуємо округленням розрахункового розміру до точності допуску відповідного переходу.

Граничні значення припусків

$$2z_{\min i} = d_{\min i-1} - d_{\min i}, \text{мкм}, \quad (2.16)$$

Тоді

Для чорнового точіння:

$$2z_{\min 1} = 94.13 - 90.22 = 3910 \text{мкм},$$

Для чистового точіння:

$$2z_{\min 2} = 90.22 - 90.1 = 120 \text{мкм},$$

Для шліфування:

$$2z_{\min 3} = 90.1 - 90 = 100 \text{мкм},$$

$$2z_{\max i} = d_{\max i-1} - d_{\max i}, \text{мкм}, \quad (2.17)$$

Тоді

Для чорнового точіння:

$$2z_{\max 1} = 95 - 90.31 = 4690 \text{мкм},$$

Для чистового точіння:

$$2z_{\max 2} = 90.31 - 90.13 = 180 \text{мкм},$$

Для шліфування:

$$2z_{\max 3} = 90.13 - 90.02 = 110 \text{ мкм.}$$

Перевірка

$$\sum 2z_{\max} - \sum 2z_{\min} = Td_{\text{зам}} - Td_3, \quad (2.18)$$

$$(4690 + 180 + 110) - (3910 + 120 + 100) = 870 - 22,$$

Умова виконується, розрахунки виконані вірно.

Схема припусків на обробку $\varnothing 90h7(^{+0,022})$ представлена на рис 2.6.

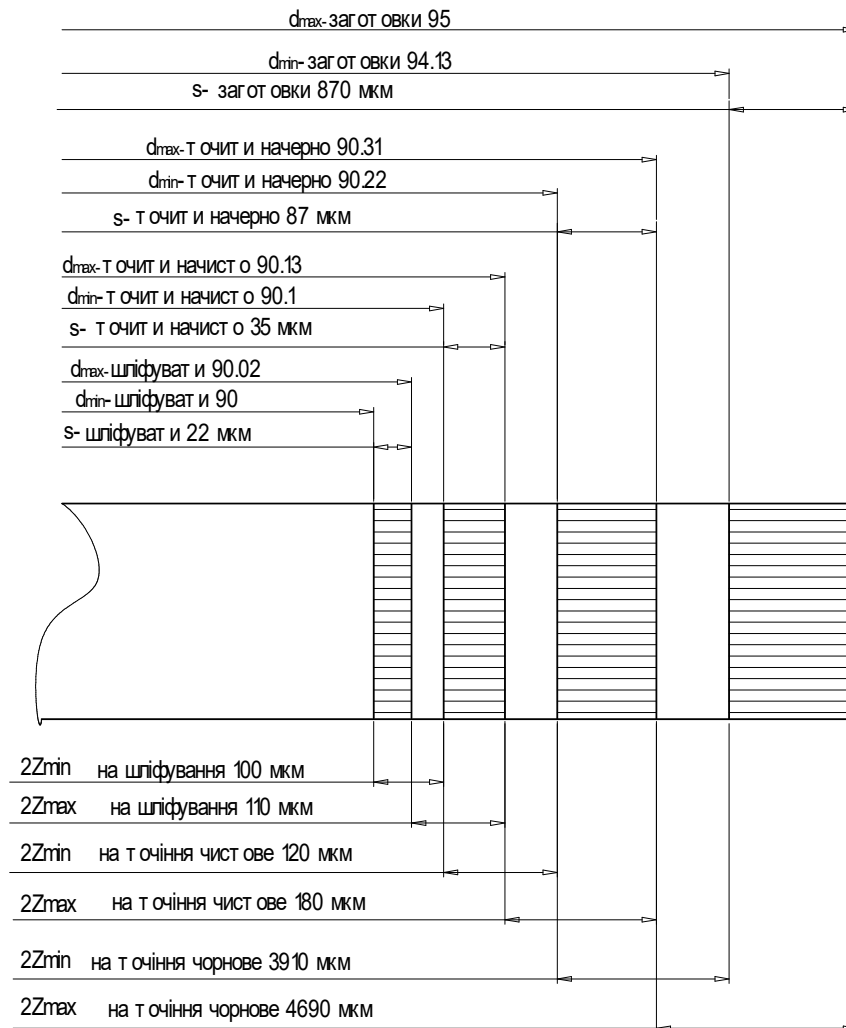


Рисунок 2.1 – Схема розташування припусків та допусків на обробку поверхні $\varnothing 90h7(^{+0,022})$.

Табличний метод призначення припусків

Призначені припуски наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Припуски і допуски на оброблювані поверхні деталі

Поверхня	Розмір деталі (заготовки),	Припуск, мм		Допуск, мм
		табличний	розрахункови	
Розмір 28	32	-	2,5×2	2,0

2.6 Розробка технологічних операцій механічної обробки

Проводимо вибір верстатів, інструменту різального, вимірювального та заносимо у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3- Вибір верстатів, інструменту різального, вимірювального для виготовлення деталі “Храповик” по операціям

№ операції	Назва і зміст операції	Верстат	Пристаюванн я	Інструмент	
				різальний	вимірю- вальний
1	2	3	4	5	6
005	<u>Токарна</u>	16K20	Трьох- кулачковий патрон	Різець підрізний з БТП, $\varphi = 45^\circ$ Свердло центрувальне $\varnothing 5$ мм, P6M5	Штанген- циркуль
010	<u>Токарно- фрезерна з ЧПК</u>	HAAS SL 30 L- ID16343	Трьох - кулачковий патрон	Різець прохідний з БТП, $\varphi = 93^\circ$ Фреза пальцева, 20 мм, P6M5	Штанген- циркуль, мікрометр

015	<u>Вертикально свердлувальна з ЧПК</u>	2P135Ф2	Спеціальний пристрій	Свердло центрувальне 3 мм, Р6М5 Свердло 6,2 мм, Р6М5	
020	<u>Фрезерна.</u>	6Т104	Спеціальний пристрій	Дискова фреза Ø80 мм, Р6М5	Штангенциркуль,
025	<u>Шліфувальна.</u>	3М153	Повідковий патрон	Шліфувальний круг 33А50С1 6-5К	Мікрометр

Проводимо розроблення маршруту обробки окремих поверхонь по операціях та заносимо у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Технологічний процес виготовлення деталі “Храповик” по операціям

№ Операції	Назва і зміст операції	Верстат
1	2	3
005	<u>Токарна</u> 1. Підрізка правого торця 2. Свердлування центового отвору 3. Підрізка лівого торця 4. Свердлування центового отвору	16К20
010	<u>Токарно-фрезерна з ЧПК</u> 1. Чорнова обробка по контуру поверхонь 2. Чорнова обробка поверхні 3. Чистова обробка по контуру поверхонь 4. Фрезерування 6-ти граної поверхні.	HAAS SL 30 L-ID16343
015	<u>Вертикально свердлувальна з ЧПК</u> 1. зацентрувати 3 отвори 2. Свердлити 3 отвори	2P135Ф2

020	<u>Фрезерна.</u> 1. Фрезерувати зубці 2. Фрезерувати скоси	6Т104
025	<u>Шліфувальна.</u> Шліфувати одноразово зовнішню поверхню	3М153

2.7 Призначення режимів різання

2.7.1 Аналітичним методом

Виконаємо розрахунок режимів різання для операції чистового точіння поверхні $\varnothing 90h7$.

Обробку ведемо на верстаті HAAS SL 30 L-ID16343.

Припуск на обробку 1 мм.

Різальний інструмент – прохідний різець з пластинами із твердого сплаву.

Січення державки різця 16×25 мм. Геометричні параметри різця: $\gamma = 8^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $r = 1,2$ мм., $\varphi = 60^\circ$, $\lambda = 0$, $\varphi_1 = 15^\circ$.

Назначаємо подачу $S = 0,08 \div 0,20 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ [6] – при чистовому точінні при вильоті різця $l = 20$ мм.

Приймаємо подачу $S = 0,1 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$.

Період стійкості різця $T = 50$ хв. [6].

Швидкість різання при токарній обробці визначається за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v; \quad (2.19)$$

де C_v , m , x , y – змінні параметри;

$$C_V = 270, m = 0,2, x = 0,15, y = 0,2 [6];$$

T – стійкість різця, $T = 50$ хв.

K_V – поправочний коефіцієнт

$$K_V = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv},$$

де K_{nv} – коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні деталі, $K_{nv} = 1$

[6].

K_{iv} – коефіцієнт, що враховує вплив інструмента,

$$K_{iv} = 2.5 [6],$$

K_{mv} – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки

$$K_{mv} = 1.7 [6],$$

$$V_p = \frac{270}{50^{0.2} \cdot 1^{0.15} \cdot 0,1^{0.22}} \cdot 1.7 \cdot 1 \cdot 2.5 = 70.88 \text{ м/хв.}$$

5. Частота обертання

$$n = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 70.88}{3,14 \cdot 90} = 279 \text{ об/хв.}$$

Дійсна швидкість різання: приймаємо розрахункову швидкість 70,88 м/хв.. та оберти 279 об/хв. у зв'язку з без ступеневим регулювання частоти обертання на верстаті HAAS SL 30 L-ID16343.

Силу різання прийнято розкласти на складові сили, які напрямлені по осях координат верстату (P_z, P_y і P_x).

При точінні ці складові розраховуються по залежності [6]:

$$P_{x,y,z} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p. \quad (2.20)$$

Коефіцієнти і показники степенів для складових сил різання знаходимо по [6]:

де C_p , x , y , n – зміні параметри,

$$C_p = 300, x = 1, y = 0,75, n = -0.15 [6],$$

K_p – поправочний коефіцієнт.

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp},$$

$$\text{де } K_{mp} = 0,75; K_{\phi p} = 1,0; K_{\gamma p} = 1,0; K_{\lambda p} = 1,0; K_{rp} = 1.0$$

Тоді :

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1^1 \cdot 0,1^{0,75} \cdot 70,88^{-0,15} \cdot 0,75 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 144,94 \text{ Н.}$$

Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{144,94 \cdot 70,88}{1020 \cdot 60} = 0,17 \text{ кВт.}$$

Проведемо перевірку достатності потужності приводу головного руху верстату необхідній потужності різання:

$$N_{\text{різ}} < N_{\text{ун}}$$

де $N_{\text{ун}} = N_o \cdot \eta$, $N_{\text{ун}} = 7,5$ кВт. – потужність електродвигуна приводу головного руху; $\eta = 0,85$ - коефіцієнт корисної дії механізму приводу верстату.

$$0,17 < (7,5 \cdot 0,85) = 6,35 \text{ кВт.}$$

З розрахунків видно, що потужність верстату достатня для обробки даної деталі.

Основний технологічний час на обробку визначається по формулі:

<u>005 Токарна</u>										
1) Підрізати лівий торець.	1	$\frac{18}{25}$	0,72	$\frac{60}{80}$	$\frac{0,406}{0,39}$	$\frac{1623}{1600}$	$\frac{180}{176}$	-	0,03	$\frac{1,61}{4}$
2) Свердлити центровий отвор.	2,5	$\frac{6}{8}$	0,75	$\frac{14,6}{18}$	$\frac{0,12}{0,12}$	$\frac{1270}{1250}$	$\frac{22}{19,6}$	-	0,06	$\frac{0,2}{4}$
3) Підрізати лівий торець.	1	$\frac{18}{25}$	0,72	$\frac{60}{80}$	$\frac{0,406}{0,39}$	$\frac{1623}{1600}$	$\frac{180}{176}$	-	0,03	$\frac{1,61}{4}$
4) Свердлити центровий отвор.	2,5	$\frac{6}{8}$	0,75	$\frac{14,6}{18}$	$\frac{0,12}{0,12}$	$\frac{1270}{1250}$	$\frac{22}{19,6}$	-	0,06	$\frac{0,2}{4}$

Закінчення таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<u>010 Токарна з ЧПК</u>										
1) Точити праву частину по контуру начорно.	3	$\frac{120}{140}$	0,86	$\frac{60}{80}$	$\frac{0,35}{0,35}$	$\frac{1500}{1500}$	$\frac{16493}{16493}$	-	0,8	$\frac{4,62}{10}$
2) Точити ліву частину по контуру начорно.	3	$\frac{56}{70}$	0,8	$\frac{60}{80}$	$\frac{0,35}{0,35}$	$\frac{1500}{1500}$	$\frac{16493}{16493}$	-	0,43	$\frac{4,62}{10}$
3) Точити ліву частину по контуру начисто.	0,5	$\frac{56}{70}$	0,8	$\frac{60}{80}$	$\frac{0,12}{0,1}$	$\frac{1051}{1051}$	$\frac{69,27}{69,27}$	-	0,56	$\frac{0,24}{10}$
4) Фрезерувати 6-ти грану поверхню	1,3	$\frac{15}{20}$	0,75	$\frac{53}{70}$	$\frac{1,5}{1,5}$	$\frac{991}{991}$	$\frac{98,69}{98,69}$	-	2,4	$\frac{0,4}{10}$
<u>015 Вертикально свердлувальна з ЧПК</u>	3,2	9	0,8	$\frac{60}{80}$	$\frac{0,12}{0,12}$	$\frac{1500}{1500}$	$\frac{22}{19,6}$	-	1,2	$\frac{0,2}{4}$
<u>020 Фрезерувальна</u>										
1) Фрезерувати зубці та скоси	14	$\frac{20}{25}$	0,8	$\frac{60}{60}$	$\frac{S_z,}{\text{мм/зуб}}$ $\frac{0,02}{0,02}$	$\frac{1000}{800}$	$\frac{10,1}{10,05}$	320	6,8	$\frac{0,6}{2,2}$
<u>025 Шліфувальна</u>										
1) Шліфувати розмір Ø90 мм, одноразово.	0,15	$\frac{14}{30}$	0,46	$\frac{614}{1000}$	$\frac{0,3081}{0,3081}$	$\frac{1500}{1500}$	35 м.ХВ	-	0,08	$\frac{4,62}{10}$

2.9 Нормування технологічного процесу

В серійному виробництві норма штучно-калькуляційного часу визначається за формулою [6]:

$$T_{\text{шт.к}} = \frac{T_{\text{п.з}}}{n} + T_{\text{оп.}}, \quad (2.22)$$

де $T_{\text{п.з}}$ - підготовчо-заклучний час, хв;

n - величина партії деталей, шт;

$$n = \frac{N \cdot t}{\Phi}, \quad (2.23)$$

де t - запас деталей на складі, $t = 10$ шт;

Φ - число робочих днів у році, $\Phi = 251$ дн,

$$n = \frac{10000 \cdot 10}{251} = 396, \text{ шт}$$

$T_{\text{шт.}}$ - штучний час на операцію, хв,

$$T_{\text{шт.}} = T_{\text{о.}} + T_{\text{доп.}} + T_{\text{обсл.}} + T_{\text{відп.}}, \quad (2.24)$$

де $T_{\text{о.}}$ - основний час, хв;

$T_{\text{доп.}}$ - допоміжний час, хв;

$T_{\text{обсл.}}$ - час на обслуговування робочого місця, хв;

$T_{\text{відп.}}$ - час на відпочинок та особисті потреби, хв,

$$T_{\text{доп.}} = T_{\text{у.з.}} + T_{\text{уп.}} + T_{\text{вим.}}, \quad (2.25)$$

де $T_{\text{у.з.}}$ - час на установку і зняття заготівки, хв;

$T_{\text{уп.}}$ - час на керування верстатом, хв;

$T_{\text{вим.}}$ - час на вимірювання, хв.

$$T_{\text{обсл.}} = \frac{P_{\text{ОБСЛ.}} \cdot T_{\text{ОП.}}}{100}, \quad (2.26)$$

де $P_{\text{обсл.}}$ – норма часу на обслуговування робочого місця, у відсотках від оперативного часу.

$$T_{\text{відп.}} = \frac{P_{\text{ВІДП.}} \cdot T_{\text{ОП.}}}{100}, \quad (2.27)$$

де $P_{\text{відп.}}$ - норма часу на відпочинок та особисті потреби робочого, у відсотках від оперативного часу.

$T_{\text{оп.}}$ - оперативний час, хв;

$$T_{\text{оп.}} = T_{\text{о.}} + T_{\text{доп.}} \quad (2.28)$$

Для прикладу пропонуємо операцію 025 кругло-шліфувальну.

Основний час на операцію, $T_{\text{о.}} = 0,08 + 0,08 + 0,1 = 0,26$ хв.

Допоміжний час на операцію:

- встановити і зняти заготівку:

для одноразового шліфування $T_{\text{ус.}} = 0,2$ хв. [6];

Допоміжний час на керування верстатом:

- включити та виключити верстат - 0,06 хв. [6];

- підвести та відвести інструмент - 0,05 хв. [6];

- час очікування зупинки шпінделя - 0,05 хв. [6];

- час на вимірювання - 0,33 хв. [6].

$$T_{\text{доп.}} = 0,2 + 0,06 \cdot 3 + 0,05 \cdot 3 + 0,05 \otimes 3 + 0,33 \otimes 3 = 1,67 \text{ хв.}$$

Визначаємо оперативний час:

$$T_{\text{оп.}} = 0,26 + 1,67 = 1,93 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування, а також час на відпочинок та особисті потреби беруться у відсотках від оперативного часу, $P_{\text{обсл.}} = 2,8 \%$, $P_{\text{відп.}} = 5 \%$ [6]:

$$T_{\text{обсл.}} = \frac{2,8 \cdot 1,93}{100} = 0,054 \text{ хв.},$$

$$T_{\text{відп.}} = \frac{6 \cdot 1,93}{100} = 0,116 \text{ хв.}$$

Підготовчо заключний час при роботі на верстаті, $T_{\text{підг.з.}} = 8 \text{ хв.}$

Тоді,

$$T_{\text{шт.к.}} = \frac{8}{10000} + 1,93 + 0,054 + 0,116 = 5,36.$$

На інші операції норму штучно-калькуляційного часу розраховуємо аналогічно і зводимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 Норми часу на операції для обробки деталі - Храповик.

Номер, назва операції, переходу, позиції	T _о , хв	T _{доп} , хв			T _{оп} , хв	П _{обс} , %	T _{відп} , хв.	T _{п-з} , хв	n, шт	T _{шт.к} , хв
		T _{ус}	T _{уп}	T _{вим.}						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<u>005 Токарна</u>										
1) Підрізати лівий торець	0,03	0,19	0,12	-	1,2	6,5	0,078	10	1000	7,8
2) Свердлувати центрувальний отвір	0,06	-	0,05	0,07						
3) Підрізати правий торець	0,03	0,19	0,12	0,16						
2) Свердлувати центрувальний отвір	0,06	-	0,05	0,07						
<u>010 Токарна з ЧПК.</u>									0	
1) Точити праву частину по контуру начорно.	0,8	0,23	0,16	-	5,1	8,1	0,41	14		13,3
2) Точити ліву частину по контуру начорно.	0,43	0,23	0,16	-						
3) Точити ліву частину по контуру начисто.	0,56	-	0,05	0,12						

4)Фрезерувати шестигранну поверхню	1,8	-	0,05	0,12						
015 Вертикально свердлувальна	0,9	0,23	0,16	-	1,29	3,2	0,2	15		3,3
<u>020 Фрезерна</u> 1) Фрезерувати зубці та скоси	6,8	0,05	0,16	0,24	3,25	3	0,033	10		10,28

2.10 Оформлення технологічної документації

У дипломній роботі для оформлення розроблених технологічних процесів використовуються різні типи технологічних документів загального і спеціального призначення згідно з ДСТУ АБ.4-4:2009. Ці документи включають маршрутну карту МК, операційну карту ОК та карту ескізів КЕ. Комплект документації наведено у додатках.

3 Конструкторський частина

3.1 Проектування верстатного пристрою для закріплення заготовки при свердлуванні отворів на верстаті з ЧПК

3.1.1 Вибір схеми базування та закріплення деталі

Схема базування для операції свердлування отворів має вигляд рис.3.1:

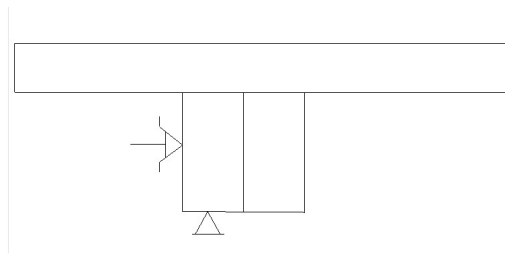


Рисунок 3.1 – Схема базування деталі Храповик

3.1.2 Вибір установочних елементів пристрою

При виборі компонентів, що встановлюються, враховуються загальні принципи розміщення заготовок. Установкові елементи повинні відповідати наступним вимогам:

- кількість та розташування елементів;
- орієнтація заготовки згідно прийнятої схеми позиціонування;
- необхідна стабільність у пристрої.

Для створення шестигранної поверхні в розроблюваному пристрої застосовуються торці кулачків.

3.1.3 Розрахунок точності обробки

Допустиму похибку пристрою визначаємо за формулою:

$$\varepsilon_{\text{доп}} = T_D - \kappa \cdot \omega, \quad (3.1)$$

де T_D – поле допуску на виконуваний розмір деталі, $T_D = 200$ мкм;

κ – поправочний коефіцієнт, $\kappa = 0,8$ [2];

ω – точність обробки на вибраному верстаті, $\omega = 80$ мкм, [11].

$$\varepsilon_{\text{доп}} = 200 - 0,8 \cdot 80 = 136 \text{ мкм.}$$

Похибку установки визначаємо за формулою:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}, \quad (3.2)$$

де ε_{δ} - похибка базування деталі, $\varepsilon_{\delta} = 0$ (базування у патроні);

ε_3 - похибка закріплення, $\varepsilon_3 = 0,01$ мм (затиск прихватом) [11];

$\varepsilon_{\text{пр}}$ - похибка пристрою:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{виг}}^2 + \varepsilon_{\text{зн}}^2 + \varepsilon_{\text{фікс}}^2}, \quad (3.3)$$

де $\varepsilon_{\text{виг}}$ - похибка виготовлення установочних елементів, $\varepsilon_{\text{виг}} = 0,01$ мм;

$\varepsilon_{\text{зн}}$ - похибка зношення установочних елементів, $\varepsilon_{\text{зн}} = 0,02$ мм;

$\varepsilon_{\text{фікс}}$ - похибка фіксації пристрою на столі верстата, $\varepsilon_{\text{фікс}} = 0,01$ мм.

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{0,01^2 + 0,02^2 + 0,01^2} = 0,025 \text{ мм.}$$

Тоді похибка встановлення заготовки

$$\varepsilon_y = \sqrt{0,01^2 + 0,025^2} = 0,027 \text{ мм.}$$

Умова $\varepsilon_{доп} \geq \varepsilon_y$ виконується. Тобто $0,136 > 0,027$. Точність обробки забезпечена.

3.1.4 Розрахунок сили закріплення деталі

Сила, яка утримує заготовку, визначається шляхом збалансування всіх сил, що діють на неї, згідно з рівнянням рівноваги.

Запишемо умову рівноваги заготовки:

$$P_z \left(l + \frac{d_{св}}{2} \right) k = 3W \cdot f \cdot \frac{D}{2}, \quad [12] \quad (3.4)$$

де D – діаметр деталі в точках затиску $D = 25$ мм;

$f = 0,16$ – коефіцієнт тертя; $K = 1,2$;

$l = 85$ мм – відстань від осі деталі до осі отвору;

Знайдемо силу різання з відомої потужності $N = 0,2$ кВт (див. табл. реж. різання):

$$P_z = \frac{N \cdot 1020 \cdot 60}{V} = \frac{0,2 \cdot 1020 \cdot 60}{35,8} = 342 \text{ Н}$$

Знайдемо силу затиску за формулою:

$$W = \frac{2P_z \left(l + \frac{d_{св}}{2} \right) k}{3 \cdot D \cdot f} = \frac{2 \cdot 342 \cdot (85 + 4,6) \cdot 1,5}{3 \cdot 25 \cdot 0,1} = 6809 \text{ Н}.$$

Сумарна сила затиску буде $W_{сум} = 20428$ Н

3.1.5 Розрахунок силового приводу пристрою

Пристрій - вертикальний трьохкулачковий патрон з гідравлічним приводом, а механізм передачі руху реалізований у формі важільної системи.

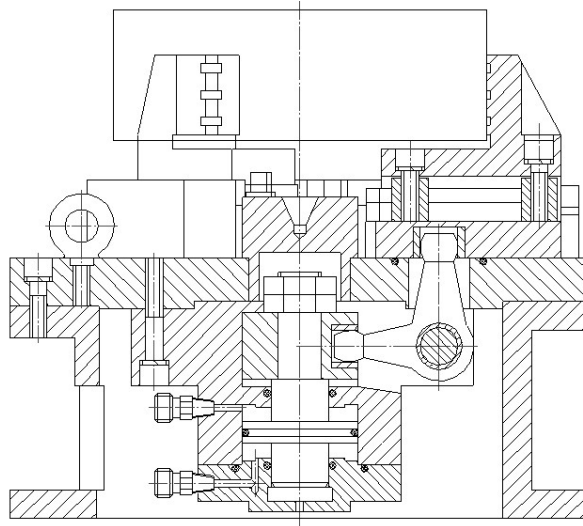


Рисунок 3.2 – Схема затискного механізму

Знайдемо силу, яка діє на вісі штока гідроциліндра Q з рівняння рівноваги важільної системи:

$$W_{\text{сум}} \cdot l_2 = Q \cdot l_1, \quad (3.5)$$

де $l_1 = 80$ мм, $l_2 = 80$ мм.

$$Q = \frac{W_{\text{сум}} \cdot l_2}{l_1 \cdot \eta} = \frac{20428 \cdot 80}{80 \cdot 0,98} = 20845 \text{ Н.}$$

Розрахуємо розміри дзеркала гідроциліндра з урахуванням того, що робоча порожнина має шток за формулою [12]:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot p \cdot \eta} + d^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 20845}{3,14 \cdot 7 \cdot 0,98} + 40^2} = 73,9 \text{ мм}, \quad (3.6)$$

де P тиск мастила у гідроциліндрі $P = 7$ МПа; діаметр штока приймаємо 40 мм.

З урахуванням того, що ми проектуємо пристрій для верстата з ЧПК, який також може обробляти інші деталі, ми приймаємо діаметр гідроциліндра $D = 80$ мм. Тоді ми визначимо фактичне зусилля затиску, яке може розвинути гідроциліндр, за допомогою певної формули. [12]:

$$Q = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)p \cdot \eta = \frac{3,14}{4}(80^2 - 40^2) \cdot 7 \cdot 0,98 = 30484 \text{ Н} \quad (3.7)$$

3.1.6 Розрахунок деталей пристрою на міцність

Проведемо розрахунок на міцність вісь, які встановлені під важелями. Навантаження, яке сприймає вісь у три рази менша, що діє на осі штока тобто зусилля, яке перерізує буде 10161 Н. Кількість площин зрізу металу буде $n = 2$.

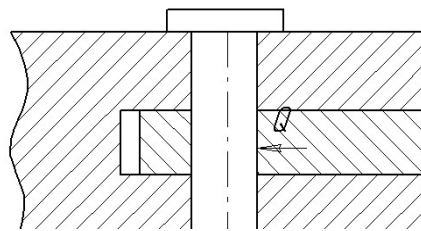


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема

Розрахунок ведемо за формулою [14]:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{n \cdot \pi \cdot [\tau]_{3P}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10161}{2 \cdot 3,14 \cdot 240}} = 5,1 \text{ мм} \quad (3.8)$$

$$\text{де } [\tau]_{зр} = 240 \text{ Н/мм}^2 \text{ [14].}$$

Згідно креслення прийнято діаметр осі 30 мм. Маємо запас міцності

$$K=30/5,1= 5,8 \text{ рази.}$$

3.1.7 Опис роботи пристрою

Початкове налаштування пристрою виконується шляхом перестановки кулачків за певним шаблоном для досягнення розміру 25 мм. Робочий хід кулачків становить 1,5 мм.

Деталь "Храповик" розміщується на поверхні шестигранника і желітся на упор кулачків торця. Після цього, шляхом повороту ручки золотника, стискається мастило, яке подається до робочої зони гідроциліндра. Шток рухається вниз та витягує важелі, які зводять кулачки, тим самим затискаючи заготовку. Після свердлування виконується розкріплення заготовки.

Технічні вимоги

- 1 Після встановлення кулачків розточити їх з одної установки, радіальне биття відносно пов. А не більше 0,04 мм;
- 2 Забезпечити вільне переміщення гайки поз. 11 без люфту;
- 3 Випробувати під тиском 11 МПа в проміжку 15 хв, витікання мастила не допускається;
- 4 Робочий тиск 7 МПа.

3.2. Розрахунок та проектування вимірювального інструменту для контролю пов. $25 k6 \begin{pmatrix} +0,015 \\ +0,002 \end{pmatrix}$.

Для здійснення контролю поверхні необхідно розробити спеціальний вимірювальний інструмент. Після цього проводяться розрахунки для визначення виконавчих розмірів та розташування деталі та калібру, а також встановлення необхідних допусків. Завершальним етапом є створення ілюстративної схеми, що демонструє взаємне розташування деталі та калібру з урахуванням допусків.

Для контролю розміру 25k6 розраховуємо калібр - скобу. Для цього використовуємо літературу [13].

Знаходимо граничні розміри валу за формулами:

$$\begin{aligned} l_{\max} &= d + es, \\ l_{\min} &= d + ei. \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$l_{\max} = 25 + 0,015 = 25,015 \text{ (мм)}.$$

$$l_{\min} = 25 + 0,002 = 25,002 \text{ (мм)}.$$

Для 6 квалітету і інтервалу розмірів більше від 20 до 30 мм знаходимо данні для визначення розмірів необхідних калібрів и контркалибрів:

$Z_1 = 0,0025$ мм – відхилення середини поля допуску на виготовлення прохідного калібру для вала відносно найбільшого граничного розміру виробу;

$Y_1 = 0,002$ мм – допустимий вихід розміру зношеного прохідного калібру для вала за границю поля допуску виробу;

$H_1 = 0,003$ мм – допуск на виготовлення калібрів для вала;

$H_p = 0,0012$ мм – допуск на виготовлення контрольного калібру для скоби.

Визначаємо розміри калібру-скоби:

1) найменший розмір прохідного нового калібру-скоби ПР визначаємо за формулою:

$$PP_{\min} = l_{\max} - Z_1 - H_1 / 2. \quad (3.10)$$

$$PP_{\min} = 25,015 - 0,0025 - 0,003 / 2 = 25,011 \text{ (мм)}.$$

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Стандарти відповідності верстатів Haas вимогам виробничої безпеки

Верстат Haas був розроблений таким чином, щоб працювати тільки при закритих дверцятах, при активному обладнанні системи безпеки та повному захисті робітника.

Верстати Haas відрізняються від інших верстатів механічними засобами безпеки, а також програмним забезпеченням виробничої безпеки, розробленими гарантування того, що дверцята верстата під час його експлуатації завжди залишаються закритими.

Практика показує, що деякі робітники можуть порушити Положення про запобіжне блокування. Це небезпечно, цього слід уникати за всяку ціну. Заходи безпеки Haas можуть захистити оператора тільки за умови серйозного підходу до їх дотримання.

Якщо функції безпеки верстата Haas були змінені або не працюють, слід звернутись до фірми та налаштувати початкове заводське компонування верстата.

Безпека верстата Haas настільки важливе питання, що плата за первинний контроль не стягується. Якщо фахівець з обслуговування Haas перебуває в рамках сервісного виклику, він безкоштовно проведе перевірку стану безпеки.

Усі верстати з ЧПК Haas мають маркування ETL, яке засвідчує, що вони відповідають електричному стандарту NFPA 79 для промислового обладнання та канадському еквіваленту CAN/CSA C22.2 №73. Маркуванням ETL і cETL відзначаються продукти, які успішно пройшли тестування Intertek Testing Services, що є альтернативою Underwriters Laboratories.

Intertek Testing Services (ITS) - це лабораторія, акредитована Національним інститутом стандартів і технологій. Крім того, Управління США з охорони праці та промислової гігієни (OSHA) присвоїло ITS статус Національно визнаної випробувальної лабораторії. ITS також акредитовано Канадською радою зі стандартів як Випробувальну організацію та Сертифікуючу організацію.

Продукція, що відповідає вимогам програми ITS, отримує право на розміщення реєстраційних знаків ETL і cETL.

ITS - Intertek Testing Services.

ETL - Electrical Testing Laboratory (приблизно з 1904 року), зараз ETL SEMKO, відділення Intertek Group.

NFPA - Національна асоціація протипожежного захисту.

NFPA 79 - Електротехнічний стандарт на промислове обладнання.

NIST - Національний інститут стандартів і технологій.

NRTL - Національно визнана випробувальна лабораторія.

Обладнання Haas відповідає вимогам стандартів OSHA і ANSI в частині конструкції, стандартів виготовлення, а також безпекових стандартів, перелічених нижче. Робота цього обладнання відповідає нижчепереліченим стандартам, тільки якщо користувач виконує вимоги до експлуатації, обслуговування та навчання персоналу.

- OSHA 1910.212 - Загальні вимоги для всього обладнання

- ANSI B11.5-1984 (R1994) Токарні верстати.

- ANSI B11.19-2003 Критерії ефективності для пристроїв захисту.

- ANSI B11.22-2002 Норми техніки безпеки для токарних багатоцільових верстатів і автоматичних токарних верстатів із числовим програмним керуванням

- ANSI B11.TR3-2000 Оцінка ризику та зниження ризику - Рекомендації для попередньої оцінки, визначення ступеня та зниження ризиків, пов'язаних із верстатами.

4.2 Попереджувальні таблички на верстатах Haas

На заводі-виробнику Haas на верстат встановлюються таблички, які швидко інформують про можливі фактори небезпеки. У разі пошкодження або зносу табличок, або якщо для позначення конкретного небезпечного місця необхідні


додаткові таблички, слід зв'язатись з дилерським центром компанії Haas та замовити їх.

Зняття або зміна попереджувальних табличок чи знаків категорично забороняється.

На попереджувальних табличках показані символи, які призначені для того, щоб швидко повідомити про тип інформації, яку вони містять:

- Жовтий трикутник - Описує фактор небезпеки.
- Червоне коло з косою лінією - Описує заборонену дію.
- Зелене коло - Описує рекомендовану дію.
- Чорне коло - Повідомляє інформацію про роботу оснащення або верстата.

Таблиці 4.1 - Попереджувальні таблички на верстатах Haas

Символ	Опис
Опис фактору безпеки	
	<p>Можливість затягування і захоплення між рухомими частинами, роздавлювання та розрізання.</p> <p>Усі частини тіла повинні перебувати на безпечній відстані від частин верстата під час їхнього руху або якщо їхній рух можливий.</p> <p>Переміщення можливе, поки увімкнено живлення і верстат не перебуває в стані [EMERGENCY STOP] (аварійної зупинки).</p> <p>Закріплюйте вільний одяг, волосся тощо.</p> <p>Пам'ятайте, що пристрої з автоматичним керуванням можуть почати рух у будь-який час</p>



Забороняється висувати пруток без опори за межі заднього кінця тягової труби. Пруток без опори може зігнутися, що призведе до биття в зоні біля верстата. Зігнутий пруток, що обертається, може спричинити важку травму або загибель.






Regen використовується приводом шпинделя для розсіювання надлишкової потужності, схильний до нагрівання.

Завжди будьте обережні, перебуваючи поблизу Regen.



На верстаті є компоненти під високою напругою, які можуть призвести до ураження електричним струмом.

Завжди будьте обережні, перебуваючи поблизу компонентів під високою напругою.

	<p>Під час виконання операцій механічного оброблення може утворюватися небезпечна стружка, пил або туман. Це відбувається під час різання матеріалів, МОР при металообробці та використовуваних ріжучих інструментів, швидкостей/подачі.</p> <p>Оператор верстата приймає рішення щодо використання засобів індивідуального захисту, таких як захисні окуляри або респіратор, а також системи уловлювання туману.</p> <p>На всіх моделях з огорожами є можливість підключення системи уловлювання туману. Завжди вивчайте зміст паспорта безпеки (SDS) матеріалів деталі, ріжучих інструментів і МОР.</p>
	<p>Завжди надійно затискайте оброблювані деталі в патроні або цанзі. Добре затягуйте кулачки патрона.</p>
	<p>Закріплюйте кінці вільного одягу, волосся, біжутерію тощо. Не використовуйте рукавички, працюючи поблизу обертових частин верстата. Можливе затягування у верстат, що призведе до тяжкої травми або загибелі.</p> <p>Автоматичне переміщення можливе, доки ввімкнено живлення і верстат не перебуває в стані [EMERGENCY STOP] (аварійної зупинки).</p>
<p>Опис забороненої дії</p>	

	<p>Забороняється проникати всередину огорожі верстата, якщо є можливість автоматичного переміщення верстата. Якщо необхідно проникнути всередину огорожі для виконання конкретних завдань, натисніть кнопку [EMERGENCY STOP] (аварійна зупинка) або вимкніть живлення верстата. Встановіть попереджувальну табличку на підвісний пульт керування, щоб проінформувати інший персонал про те, що всередині огорожі верстата перебувають люди, і що забороняється вмикати або використовувати верстат.</p>
	<p>Забороняється оброблення кераміки.</p>
	<p>Забороняється використання подовжувачів кулачків патрона. Забороняється висувати кулачки патрона за межі кулачкового патрона.</p>
	<p>Коли можливе автоматичне переміщення, тримайте руки і тіло на безпечній відстані від зони між задньою бабкою і затискним оснащенням.</p>
	<p>Забороняється використання чистої води як МОР. Це викличе іржавіння частин верстата. Завжди використовуйте концентрат МОР з інгібітором корозії, розбавлений водою.</p>
<p>Опис рекомендованої дії</p>	

	<p>Тримайте дверцята верстата зачиненими.</p>
	<p>Перебуваючи поблизу верстата, завжди використовуйте відкриті або закриті захисні окуляри.</p> <p>Частинки, що розлітаються, можуть пошкодити очі.</p> <p>Завжди використовуйте засоби захисту органів слуху, працюючи поблизу верстата.</p> <p>Шум верстата може перевищувати 70 дБА.</p>
	<p>Опануйте зміст інструкції оператора та інших інструкцій для верстата.</p>
	<p>Регулярно виконуйте змащування і технічне обслуговування патрона.</p> <p>Виконуйте інструкції виробника.</p>
<p>Інформація про роботу оснащення або верстата</p>	
	<p>Підтримуйте рекомендовану концентрацію МОР.</p> <p>"Бідна" суміш МОР (з концентрацією, нижчою за рекомендовану) не може ефективно запобігати утворенню іржі на частинах верстата.</p> <p>"Багата" суміш МОР (з концентрацією, вищою за рекомендовану) призводить до марної перевитрати концентрату МОР без будь-яких переваг порівняно з МОР рекомендованої концентрації.</p>

4.3 Межа безпеки шпинделя

Швидкість обертання токарного верстата відіграє вирішальну роль у визначенні безпеки процесу і чистоти поверхні обробленої деталі.

Збільшення швидкості обертання шпинделя понад певну межу може призвести до виникнення екстремальної відцентрової сили, що ставить під загрозу безпеку процесу.

Тому виробники фірми Haas, починаючи з версії програмного забезпечення 100.19.000.1100, в систему керування додали межу безпеки шпинделя (рис. 4.1).

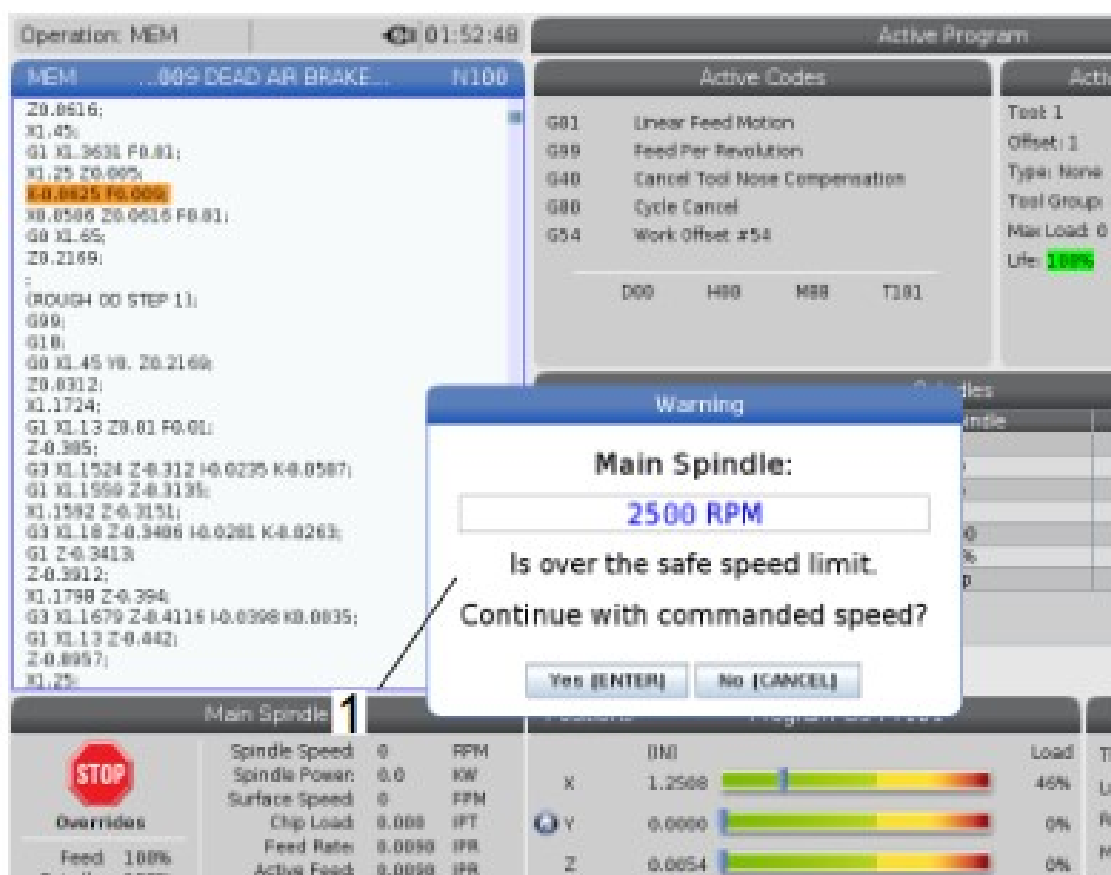


Рисунок 4.1 - Спливаюче вікно межі безпеки шпинделя

Ця функція відобразатиме попереджувальне повідомлення, коли натиснуто кнопку [FWD] або [REV], і попередня швидкість обертання шпинделя буде більшою за параметр максимальної швидкості шпинделя в ручному режимі. В такому випадку оператору необхідно натиснути [ENTER], щоб перейти до

попередньої заданої швидкості обертання шпинделя, або натиснути [CANCEL], щоб скасувати дію.

Таблиця 4.2 - Максимальні значення параметра максимальної швидкості шпинделя в ручному режимі

Тип верстата	Максимальна швидкість обертання шпинделя в ручному режимі
Фрезерні верстати	5000
Токарні верстати серії TL	1000
Токарні верстати серії ST-10 - ST-20	2000
Токарні верстати серії ST-30 – ST-35	1500
Токарні верстати серії ST-40	750
Привідний інструмент	2000

В Україні діють загальні вимоги безпеки під час оброблення металів різанням. Ці вимоги обґрунтовані у Правилах охорони праці під час холодного оброблення металів (НПАОП 0.00-1.68-13) та в розділі II Правил охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями (НПАОП 0.00-1.71-13).

Проведений аналіз виробничої безпеки показав, що верстати Haas спроектовані і виготовлені таким чином, щоб вони забезпечують усі специфічні вимоги безпеки та захисні заходи, перелічені в розділі II НПАОП 0.00-1.71-13.

5 ВИСНОВКИ

В дипломній роботі розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Храповик» із застосуванням сучасних верстатів з ЧПК моделі HAAS SL 30 L-ID16343 та 2P135Ф3. Виконано розрахунки: типу виробництва, собівартості заготовки, припусків, режимів різання, норм часу. На основі аналізу двох варіантів отримання заготовок прийнято рішення, що для даного типу виробництва найбільш економічним буде отримання заготовки куванням на ГKM.

В конструкторському розділі виконано розрахунки верстатного пристрою для свердлування. Для забезпечення операції контролю відповідальної поверхні деталі спроектовано калібр-скобу.

Розглянуто відповідність верстатів Haas вимогам виробничої безпеки

В додатках приведено технологічний процес виготовлення деталі «Храповик», специфікація та керуючу програму на верстат з ЧПК.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С. Проектування та виробництво заготовок. Підручник для студентів машинобудівних спеціальностей ВНЗ. / Під редакцією Коренькова В.М. Київ: НТУУ «КПІ», 2014 353 с., іл.
2. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів: Світ, 1996. 368 с.
3. Шабайкович В.А. Выбор оптимального технологического процесса механической обработки деталей машин. Львов, 1975. 25 с.
4. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А., Петраков Ю.В. Технологія машинобудування. Житомир: ЖДТУ, 2005. 882
5. Технологія машинобудування. Навчальний посібник / За ред. І. І. Юрчишина. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009 528 с.
6. Технологія машинобудування. Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт: Навчальний посібник / Юрчишин І.І. та ін. Видавництво НУ «Львівська політехніка». 2009. 528 с.
7. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 386 с.
8. Залога В. О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник / В. О. Залога, О. О. Залога, В. Д. Гончаров; за загальн. ред. В.О. Залого. Суми: Сумський державний університет, 2013. 371 с.
9. Данюк В. М., Абрамов В. М. Нормування праці. К.: ВІПОЛ, 1995. 465 с.
10. Кирилович В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ. / В. А. Кирилович, П. П. Мельничук, В. А. Яновський ; під заг. ред. В. А. Кириловича. Житомир : ЖІТІ, 2001. 600 с.

11. Гордєєв А. І., Урбанюк Є. А., Безносів А. Є., Мігаль В. Г. Курсове та дипломне проектування для технології машинобудування та металорізальних верстатів. Навчальний посібник, ХНУ, 2005, 300 с.
12. Гордєєв А. І. Урбанюк Є. А., Сілін Р. С. Збірник задач з проектування технологічного оснащення: Навчальний посібник. Хмельницький: ХНУ 2013. 159 с., іл.
13. Железна А. М., Кирилович В. А. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: Навчальний посібник. К.: Кондор, 2004. 796 с.
14. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання. Харків : НТУ «ХП», 2020. 275 с.
15. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, та ін. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. К.: Основа, 2006. 448 с.
16. Освітня програма бакалавра спеціальності 131 Прикладна механіка