

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ

Технологія виготовлення деталі «Шпindelъ 344.002» з використанням
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

Освітня програма «технології машинобудування»
Назва

Шифр ДП.ПМ.ФІТА.15.25.ПЗ

Виконав студент 3 курсу група ПМТс-22-2
Шифр

Керівник канд. техн. наук, доцент
Науковий ступінь, звання

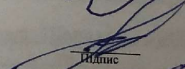
Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри технології машинобудування
Назва

Дата «16» 06 2025



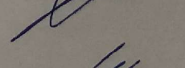
Володимир ПАСТЕРНАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ



Володимир МИЛЬКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ



Сергій БИШ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

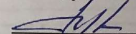


Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
 Кафедра технології машинобудування
 Рівень вищої освіти перший (бакалавр)
 Галузь знань 13 механічна інженерія Шифр і назва _____
 Спеціальність 131 прикладна механіка Шифр і назва _____
 Освітня програма «технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМ Віталій ТКАЧУК7 . 02 . 2025ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТПастернаку Володимир Володимировичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема дипломної роботи

Технологія виготовлення деталі «Шпindelъ 344.002» з використанням верстатів з ЧПКкерівник роботи Милько Володимир Володимирович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 лютого 2025 р. № 232 Строк подання студентом роботи на кафедру 15 червня 20253 Вихідні дані до проєкту (роботи) креслення деталі Шпindelъ 344.002, технічні вимоги до її виготовлення, обсяг випуску 0,15 тис.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Загальний розділ
2. Технологічний розділ
3. Конструкторський розділ
4. Охорона праці

5 Перелік графічних матеріалів: 1 Креслення деталі - лист А2; 2 Креслення заготовки - лист А2; 3. Карта наладки верстата - 1 лист А1; 4. Верстатний пристрій - 1 лист А1; 5. Лист графотехнології - лист А1; 6. Лист вибору режимів різання - А1; 7. Контрольний пристрій - лист А2.

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ ПО КАФЕДРИ ТЕХНОЛОГІЇ
МАШИНОБУДУВАННЯ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: «Технологія виготовлення деталі «Шпиндель 344.002» з використанням верстатів з ЧПК»

Автор: Пастернак Володимир Володимирович

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: Прикладна механіка

Науковий керівник: Милько В.В.

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Текст вважається оригінальним та не потребує додаткових дій щодо запобігання неправомірним запозиченням. Є співпадання із титульним листом, завданням, змістом, списком використаних джерел. Також є співпадання із технічними термінами при застосуванні стандартних методик розрахунків, що не є плагіатом. Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділі охорони праці, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту.	Рівень унікальності тексту високий

AP - 11%
К.ч - 13,47

Підтвердження:

завідувач кафедри

Віталій ТКАЧУК

гарант освітньої програми

Володимир МИЛЬКО

керівник кваліфікаційної роботи

Володимир МИЛЬКО

Дата

Підписи

Завідувачу кафедри
Технології машинобудування
Ткачуку В.П.
здобувача вищої освіти
студента Пастернака В.В.
факультету інженерії, транспорту та
архітектури, 4 курсу, гр. ПМТс-22-2

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на академічний плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та/або Anti-Plagiarism) і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

8.06.2025

дата

В.В. Пастернак

підпис

РЕЦЕНЗІЯ
на дипломну бакалаврську роботу Пастернака В.В. «Технологія
виготовлення деталі «Шпindelь 344.002» з використанням верстатів з
ЧПК»

Тема дипломної роботи Пастернака В.В. є інженерно обґрунтованою і актуальною для сучасного виробництва. Робота скерована на розроблення технології виготовлення деталі Шпindelь із застосуванням верстатів з ЧПК.

Автором в роботі вирішені наступні задачі: запропоновано новий технологічний процес виготовлення деталі Шпindelь, спроектовано пристрій для фрезерування шпонкових пазів та для забезпечення операції контролю спроектовано контрольно-вимірювальний пристрій.

Графічна частина виконана на доброму рівні. Креслення та пояснювальна записка відповідають вимогам ДСТУ.

В розділі охорони праці приведено основні причини нещасних випадків при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт.

Виходячи з результатів, які містяться в дипломній бакалаврській роботі та виконанні її на високому технічному рівні, робота рекомендується до захисту та заслуговує оцінки добре, а здобувач Пастернак В.В. заслуговує присудження ступеня бакалавра за спеціальністю 131 - Прикладна механіка.

Професор кафедри «Трибології
автомобілів та матеріалознавства»

Хмельницького національного

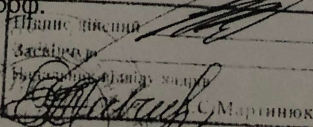
університету д.т.н., проф.

Диха О.В.

Підпис Дихи О.В.

Засвідчую

Начальник відділу кадрів ХНУ



№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1			Документація загальна		
2					
3					
4	A4	ДРБ.ПМТ.ФІТА.25.00.00.ПЗ	Розрахунково-пояснювальна записка	64	
5	A2	ДРБ.ПМТ.ФІТА.25.01.00.02	Креслення заготовки	1	
6	A2	ДРБ.ПМТ.ФІТА.25.01.00.01	Креслення деталі	1	
7	A1	ДРБ.ПМТ.ФІТА.25.02.00.04	Карта наладки	1	
8	A1	ДРБ.ПМТ.ФІТА.25.02.00.03	Графотехнологія	1	
9	A1	ДРБ.ПМТ.ФІТА.25.02.00.05	Вибір режимів різання	1	
10	A1	ДРБ.ПМТ.ФІТА.25.03.00.01СК	Пристрій для свердлування	1	
11	A2	ДРБ.ПМТ.ФІТА.25.03.00.02	Пристрій для контролю	1	
12	A4		Завдання на ДП	1	
13	A4		Реферат	1	

					ДРБ.ПМТ.ФІТА.25.00.00.ПЗ		
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив.		Пастернак			Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Милько				3	
Н. Контр.		Бись			ХНУ-ПМТс-22-2		
Затвердив		Ткачук					
Відомість роботи							

ЗМІСТ

	Вступ.....	7
1	Загальний розділ	8
1.1	Стан питання та визначення задач дипломного проектування.....	8
1.2	Аналіз об'єкту виробництва. Призначення та конструкція деталі.....	9
1.3.	Аналіз технологічності конструкції деталі.....	10
1.4	Визначення типу і організаційної форми виробництва...	13
1.5	Технічні вимоги, методи їх забезпечення.....	15
1.6	Шляхи вдосконалення технологічного процесу оброблення деталі шпиндель.....	15
2	Технологічний розділ	18
2.1	Вибір заготовки і обґрунтування методу її отримання....	18
2.2	Вибір технологічних баз.....	19
2.3	Вибір варіанта технологічного маршруту.....	19
2.4	Розрахунок припусків.....	20
2.4.1	Аналітичний розрахунок припуску на поверхню Ø 80h7.....	20
2.4.2	Табличний метод.....	23
2.5	Розробка технологічних операцій механічної обробки.....	24
2.6	Призначення режимів різання.....	26
2.6.1	Аналітичним методом.....	36
2.6.2	Табличний вибір режимів різання	29
2.7	Технічне нормування операцій технологічного процесу.....	34
2.8	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.....	40
3.1.6	Розрахунок деталей пристрою на міцність.....	42
3.1.7	Опис роботи пристрою.....	43
3.2	Проектування контрольного пристрою.....	44
3.2.1	Технічні умови та вимоги креслення, що підлягають контролю	44
3.2.2	Розрахунок розмірів калібру скоби.....	44
4	Охорона праці	47
5	Висновки.....	51
6	Список використаних джерел.....	52
	Додатки.....	

ВСТУП

«Уряд України поставив задачу подальшого вдосконалення системи вищої освіти, її реформування згідно із необхідністю підготовки висококваліфікованих фахівців міжнародного рівня у відповідності до сучасного розвитку науки і техніки, культури та економіки.

Для вирішення цієї задачі в підготовці фахівців слід використовувати найсучасніші методи навчання, навчити їх сучасними методами обробки на прогресивному устаткуванні, розробки підтверджувати обробкою інформації на ЕОМ.

Майбутнє України, як розвинутої держави пов'язане з розвитком машинобудівного комплексу, для діяльності якого необхідно сучасне устаткування. Продукція машинобудування буде конкуренто-спроможною, якщо вона буде дешевою і її номенклатура буде змінюватись у відповідності до потреб ринку.

Сучасне виробництво потребує застосування заготовок з високим коефіцієнтом використання матеріалу, високоефективних інструментальних матеріалів, проведення конструкторських та технологічних розрахунків на ЕОМ.

Успішне вирішення проблем машинобудування пов'язане з підготовкою виробництва, що містить у собі комплекс техніко-економічних, технологічних, організаційних та інших заходів. Складовими виробництва є розробка і впровадження оптимальних технологічних процесів виготовлення машин» [2].

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Стан питання та визначення задач дипломного проектування

«Дипломна бакалаврська робота відповідно до загальноосвітньої програми підготовки бакалаврів за Галуззю знань – 13 Механічна інженерія, Спеціальністю – 131 Прикладна механіка являє собою самостійну та логічно завершену роботу на здобуття ступеня бакалавра, галузі технології машинобудування. Для якісного виконання випускної кваліфікаційної роботи претендент ступеня бакалавра в процесі навчання за програмою має освоїти такі компетенції, які закріплюються під час виконання ним випускної кваліфікаційної роботи :

- здатність до саморозвитку, підвищення своєї кваліфікації та майстерності;
- здатність освоювати на практиці та вдосконалювати технології, системи та засоби машинобудівних виробництв;
- здатність брати участь у розробці та впровадженні оптимальних технологій виготовлення машинобудівних виробів;
- здатністю виконувати заходи щодо ефективного використання матеріалів, обладнання, інструментів, технологічного оснащення, засобів автоматизації, алгоритмів та програм вибору та розрахунків параметрів технологічних процесів;
- здатністю вибирати матеріали та обладнання, та інші засоби технологічного оснащення та автоматизації для реалізації виробничих та технологічних процесів;
- здатністю виконувати роботу з визначення відповідності продукції, що випускається вимогам регламентуючої документації;

- здатністю виконувати роботи з доведення та освоєння технологічних процесів, засобів та систем технологічного оснащення, автоматизації машинобудівних виробництв, управління, контролю, діагностики в ході підготовки виробництва нової продукції, оцінки їх інноваційного потенціалу;
- здатність розробляти плани, програми та методики, інші документи, що входять до складу конструкторської, технологічної та експлуатаційної документації.

Основні завдання при виконанні дипломної роботи бакалавра:

- запропонувати вдосконалений технологічний процес оброблення деталі із застосуванням сучасного обладнання – верстатів з ЧПК;
- провести раціональний вибір методу отримання заготовки;
- провести розрахунки та вибір припусків;
- розрахувати та вибрати різальний інструмент і режими різання;
- провести нормування технологічних операцій механічної обробки;
- спроектувати та провести розрахунки верстатного та контрольного пристрою;
- виконати необхідні графічні матеріали та оформити технологічну документацію;
- навести з точки зору охорони праці необхідні вимоги до безпечної роботи при виконанні технологічного процесу, протипожежної безпеки, безпечним умовам роботи машинобудівного комплексу» [14].

1.2 Аналіз об'єкту виробництва. Призначення та конструкція деталі

Деталь «Шпindel 344.002» шліфувальної бабки призначений для передачі обертального руху у шліфувальній бабки до шліфувального круга. Даний шпindel встановлюється у підшипникові опори круглошліфувального верстата моделі ЗБ151.

Вал має дві опорні шийки $\varnothing 80f8$, які призначені для встановлення підшипників ковзання.

Ліва конусна поверхня призначена для встановлення шківів пасової передачі. Права конусна поверхня призначена для встановлення оправки з шліфувальним кругом.

Дві канавки $b=7,6$ мм та канавка $b=2$ мм технологічні і призначені для виходу ріжучого інструменту.

Центрові отвори використовуються у якості основних технологічних баз.

1.3 Аналіз технологічності деталі

Згідно робочого креслення можна сказати про наявність всіх даних для виготовлення деталі, що вимагає ДСТУ БА. 4-4:2009 «Загальні вимоги до робочих креслень».

1. Вибір матеріалу на деталь.

Матеріал деталі – конструкційна хромована сталь 40Х ДСТУ 7809:2015

Зварюваність сталі низька, обробляємість тиском та різанням задовільна.

Тип виробництва визначаємо за масою деталі $m_d = 30,14$ кг та річним обсягом випуску деталей $N = 150$ шт.

1. Якісний аналіз

Деталь «Шпindel 344.002» відноситься до класу довгих циліндричних деталей і вона в основному утворена поверхнями простої форми. З точки зору номенклатури поверхонь, виконана циліндричними поверхнями та містить шпонкові пази. В цілому деталь є дуже проста і не вимагає ніяких складних пристроїв чи верстатів для її виготовлення.

При обробці на токарному верстаті для збільшення точності обробки і зменшення похибок розташування форми поверхонь, використовується

зовнішня поверхня. Досягнення вказаних розмірів можливо без використання спеціальних методів обробки.

Конструкція деталі дозволяє оброблювати її прохідними різцями. Деталь жорстка, так як виконується умова

$$\frac{L}{d_{cp}} \leq 12, \quad (1.1)$$

де L – довжина деталі, мм;

d_{cp} – середній діаметр деталі, мм.

$$d_{cp} = \frac{l_1 \cdot d_1 + l_2 \cdot d_2 + l_3 \cdot d_3}{L} = \frac{20 \cdot 30 + 28 \cdot 114 + 35 \cdot 328 + 27 \cdot 30}{508} = 28_{мм} \quad (1.2)$$

умова співвідношення (2.1) виконується.

Так як деталь нежорстка, то існує потреба у додаткових опорах при обробці. Деталь має зручні для базування поверхні. Закритих та важкообробляємих поверхонь немає. Діаметральні розміри зменшуються до торців деталі, що дозволяє проводити обробку високопродуктивними методами "на прохід".

На підставі проведеного аналізу технологічності деталі можна зробити висновок що деталь технологічна.

Характеристика хімічного складу та механічних властивостей сталі 40Х ДСТУ 7806 наведено у табл. 1.1 та табл. 1.2.

Таблиця 1.1. – Хімічний склад сталі 40Х ДСТУ 7806

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	N	Fe
0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	≤ 0,30	≤ 0,035	≤ 0,035	0,80-1,10	≤ 0,30	≤ 0,08	-96

Таблиця 1.2. - Механічні властивості сталі 40Х ДСТУ 7806

Режим термічної обробки зразків				Механічні властивості, не менше				
Температура загартування, °С	Середовище охолодження	Температура відпуску, °С	Середовище охолодження	Межа плинності, Н/мм ²	Тимчасовий спротив, Н/мм ²	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %	Ударна в'язкість КСУ, Дж/см ²
860	Масло	500	Вода або масло	785	980	10	45	59

2 «Кількісний аналіз.

Коефіцієнт точності.

$$K_{TЧ} = 1 - \frac{1}{T_{CP}}, \quad (1.3)$$

$$T_{CP} = \frac{\sum T \cdot n_I}{\sum n_I} = \frac{4 \times 14 + 5 \times 12 + 7 \times 9 + 3 \times 7}{19} = 10,11.$$

де T – клас точності обробки;

n_I – кількість розмірів відповідного класу точності.

$$K_{TЧ} = 1 - \frac{1}{10,11} = 0,9.$$

Деталь згідно коефіцієнту точності є досить технологічною, так $K_{TЧ} \approx 1$.

Відповідність коефіцієнту шорсткості.

$$K_{Ш} = \frac{1}{Ш_{CP}}, \quad (1.4)$$

$$Ш_{CP} = \frac{\sum Ш \cdot n_{IM}}{\sum n_{IM}} = \frac{4 \times 6,3 + 5 \times 6,3 + 7 \times 1,6 + 3 \times 1,6}{19} = 3,83 \text{ мкм.}$$

де Ш – клас шорсткості поверхні;

n_I – кількість поверхонь відповідного класу шорсткості.

$$K_{Ш} = \frac{1}{3,83} = 0,26.$$

Так як $K_{ш}$ досить низький то можна стверджувати, що деталь по $K_{ш}$ є технологічна» [3].

1.4 Визначення типу і організаційної форми виробництва

«Визначення типу виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о.}$:

$$K_{з.о.} = \frac{O}{P}, \quad (1.5)$$

де O -кількість операцій;

P - кількість робочих місць з різноманітними операціями»[3].

Штучний калькуляційний час на кожену операцію визначаємо за формулами.

1.Токарна

При обробці діаметру

$$T_{шт-к} = 0,17dl \cdot 10^{-3},$$

де d - діаметр;

l - довжина обробки.

$$T_{шт-к} = 0,17dl \cdot 10^{-3} = 0,17 \cdot 27 \cdot 472 \cdot 10^{-3} = 2,166хв.$$

На обробку фасок: $T_{шт-к} = 0,018хв.$

$$T_{шт-к} = 2,166 + 0,018 = 2,184хв.$$

2.Фрезерна

Фрезерування шпонкових пазів

$$T_1 = 9 \cdot l \cdot 10^{-3} = 9 \cdot 41 \cdot 10^{-3} = 0,369хв.$$

$$T_2 = 9 \cdot l \cdot 10^{-3} = 9 \cdot 68 \cdot 10^{-3} = 0,612хв.$$

$$T_{шт-к} = 1,51 \cdot (0,369 + 0,612) = 1,48хв.$$

4. Фрезерно-центрувальна

$$T_1 = 0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 6 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0,078 \text{ хв.}$$

$$T_2 = 0,078 \text{ хв.}$$

$$T_3 = 0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 5 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = 0,065 \text{ хв.}$$

$$T_4 = 0,52 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,52 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0,012 \text{ хв.}$$

$$T_5 = 0,012 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{ум-к}} = 1,3 \cdot (0,078 + 0,078 + 0,065 + 0,012 + 0,012) = 0,318 \text{ хв.}$$

5. Круглошліфувальна

$$T_1 = 0,15 \cdot d \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,15 \cdot 25 \cdot 130 \cdot 10^{-3} = 0,488 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{ум-к}} = 1,36 \cdot 0,488 = 0,664 \text{ хв.}$$

Визначення типу виробництва проводимо за формулою:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{129,94}{7} = 18,56. \text{»[3].}$$

Оскільки $10 < K_{з.о.} < 20$, то тип виробництва середньо-серійний з поточною формою організації робіт, тобто технологічне оснащення розташовується послідовно до операцій і робочих місць.

1.5 Технічні вимоги, методи їх забезпечення та контролю

Основні елементи деталі «Шпindel 344.002» позначені на рис. 1.1 та їх характеристики занесені в таблицю 1.3.

Таблиця 2.1 – Технічні вимоги, методи їх забезпечення і контролю

Зміст вимоги	Методи забезпечення	Методи контролю
Ø80h7, Ø80f8, конус при $R_a=1,6$ мкм	Точіння чорнове, точіння напівчистове, шліфування попереднє, шліфування чистове	Штангенциркуль ШЦ-I-350-0,1 Мікрометр гладкий типу МК Набір мір шорсткості
Різьбова поверхня М36×3-8g	Точіння, нарізання різьби	Мікрометр з різьбовими вставками
Допуск радіального биття поверхонь Ø80h7, Ø80f8, конус відносно базової вісі $J - 0,01$ мм	Шліфування з використанням єдиних технологічних баз – центрових отворів	На контрольних центрах за допомогою індикатора

1.6 Шляхи вдосконалення технологічного процесу оброблення деталі корпус

Для обробки деталі «Шпindel 344.002» запропоновано використовувати метод концентрації операцій, який заключається у виконанні максимально-можливої кількості переходів за один установ заготовки.

Забезпечення виконання даного принципу здійснюється при використанні верстатів з ЧПК, а саме верстат з ЧПК 16K30Ф325.



Рисунок 1.1. Загальний вигляд верстата 16К30Ф325

Технічна характеристика верстата 16К30Ф325

Найменування параметра	Величина параметра
Основні параметри верстата	
Клас точності верстата	П
Позначення системи ЧПУ	НЦ-31
Найбільший діаметр оброблюваного виробу над станиною, мм	630
Найбільший діаметр оброблюваного виробу над супортом, мм	320
Найбільша довжина оброблюваного виробу, мм	1400
Шпиндель	
Потужність двигуна головного руху, кВт	22
Діаметр отвору в шпинделі, мм	71
Найбільший діаметр прутка, що проходить через отвір в шпинделі, мм	70
Кількість швидкостей шпинделя (загальний/ за програмою)	24/ 12
Межі обертів шпинделя, об/хв	6,3...1600
Центр шпинделя	
Кінець шпинделя	11М
Найбільший крутний момент на шпинделі, кгс*м	340
Супорт	
Найбільше переміщення супорта: поздовжнє/ поперечний, мм	1200/ 300
Висота різця, встановлюваного в різцетримачі, мм	32
Кількість інструментів, що встановлюються в різцетримач, мм	4, 8
Максимальна швидкість повздовжньої подачі при нарізуванні різьби, мм/хв	2400
Найбільша величина подачі в режимі автоматичного управління, мм/хв	2400
Розміри нарізання метричних різьб, мм	0,01...20,47
Діапазон швидкостей подач (поздовжніх і поперечних), мм/хв	0,01...20,47

Швидкість швидких ходів (поздовжніх/ поперечних), мм/хв	6000/ 5000
Дискретність переміщення (поздовжнього/ поперечного, мм	0,05/ 0,01
Найбільша швидкість в режимі ручного управління, мм/об	1,5
Найбільше зусилля подачі (поздовжнє/ поперечний), кН	15/ 5
Задня бабка	
Центр шпинделя задньої бабки	Морзе 6
Найбільше переміщення пінолі, мм	240
Найбільше переміщення пінолі від гідроциліндра, мм	100
Параметри систем ЧПУ	
Позначення системи ЧПУ	НЦ-31
Кількість керованих координат (всього/ одночасно	2/ 2
Тип датчика нульового положення	
Тип датчика зворотного зв'язку	Фотоімпульсні
Електроустаткування та приводи верстата	
Електромережа	380/220 В, 50 Гц
Кількість електродвигунів на верстаті	6
Електродвигун головного приводу, кВт/об/хв	22/ 1460
Електродвигун приводів подач, кВт/об/хв.	2,8/ 500
Електродвигун різцетримки, кВт/об/хв	0,5/ 1415
Електродвигун станції мастила, кВт/об/хв	0,12/ 2800
Електродвигун насоса охолодження, кВт/об/хв.	1,5/ 1440
Сумарна потужність електродвигунів, кВт	
Сумарна потужність верстата, кВт	
Габарити і маса верстата	
	5290
Габарити верстата, (довжина x ширина x висота), мм	3470
	2105
Маса верстата з ЧПУ, кг	7800

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір заготовки і обґрунтування методу її отримання

Враховуючи матеріал деталі, її форму, розміри та тип виробництва (середньо-серійний), виготовлення заготовки порізкою з круглого сортового прокату являється єдиним раціональним методом отримання заготовки.

Визначаємо розрахунковий діаметр прокату. За основу розрахунків приймаємо найбільший діаметр 80 мм.

Розрахунковий діаметр d_p , мм, визначаємо за формулою

$$d_{пр.} = d_n + 2 \cdot z, \quad (2.1)$$

де d_n - номінальний діаметр, мм;

$2 \cdot z$ - припуск на обробку, мм.

$$d_n = 80 \text{ мм}$$

$$2 \cdot z = 7,0 \text{ мм}$$

$$d_p = 80 + 7,0 = 87 \text{ мм}$$

Приймаємо сталь гарячекатану круглу, звичайної точності прокатки В, діаметром 87 мм, марки 40Х, підгрупа «б», без термічної обробки.

Граничні відхилення для діаметру $87_{-1.1}^{+0.5}$ мм.

Припуск на підрізку торцевих поверхонь

$$2 \cdot z_t = 2 \cdot 3,0 = 6,0 \text{ мм}$$

Довжина заготовки

$$L = 874 + 6,0 = 880 \text{ мм}$$

Креслення деталі та заготовки приведені у графічній частині дипломного проекту.

2.2 Вибір технологічних баз

На першій операції оброблення торців та центрових отворів за базову поверхню приймаємо необроблену поверхню прокату. На токарних операціях та круглошліфувальних за бази приймаємо зовнішню поверхню заготовки та торець з використання центрових отворів.

При фрезерній обробці шпонкових пазів при установленні за базу використовується зовнішня циліндрична поверхня та торець. При фрезеруванні використовується правило 6-ти ступенів вільності. Чотири ступеня бере на себе база установча - призми, один ступень – упорна база, а одна ступінь ліквідується за допомогою сил тертя при закріпленні заготовки.

2.3 Вибір варіанта технологічного маршруту

Вибираємо технологічний маршрут виготовлення деталі «Шпindelь 344.002» з урахуванням застосування верстатів з ЧПК .

Таблиця 2.1 – Технологічний маршрут виготовлення деталі «Шпindelь 344.002»

№ оп	Найменування, короткий зміст операції, технологічні бази	Верстат
000	Заготівельна	Відрізний
005	Фрезерно - центрувальна	МР-73М
010	Токарна з ЧПУ	16К30Ф325
015	Токарна з ЧПУ	16К30Ф325
020	Горизонтально фрезерна	6Т82Г
025	Круглошліфувальна	3Б151
030	Круглошліфувальна	3Б151
040	Контрольна	Стіл ВТК

2.4 Розрахунок припусків

2.4.1 Аналітичний розрахунок припуску на поверхню $\varnothing 80h7^{-0,025}$

Проведемо аналітичний розрахунок припусків на обробку $\varnothing 80h7^{-0,025}$

Технологічний маршрут обробки поверхні $\varnothing 80h7$ складається з:

- обточування чорнового;
- обточування чистового;
- шліфування.

Для кожного переходу вибираємо параметри поверхні по [3]:

$$Rz = 63; \quad h = 60; \quad T = 620;$$

$$Rz = 32; \quad h = 30; \quad T = 160;$$

$$Rz = 12,5; \quad h = 20; \quad T = 25.$$

Так, як обробка ведеться в центрах, похибка установки в радіальному напрямку рівна нулю, що має значення для розміру який розраховуємо.

Сумарне відхилення:

$$\rho_z = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_y^2},$$

$$\rho_{кор} = \Delta k \cdot \lambda = 1,0 \cdot 171 = 171 \text{ мкм},$$

$$\Delta k = 1,0 \text{ [3];}$$

$$\rho_y = 0,25\sqrt{T^2 + 1},$$

$$\rho_y = 0,25\sqrt{1600^2 + 1} = 400 \text{ мкм};$$

$$\rho_z = \sqrt{400^2 + 171^2} = 435 \text{ мкм}.$$

Кінцеве просторове відхилення після:

- чорнового обточування

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 435 \approx 26 \text{ мкм};$$

- чистового обточування

$$\rho_2 = 0,05 \cdot 435 \approx 21 \text{ мкм};$$

- шліфування

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 435 \approx 17 \text{ мкм}.$$

Розрахунок мінімальних значень припусків проводимо, користуючись основною формулою:

$$2z_{\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}).$$

Мінімальний припуск під:

- чорнове обточування

$$2z_{\min 1} = 2 \cdot (200 + 300 + 435) = 2 \cdot 935 \text{ мкм};$$

- чистове обточування

$$2z_{\min 2} = 2 \cdot (63 + 60 + 26) = 2 \cdot 149 \text{ мкм};$$

- шліфування

$$2z_{\min 3} = 2 \cdot (32 + 30 + 22) = 2 \cdot 84 \text{ мкм}.$$

Розрахунковий розмір:

$$d_{\max 3} = 79,975 + 0,025 = 80 \text{ мм};$$

$$d_{\max 2} = 79,455 + 0,62 = 80,31 \text{ мм};$$

$$d_{\max 1} = 79,45 + 0,62 = 81,07 \text{ мм};$$

$$d_{\max \text{ заг}} = 82,32 + 1,6 = 83,92 \text{ мм}.$$

Граничні значення припусків:

$$2Z_{\min 3} = 80,15 - 79,975 = 0,175 \text{ мм};$$

$$2Z_{\min 2} = 80,45 - 80,15 = 0,30 \text{ мм};$$

$$2Z_{\min 1} = 82,32 - 60,45 = 1,870 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max 3} = 80,31 - 80,0 = 0,31 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max 2} = 81,07 - 80,31 = 0,76 \text{ мм};$$

$$2Z_{\max 1} = 83,92 - 81,07 = 2,85 \text{ мм}.$$

Всі результати розрахунків зведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 40h7$	Елементи припуску, мкм			Розр. прип. $2z_{\min}$, мкм	Розр. розмір, мм	Допуск, мкм	Кінцеві розміри, мм		Кінцеві припуски, мкм	
	Rz_i	h_{i-1}	ρ_{i-1}				d_{\min}	d_{\max}	$2z_{\min}$	$2z_{\max}$
Заготівка	200	300	435	-	42,32	1600	82,32	83,92	-	-
Обточування чорнове	63	60	26	2·935	40,45	620	80,45	81,07	1870	2850
Обточування чистове	32	30	22	2·149	40,15	160	80,15	80,31	300	760
Шліфування	12,5	20	17	2·83	39,975	25	79,975	80	175	310
									2345	3920

На основі даних розрахунків будемо схему графічного розміщення припусків по обробці поверхні $\varnothing 80h7^{-0,025}$.

Загальні припуски z_{\min} і z_{\max} визначаємо шляхом додавання проміжних припусків і записуємо їх внизу відповідних граф.

$$z_{\min} = 1870 + 300 + 175 = 2345 \text{ мкм};$$

$$z_{\max} = 2850 + 760 + 310 = 3920 \text{ мкм}.$$

Перевірка

$$\sum 2z_{\max} - \sum 2z_{\min} = Td_{\text{зам}} - Td_{\text{з}}, \quad (2.2)$$

$$3920 - 2345 = 1600 - 25$$

Умова виконується, розрахунки виконані вірно.

Схема припусків на обробку $\varnothing 80h7^{-0,025}$ представлена на рис 2.6.

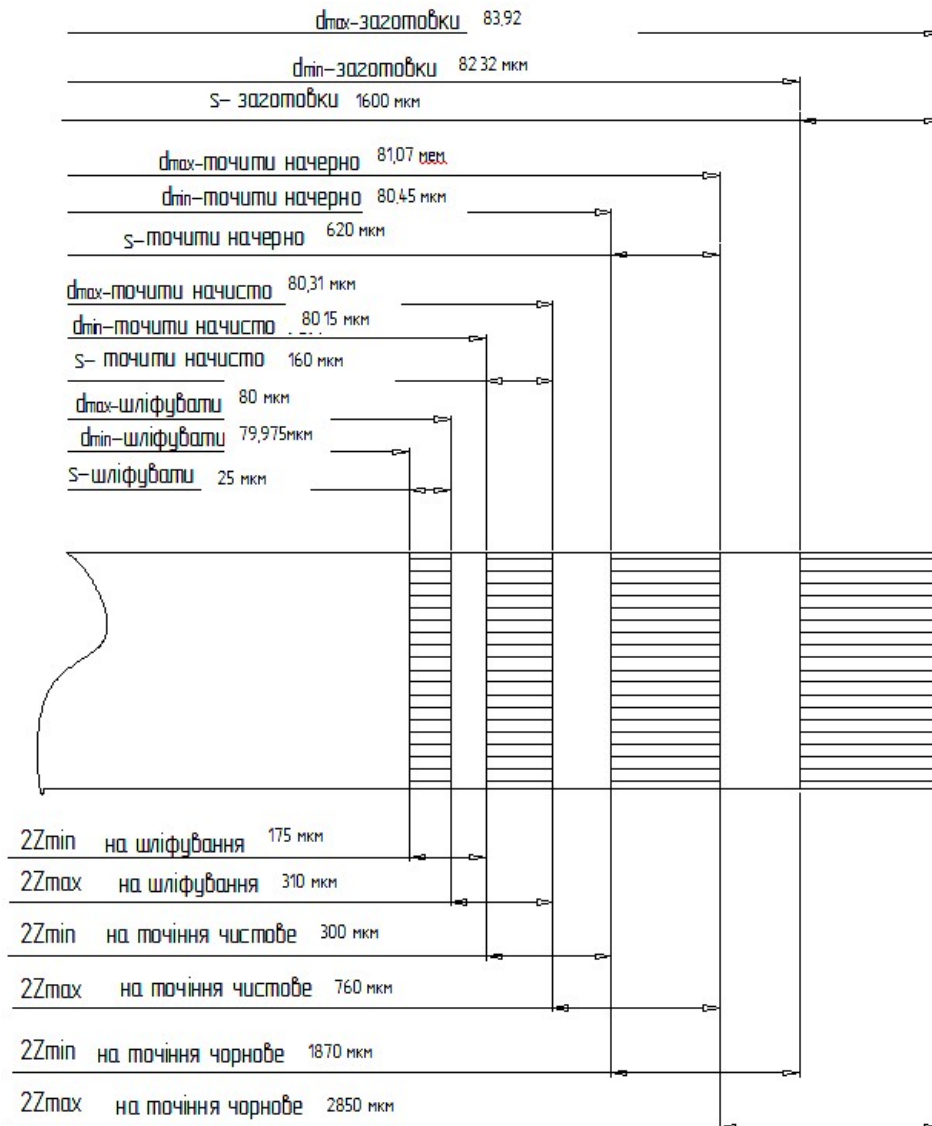


Рисунок 2.6 – Схема розташування припусків та допусків на обробку поверхні

$$\varnothing 80h7^{-0,025}$$

2.4.2 Табличний метод призначення припусків

На інші оброблюванні поверхні корпуса припуски і допуски вибираємо по таблицям і записуємо їх значення в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. Зведена таблиця припусків

Поверхня	Маршрут	Шорсткість	Припуск на поверхню	Розмір з допуском	Кількість проходів
Ø340	Заготовка	Ra25		351(±0.4)	
	Точити				
	Начорно	Ra6.3	5	345(±0.3)	2
	начисто	Ra3.2	0.4	340,08H14	2
Ø280	Заготовка	Ra25		269(±0.4)	
	Точити				
	Начорно	Ra6.3	5	279(±0.3)	2
	начисто	Ra3.2	0.4	279,8H14	2

2.5 Розробка технологічних операцій механічної обробки

Для виконання технологічних операцій вибираємо моделі верстатів, різальний інструмент, вимірювальний інструмент та верстатні пристрої за переходами.

Розробку технологічних операцій механічної обробки за переходами зводимо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4. Операції механічної обробки

№ операції	Маршрут Обробки	Верстат	Інструмент		Пристрої
			Різальний	Контор.	
1	2	3	4	5	6
005	Фрезерно - центрувальна Фрезерувати торці у розмір 874 мм, центрувати торці з двох сторін Технологічна база – необроблена поверхня прокату	MP-73M	Фреза торцева T15K5, D = 100 мм, z = 10. Свердло центрувальне Р6М5.	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0.05 Шаблони Калібр-пробки	Верстатний пристрій

Закінчення табл. 2.4.

1	2	3	4	5	6
010	Токарна з ЧПУ Точити поверхні $\varnothing 80h7$, $\varnothing 80f8$, конус, поверхню під різьбу M36×3-8g начорно довжину 500 мм, напівчисте, канавки $b=7,6$ мм, $b=2$ мм фаски остаточно, нарізати різьбу M36×3-8g Технологічна база – центрові отвори	16K30 Ф325	Різець прохідний Різець канавочний Різець фасочний Різець різьбовий	Штангенц иркуль ШЦ-1- 166-80	Токарний патрон
015	Токарна з ЧПУ Точити поверхні $\varnothing 80h7$, $\varnothing 80f8$, конус, начисто довжину 500 мм, начисто. Технологічна база – центрові отвори	16K30 Ф325	Різець прохідний	Штангенц иркуль ШЦ-1- 125-0.05	Пристрій спеціальний верстатний
020	Горизонтально фрезерна Фрезерувати шпонкові сегментні пази 8Н9 за два установи Технологічна база – поверхня $\varnothing 80f8$, торець	6Т82Г	Фреза дискова 8 мм.	Штангенц иркуль ШЦ-1- 125-0.05	Пристрій спеціальний верстатний
025	Круглошліфувальна Шліфувати поверхні $\varnothing 80h7$, $\varnothing 80f8$, конус попередньо, за два установи	3Б151	Круг шліфувальний 350x40x127 25 А40 СМ2К35м/сФ1	Калібр- скоба	Центра , повідковий патрон
030	Круглошліфувальна Шліфувати поверхні $\varnothing 80h7$, $\varnothing 80f8$, конус начисто, за два установи остаточно Технологічна база – центрові отвори	3Б151	Круг шліфувальний 350x40x127 25 А40 СМ2К35м/сФ1	Калібр- скоба	Центра , повідковий патрон

2.6 Призначення режимів різання

2.6.1 Аналітичним методом

Проведемо розрахунок режимів різання для операції чистового точіння поверхні $\varnothing 80h7$.

Обробку ведемо на верстаті 16К30Ф3.

Припуск на обробку 1 мм.

Різальний інструмент – прохідний різець з пластинами із твердого сплаву Т15К6. 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 $S = 0,08 \div 0,20 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ – 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.

Швидкість різання при токарній обробці визначається за формулою:

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} K_V, \quad (2.3)$$

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

$C_V = 270$, $m = 0,2$, $x = 0,15$, $y = 0,2$ [4];

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,

$K_{nv} = 1$.

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

$$K_{iv} = 2.5 .$$

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

$$K_{mv} = 1.7 .$$

$$V = \frac{270}{50^{0,2} \cdot 1^{0,15} \cdot 0,1^{0,22}} \cdot 1,7 \cdot 2,5 = 70,88 \text{ м/хв.}$$

5. Частота обертання

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 70,88}{3,14 \cdot 80} = 282 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо розрахункову швидкість 70,88 м/хв. та оберти 279 об/хв. у зв'язку з безступеневим регулювання частоти обертання на верстаті 16К30Ф3.

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 за залежністю :

$$P_{x,y,z} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p . \quad (2.4)$$

Коефіцієнти і показники степенів для складових сил різання знаходимо за джерелом [4]

де C_p, x, y, n – змінні параметри,

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

K_p – поправочний коефіцієнт.

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

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

Тоді :

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

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 за формулою:

$$T_o = \frac{L_p \cdot i}{n \cdot S}, \quad (2.5)$$

де L - довжина різання з урахуванням врізання і перебігу різця:

де L_p – довжина ходу різця;

i – число проходів, $i = 1$;

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

де L – довжина обробки $L = 144$ мм;

Δ – величина врізання, $\Delta = 1$ мм;

y – величина перебігу, $y = 1,5$ мм;

$$L = 144 + 1 + 1,5 = 146,5 \text{ мм;}$$

$$t_o = \frac{146,5}{279 \cdot 0,1} \cdot 1 = 5,22 \text{ хв.}$$

2.6.2 Табличний вибір режимів різання

1 Точити поверхні $\varnothing 80h7$, $\varnothing 80f8$, конус, фаски, поверхню під різьбу М36×3-8g начорно.

2 Точити поверхні $\varnothing 80h7$, $\varnothing 80f8$, конус, фаски, поверхню під різьбу М36×3-8g напівначисто.

3 Точити канавку $b=7,6$ мм

4 Точити канавки $b=2$ мм

5 Точити дві канавки $b=2$ мм ($R=1$ мм)

6 Точити поверхню $\varnothing 79$

7 Нарізати різьбу М36×3-8g

Докладно розробляємо другий перехід операції 025.

Ріжучий інструмент – різець прохідний Т15К6.

Допоміжний інструмент – різцетримач верстатний.

Обробку виконуємо з застосуванням МОР.

Метод вимірювання прямий.

Глибина різання

$$t = 0,5 \text{ мм}$$

Період стійкості інструмента

$$T = 70 \text{ хв [4]}$$

Призначаємо подачу

$$S = 0,2 \text{ мм/об [4]}$$

Швидкість головного руху різання V , м/хв, визначаємо за формулою:

$$V = V_{\text{табл}} \cdot K_{\sigma} \cdot K_u, \quad (2.6)$$

де $V_{\text{табл}}$ – табличне значення швидкості різання, м/хв., і

K_{σ} – поправочний коефіцієнт на матеріал деталі;

K_u – поправочний коефіцієнт на матеріал інструмента.

$V_{\text{табл}}=145\text{м/хв.}$

$K_{\sigma}=0,7.$

$K_u=1,0$ [4].

$$V = 145 \cdot 0,7 \cdot 1,0 = 101,5 \text{ м/хв.}$$

Частоту обертання шпинделя верстата n , хв^{-1} , визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 101,5}{3,14 \cdot 80} = 402 \text{ хв}^{-1} \quad (2.7)$$

Отримана швидкість головного руху та оберти підходять по паспортним даним верстата (безступеневе регулювання).

Потужність різання $N_{\text{різ}}$, кВт, визначаємо за формулою:

$$N_p = N_{\text{табл}} \cdot \frac{V}{100} K_7 \quad (2.8)$$

де $N_{\text{табл}}$ – табличне значення потужності різання, кВт;

K_7 – коефіцієнт, який характеризує матеріал, що обробляється.

$N_{\text{табл}} = 1,2$ кВт.

$K_7 = 0,65$ [4].

$$N_p = 1,2 \cdot \frac{101,5}{100} \cdot 0,65 = 1,2 \text{ кВт.}$$

Потужність на шпинделі верстата $N_{\text{шп.}}$, кВт, визначаємо за формулою

$$N_{\text{шт.}} = N_{\text{д}} \cdot \eta, \quad (2.9)$$

де $N_{\text{д}}$ – потужність двигуна головного руху верстата, кВт;

η - коефіцієнт корисної дії верстата.

$$N_{\text{д}} = 22 \text{ кВт.}$$

$$\eta = 0,8.$$

$$N_{\text{шт.}} = 22 \cdot 0,8 = 17,6 \text{ кВт}$$

Різання можливе, так як виконується умова

$$N_{\text{шт.}} > N_{\text{р}},$$

$$17,6 \text{ кВт.} > 1,2 \text{ кВт.}$$

Основний час на перехід T_o , хв., визначаємо за формулою:

$$T_o = \frac{L_{\text{р.х}}}{S_{\text{хв}}} \cdot i, \quad (2.10)$$

де $L_{\text{р.х}}$ – довжина робочого ходу інструмента, мм;

i – кількість проходів

$$L_{\text{р.х}} = l_{\text{різ}} + y, \quad (2.11)$$

де $l_{\text{різ}}$ – довжини різання, мм;

y – довжина врізання та перебігу інструмента, мм.

$$l_{\text{різ}} = 398 \text{ мм};$$

$$L_{\text{р.х}} = 398 + 5 = 403 \text{ мм.}$$

$$i = 1.$$

$$t_o = \frac{403}{402 \cdot 0,2} \cdot 1 = 5,01 \text{ хв.}$$

Призначаємо режими різання табличним методом та заносимо у таблицю 2.4.

Продовження таблиці 2.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8. поверхню 6 начерно	2,5			0,2	49,6	350		40	6.47
9. поверхню 9 начерно	2,5			0,2	47.8	350	1,5	18	
10. поверхню 5 начерно	2,5			0,2	42,9	350	1,5	10	
11. поверхню 11 начерно	2,5			0,2	45,16	350	1,5	13	
12.поверхню 6 начисто	0,5			0,2	63,5	750	1,2	40	
13.поверхню 9 начисто	0,5			0,2	58.3	750	1,2	18	
14.поверхню 5 начисто	0,5			0,2	70,6	750	1,2	10	
15.поверхню 11 начисто	0,5			0,2	75.3	750	1,2	13	
16.фаску 30, 29, 28, 27	1			0,1	30.5	450	0,3	1.5	
17.нарізати різьбу 3	2			0,6	1.5	60	04	2	
015.Вертик.-свердлувальна									
1.Центрувати отвір 13, 14	1,7			0,4	64.8	315	0,2 5	25	1.2
2.Свердлувати отвір 13, 14	0.4			1,0	22	780	0.4	25	
4. Зняти фаску	1	-	-	0,3	20	700			
3.Нарізати різьбу 13, 14	0.1			0,5	6.2	200	.56	25	
020.Шпонково-фрезерна									
1.Фрезерувати паз 32, 33	1	200	0.15	0.16	4.6	160	1,5 7	25	4.21
2.Фрезерувати паз 31, 34	2.5	200	0.15	0.16	4.6	160	1,9 3	13	
025.Кругло-шліфувальна									

Шліфувати : 1.Поверхні 4,10,7,8,11,5,9,6 начорно	0,2	0.2		0.2	56.5	600	2.2	105	4.17
030.Кругло-шліфувальна Шліфувати : 1.Поверхні 4,10,7,8,11,5,9,6 начисто	0,2	0.2		0.2	56.5	600	2.2	105	4.17

2.7. Розрахунок технічних норм часу при виконанні операцій

«Технічні норми часу в умовах серійного виробництва призначаються розрахунково-аналітичними методом.

При серійному виробництві визначається норма штучного часу.

$$T_{\text{шт}} = t_o + t_d + t_{\text{обсл}} + t_{\text{відп}}, \quad (2.12)$$

де t_o – основний (технологічний) час;

t_d – допоміжний час;

$t_{\text{обсл}}$ – час на обслуговування робочого місця;

$t_{\text{відп}}$ – час на відпочинок.

У серійному виробництві додатково розраховується штучно калькуляційний час:

$$T_{\text{ш-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п.з}}}{n}, \quad (2.13)$$

де $T_{\text{ш-к}}$ – штучно-калькуляційний час;

$T_{\text{п.з}}$ – підготовчозаклучний час;

n – величина партії деталей» [7]

«Основний (технологічний) час t_o витрачається на безпосереднє здійснення технологічного процесу, тобто на заміну форми, розмірів, якості оброблюваної поверхні деталі.

Допоміжний час T_d використовується робочим на дії, які забезпечують виконання основної роботи. Разом з основним часом він складає оперативний час. При визначення норми допоміжного часу сумують слідуючи його елементи:

- час на установку і знаття деталі;
- час на управління верстатом (затрати на пуск та установку верстату, включення і виключення подачі, зміну інструменту);

- час на вимірювання деталі;
- час на обслуговування робочого місця.

$T_{\text{обсл}}$ складається з двох частин:

1) Час на технічне обслуговування робочого місця $T_{\text{тех}}$, який витрачається на заміну затупленого інструменту, на регулювання і підналадку верстату під час роботи, і на збирання стружки на робочому місці під час роботи.

2) Час на організаційне обслуговування робочого місця $T_{\text{орг}}$, який потрібен для розкладання інструменту на початку зміни і збиранні його в кінці зміни, огляду обладнання, змащення і очищення верстату під час роботи.

Час перерв на відпочинок $T_{\text{відп}}$ залежить від маси оброблюваної деталі, характеру подачі (ручна чи механічна).

$T_{\text{в.з}}$ – час на встановлення і зняття деталі;

T_y – час управління верстатом;

$T_{\text{в}}$ – час вимірювання деталі;

$T_{\text{т}}$ – технічний час обслуговування;

$T_{\text{ор}}$ – організаційний час обслуговування;

N – величина партії, 150 шт.» [4].

Наведемо приклад розрахунку для операції 005.

$$T_o = 0,6 \text{ хв};$$

$$T_{\text{вст}} = 0,25 \text{ хв.},$$

$$T_{\text{кер}} = 0,79 \text{ хв.},$$

$$T_{\text{вим}} = 0,59 \text{ хв.}$$

Тоді:

$$T_{\text{в}} = 0,25 + 0,79 + 0,59 = 1,63 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{о,б.}} + T_{\text{вщ.}} = P_{\text{об.вщ.}} \cdot \left(\frac{T_o + T_E}{100} \right),$$

де $P_{об.від}$ - норматив часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та природні потреби. $P_{об.від} = 6\%$,

$$T_{O.B.} + T_{ВІД.} = 6 \cdot \left(\frac{0,6 + 1,63}{100} \right) = 0,133 \text{ хв.},$$

$$T_{шт.} = 0,6 + 1,63 + 0,266 = 2,47 \text{ хв.}$$

$$T_{п.з.} = 23 \text{ хв.},$$

$$n = \frac{N \cdot a}{254},$$

де a - періодичність запуску деталей, $a = 12$ днів.

$$n = \frac{150 \cdot 12}{254} = 7.$$

Тоді $T_{шт.к} = \frac{23}{7} + 2,47 = 2,9 \text{ хв.}$

Проводимо розрахунки на інші операції та заносимо у таблицю 2.5

Таблиця 2.5. Технічні норми

Операція	Найменування операції операції	T_o ХВ.	T_B . ХВ			$T_{оп}$ ХВ.	$T_{обсл}$		$T_{від.}$ ХВ.	$T_{шт.}$ ХВ	$T_{пз.}$ ХВ.	$T_{шк.}$ ХВ.
			$T_{УС}$	$T_{упр}$	$T_{вим}$		$T_{тех}$	$T_{орг}$				
005	Фрезерно-центрувальна	0,6	0,25	0,79	0,59	2,23	0,06	0,06	0,12	2,47	0,06	2,9
010	Токарна ЧПК	10,5	0,23	0,24	0,89	11,86	0,05	0,05	0,1	12,1	0,06	12,12
015	Вертикально-свердлувальна	1,2	0,23	0,24	0,89	2,56	0,05	0,05	0,1	2,76	0,06	2,82
020	Шпонко-фрезерна	4,21	0,23	0,79	0,46	5,69	0,032	0,032	0,065	5,89	0,06	5,95
025	Круглошліфувальна	4,17	0,25	0,79	0,55	5,76	0,06	0,06	0,12	6,0	0,08	6,08
030	Круглошліфувальна	4,17	0,25	0,79	0,55	5,76	0,06	0,06	0,12	6,0	0,08	6,08

2.8 Оформлення технологічної документації

Проводимо оформлення технологічної документації. Заповнюємо карти: маршрутного технологічного процесу та операційного з ескізами операцій. Технічну документацію представлено у додатках.

Розробка операційно розрахункової – технологічної карти (ОРТК).

ОРТК викреслено на карті ескізів та схем і на ній розміщене операційне креслення з зображенням технологічних баз і затискачів та системи координат деталі (СКД).

Також на ОРТК приведено таблицю інструментального завантаження та циклограми руху інструментів.

Координати точок на циклограмах досить легко визначаються з креслень циклограм, тому не потребують спеціальних розрахунків.

Початок системи координат (нуль деталі) вибираємо у центрі торця деталі, так як всі розміри задані від нього.

Вісь Z деталі співпадає з віссю Z верстата, а вісь X проходить у площині правого торця деталі.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Проектування верстатного пристрою для верстата з ЧПК

Згідно із завданням необхідно спроектувати пристрій для фрезерування шпонкових пазів на 020 операції.

3.1.1 Вибір схеми базування деталі

Схема базування вибирається з аналізу постановки розмірів на деталі. Пази розміщені симетрично вісі деталі тому приймаємо зовнішню поверхню шпинделя за базу та торець заготовки. Цим базовим поверхням у верстатному пристрої відповідають призми та упорна пластина. На рис. 3.1. показана схема базування.

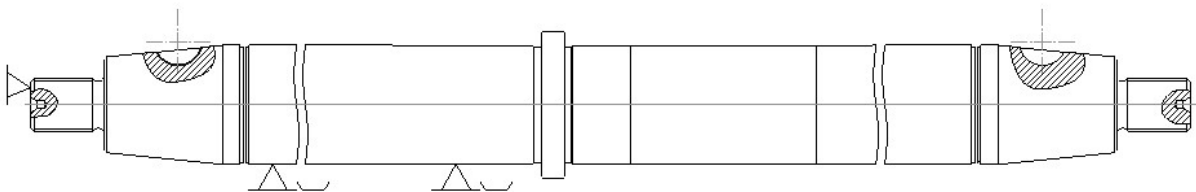


Рисунок 3.1 – Схема базування

3.1.2 Вибір установочних елементів пристрою

У відповідності з правилом зняття необхідної кількості ступенів вільності в якості установочних елементів використовуємо призми, а базовим торцем деталь впирається в пластину рис.3.1.

3.1.3 Розрахунок точності обробки

«Допустима похибка обробки у пристрої :

$$\Delta_{\text{доп}} = T - k w, \quad (3.1)$$

де T - допуск на відповідний розмір, $T = 0.12$ мм

k - поправочний коефіцієнт, $k = 1.2$

w - похибка верстата, $w = 0.02$ мм

Похибка установки деталі в пристрої

$$\varepsilon_y = \sqrt{\xi_{\delta}^2 + \xi_3^2 + \xi_{\text{пр}}^2}, \quad (3.2)$$

де ξ_{δ} - похибка базування,

$$\xi_{\delta} = 0.5 \cdot T_d (1/\sin\alpha - 1) = 0.5 \cdot 0.12 (1/\sin 45 - 1) = 0.02 \text{ мм.}$$

ξ_3 - похибка закріплення, $\xi_3 = 0.012$ мм.

$\xi_{\text{пр}}$ - похибка пристрою,

$$\xi_{\text{пр}} = (1/4 \dots 1/10) T_d = (1/4 \dots 1/10) 0.3 = (0.075 \dots 0.03) \text{ мм.}$$

Приймаємо $\xi_{\text{пр}} = 0.03$ мм» [9].

$$\varepsilon_y = \sqrt{0.02^2 + 0.012^2 + 0.03^2} = 0.038 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{\text{доп}} = 0.12 - 1.2 \cdot 0.02 = 0.096 \text{ мм.}$$

Так як $\Delta_{\text{доп}} > \varepsilon_y$ то пристрій сконструйовано вірно і забезпечує необхідну точність оброблення.

3.1.4 Розрахунок сили закріплення деталі

Розрахунок приводу пристрою ведемо за переходом фрезерування пазів. На рис. 3.3 показано схему базування та закріплення з вказаними напрямками дії сил різання та закріплення. Заготівка знаходиться у рівновазі.

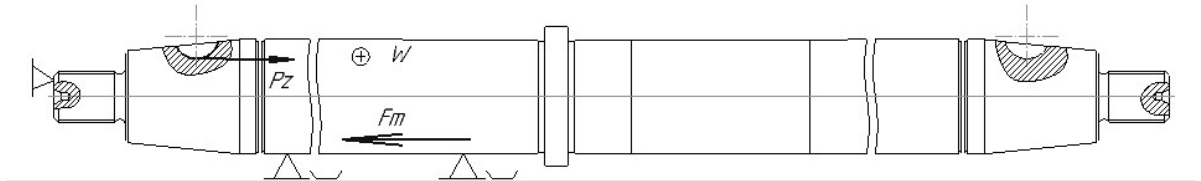


Рисунок 3.2 – Схема базування та закріплення

Заготовку утримають сили тертя на поверхнях призм, які виникають від дії сили затиску.

Розрахунок сили затиску ведемо з рівняння рівноваги заготовки:

$$P_z \cdot k = 4Wf,$$

де $k = 1,5$. $P_z = 699 \text{ Н}$.

звідки

$$W = \frac{P_z k}{4f} = \frac{699 \cdot 1,5}{4 \cdot 0,16} = 1638 \text{ Н}.$$

3.1.5 Розрахунок силового приводу пристрою

Затискний механізм складається з двох механізованих самоцентруючих губок з важільною системою. Зусилля затиску та зворотний хід здійснюється від руху пневмоциліндра (рис. 3.3). Робоча порожнина штокова.

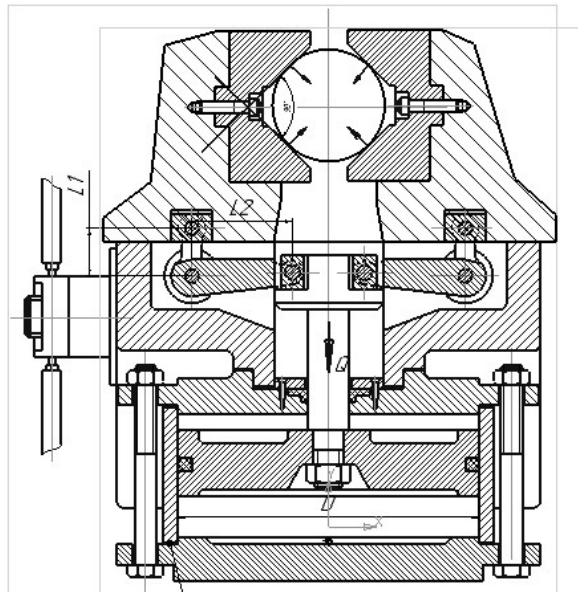


Рисунок. 3.3 – Загальний вигляд приводу пристрою

Знаходимо зусилля на штокові пневмоциліндра, урахувавши важільний механізм за формулою:

$$W \cdot L1 = Q \cdot L2, \quad (3.3)$$

де $L1 = 45$ мм;

$L2 = 50$ мм.

$$Q = \frac{W \cdot L1}{L2} = \frac{1638 \cdot 45}{50} = 1474 \text{ Н}$$

Розрахунок внутрішнього розміру пневмоциліндра ведемо за формулою для штокової порожнини прийнявши діаметр штока $d = 16$ мм.[8]:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi p \eta} + d^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1474}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,98} + 16^2} = 72,4 \text{ мм.}$$

де p – тиск повітря в системі, $p = 0,4$ МПа.

Дана конструкція пристрою дозволяє швидко переналагоджувати на інші деталі для виконання подібних технологічних операцій тому приймаємо внутрішній діаметр пневмоциліндра 200 мм.

Фактичне зусилля на штокові розраховуємо за формулою:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} p = \frac{3,14 \cdot 200^2}{4} \cdot 0,63 = 19782 \text{ Н},$$

де p – максимальний тиск повітря в системі, $p = 0,63$ МПа.

3.1.6 Розрахунок на міцність елемента пристрою

Визначимо в процесі затиску найбільш навантажені елементи верстатного пристрою.

Розрахунок на міцність підлягає різьбове з'єднання кріплення поршня на штокові пневмоциліндра.

«Діаметр різьби визначається за формулою:

$$d = \sqrt{4Q / (\pi\sigma)}, \quad (3.4)$$

де Q - сила що діє на болт, $Q = 19782$ Н.;

σ - допустиме значення межі текучості (матеріал болта Сталь 35), $\sigma = 120$ Н/мм.» [12].

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 19782}{120 \cdot 3,14}} = 14,4 \text{ мм.}$$

Для кріплення штока вибрано різьбу М20.

Отже умова міцності виконана діаметр різьби М20 > 14,4 мм, розміри різьби вибрано вірно є запас міцності у 1,5 рази.

3.1.7 Опис роботи пристрою

Деталь встановлюється на дві призми пристрою та торцем впирається в упор. Подаємо стиснене повітря у поршневу порожнину пневмоциліндру і шток при русі униз діє на важелі, які у свою чергу діють на рухомі призматичні губки і затискають заготовку. Деталь встановлена і закріплена – проводиться оброблення шпонкового пазу. Подаємо стиснене повітря у штокову порожнину пневмоциліндру – призматичні губки розводяться і розтискають заготовку та її замінюють на іншу.

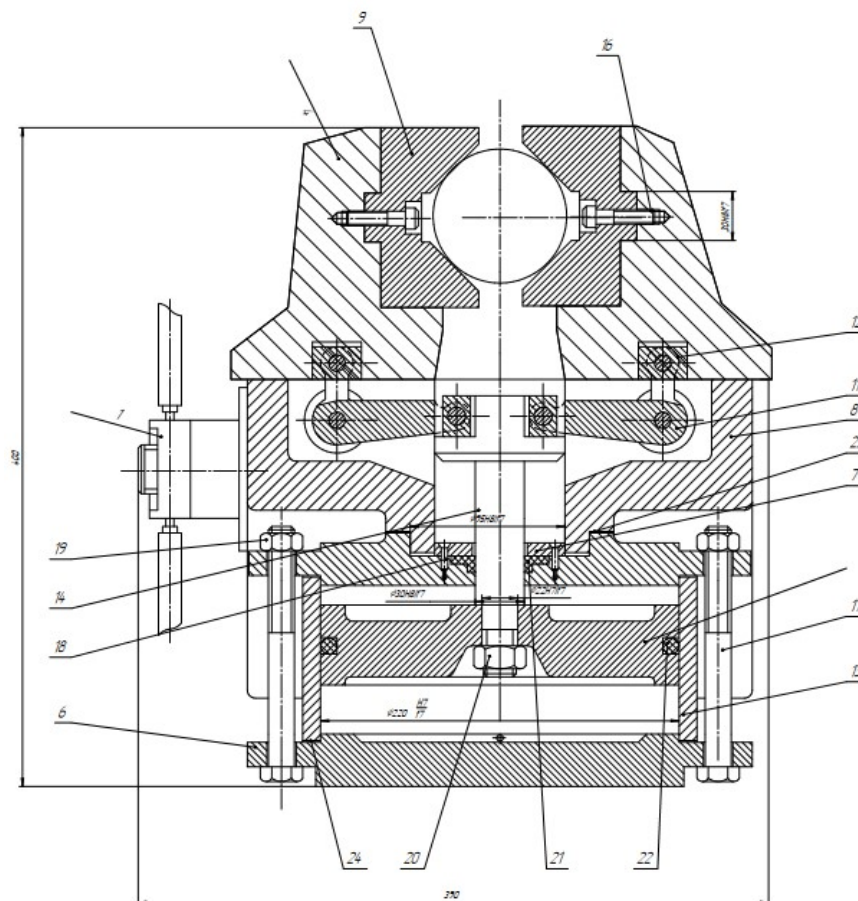


Рисунок. 3.4 – Загальний вигляд пристрою

3.2 Проектування контрольного пристрою калібру скоби

3.2.1 Технічні умови та вимоги креслення, що підлягають контролю

Для контролю одної, чи декількох поверхонь необхідно підібрати вимірювальний інструмент, провести розрахунки виконавчих розмірів і визначити ілюстраційну схему взаємного розташування і допусків деталі і калібру.

Для контролю розміру $\varnothing 80f8_{-0,046}$ розраховуємо калібр-скобу.

3.2.2 Розрахунок розмірів калібру скоби

Знаходимо граничні розміри валу за формулами:

$$\begin{aligned} d_{\max} &= d + es, \\ d_{\min} &= d + ei. \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$d_{\max} = 80 + 0 = 70 \text{ (мм)}.$$

$$d_{\min} = 80 + (-0,046) = 79,954 \text{ (мм)}.$$

Для 8 квалітету і інтервалу розмірів більше від 25 до 80 мм знаходимо данні для визначення розмірів необхідних калібрів и контр-калібрів:

$Z_1 = 0,0025$ 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:

$$PP = d_{\max} - Z_1 - H_1 / 2. \quad (3.6)$$

$$PP = 80 - 0,0025 - 0,003 / 2 = 79,996 \text{ (мм)}.$$

2) найменший розмір непрохідного калібру-скоби НЕ визначаємо за формулою:

$$HE = d_{\min} - H_1 / 2. \quad (3.7)$$

$$HE = d_{\min} - H_1 / 2 = 79,954 - 0,003 / 2 = 79,9425 \text{ (мм)}.$$

1) граничний розмір зношеного калібру-скоби ПР визначаємо за формулою:

$$PP_{\text{зн}} = d_{\max} + Y_1. \quad (3.8)$$

$$PP_{\text{зн}} = d_{\max} + Y_1 = 80 + 0,002 = 80,002 \text{ (мм)}.$$

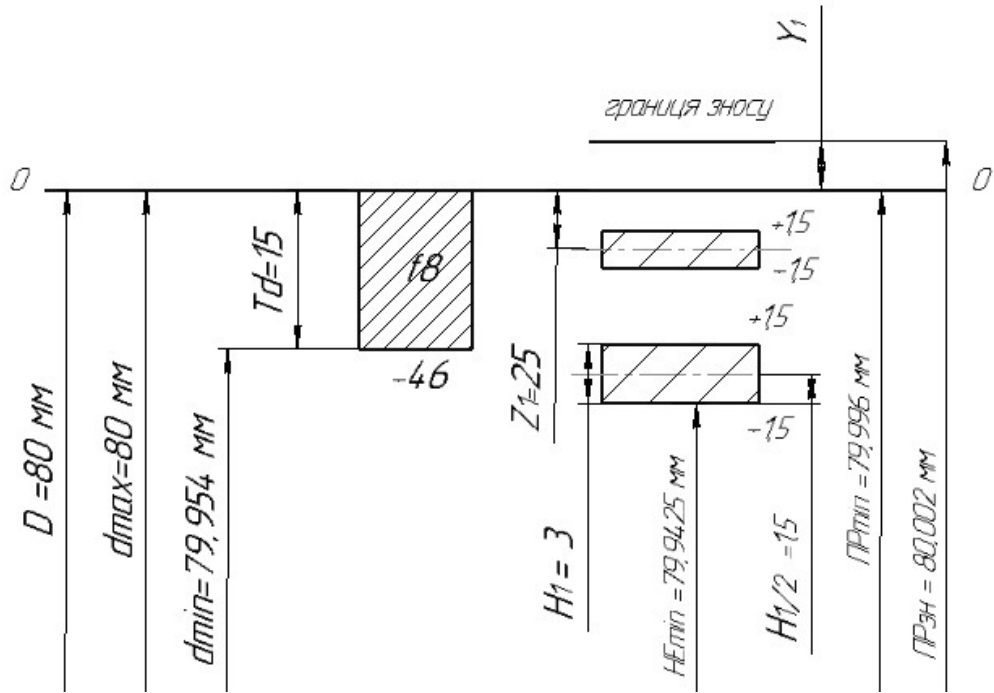


Рисунок. 3.5 – Схема полів допусків на $\varnothing 80f8$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Основні причини нещасних випадків при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт

«Вантажно-розвантажувальні роботи можна умовно поділити на три групи:

- ручні роботи щодо підймання та переміщення вантажу; підймання та перевезення вантажу за допомогою механічних пристосувань (лебідок, блоків, домкратів, візків, спусків);
- підймання та перевезення вантажів за допомогою спеціальних машин та механізмів (кранів, ліфтів, автотранспорту, конвеєрів, авто - та електрокарів).

Для кожної групи вантажно-розвантажувальних робіт характерні свої небезпеки, що можуть призвести до нещасних випадків.

Під час виконання ручних робіт щодо підймання та переміщення вантажу нещасні випадки зазвичай стаються внаслідок невідповідності місця та умов роботи вимогам з охорони праці. Тому необхідно, щоб місце виконання вантажно-розвантажувальних робіт було достатньо освітлене, ширина проходів відповідала нормі, підлога та платформи були рівними, неслизькими, не мали щілин, вибоїн, набитих планок та цвяхів. Часто травмування робітників стаються у разі перенесення вантажів у неміцній чи пошкодженій тарі (з задирками, цвяхами та обв'язувальним дротом, що стирчать тощо), а також у тарі з шорсткою поверхнею без захисних рукавиць. Відсутність спеціальної підготовки та необхідних навичок при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт також є частою причиною нещасних випадків. Порушення правил складування вантажів може призвести до травмування робітників. У разі частих підймань та перенесень вантажів на значні відстані можливе фізичне

перевантаження організму робітника. Під час підймання вантажу, маса якого перевищує допустиму норму, вантаж може придавити робітника». [13]

«Основні причини нещасних випадків під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт з використанням механічних пристосувань.

Під час виконання таких робіт зазвичай нещасні випадки стаються внаслідок падіння вантажу. У блоках можливе зісковзування канату чи ланцюга та заклинювання їх між блоком і його корпусом. При цьому вантаж може впасти та травмувати робітника. Часті випадки травмування рук під час встановлення на місце канату чи ланцюга, що зісковзнув.

При роботі з таями можливе зісковзування канату або ланцюга, поломка осей чи катків і, як наслідок, падіння вантажу. В пневматичних таях падіння вантажу частіше за все можливе у разі поломки чи неправильного регулювання засобів пневматики.

При роботі з домкратами та лебідками можливі спрацювання та поломка шестерень, храповиків, гвинтів та інших деталей, що може спричинити падіння вантажу. При використанні домкратів падіння вантажу може також статися внаслідок невірної установки домкрата чи самочинного переміщення вантажу при поганій його фіксації.

Спуски використовують вагу вантажу для переміщення його вниз по похилій площині. Неправильний вибір кута нахилу та відсутність захисних бортів можуть спричинити зісковзування вантажу і травмування ним людей, що знаходяться поруч.

Основні причини нещасних випадків під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт з використанням підйимально-транспортних машин та механізмів.

Найчастіше нещасні випадки та аварії під час експлуатації підйимально-транспортних машин стаються внаслідок неправильної організації робіт і відсутності належного контролю, помилок або невідповідності виконуваних

роботі підйимально-транспортних механізмів та машин, відсутності або несправності запобіжних пристосувань, зачеплення вантажем під час його підймання, переміщення чи опускання людей, устаткування, споруд, ліній електропередач тощо» [13].

«Більшість машин та механізмів, призначених для підймання та переміщення вантажів, оснащені електроприводами, тому часто причинами нещасних випадків та аварій є порушення вимог електробезпеки. Під час роботи кранів найчастіше випадки падіння вантажів і спричинені цим нещасні випадки стаються через недостатню міцність канатів та ланцюгів і незадовільну роботу гальмівних пристроїв. Падіння вантажу може також статися у разі поганого зачеплення вантажу, його неправильного стропування, застосування канатів, що не відповідають прикладеним навантаженням. Причиною аварій та нещасних випадків може бути також подача невірних знаків кранівнику недосвідченим робітником під час керування процесом.

Причиною аварії ліфта чи підйімача може стати їх перевантаження, несправність дверей, запобіжних чи блокувальних пристроїв.

Під час роботи на автонавантажувачах, електро - та автокарах причиною аварії та травматизму в більшості випадків є перевищення допустимої швидкості руху, великі габарити вантажу та його неправильне укладання.

Основною небезпекою під час роботи на конвеєрі є можливість доторкання працівника до його рухомих частин. Під час роботи стрічкового конвеєра можливий розрив стрічки та падіння вантажів, що знаходяться на ній.

Вантажно-розвантажувальні роботи необхідно виконувати під керівництвом відповідальної особи, що призначається адміністрацією підприємства. Ця особа перевіряє справність вантажопідйимальних механізмів, такелажу, пристосувань та іншого інвентарю, інструктує робітників, пояснюючи їм їх обов'язки, послідовність виконання операцій та значення застосовуваних при цьому сигналів. Вантажно-розвантажувальні роботи слід

виконувати із застосуванням засобів малої механізації (візки, лебідки, вагонетки) та за допомогою підйимально-транспортного обладнання. Проведенню цих робіт передують складання технологічних карт і проектів виконання робіт. На місці виконання робіт вивішуються знаки безпеки. Для штучних вантажів застосовуються піддони, контейнери, пакетоформувальні засоби, а для сипких - пневмотранспорт, що виключає забруднення повітря. Під час виникнення небезпечної ситуації особа, відповідальна за проведення робіт, повинна вжити запобіжних заходів або припинити роботи» [13].

«Майданчики, де проводяться вантажно-розвантажувальні роботи, повинні мати рівне та тверде покриття або твердий ґрунт, ухил не більше 5°, а також природно і штучне освітлення. УВАГА! До робіт з вантажопідйимальними пристроями допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд і спеціальне навчання, склали іспит кваліфікаційні комісії і одержали посвідчення.

У разі, коли вага вантажу перевищує 50 кг, а також під час підймання вантажів на висоту понад 3 м слід застосовувати засоби механізації.

Правила складування вантажів: висота штабеля не повинна перевищувати 6 м для нерозбірної тари і 4,5 м для складеної тари; 3 м - для вантажів у ящиках за ручного навантаження та 6 м - за механізованого; для барабанів з карбідом кальцію - не більше двох ярусів, для кошиків з бутлями агресивних речовин - в один ряд.

Ширина головного проходу в закритих складах повинна бути не менше 3 м. Під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт з вантажами третьої та четвертої груп необхідно застосовувати. Засоби індивідуального захисту» [13]

5 ВИСНОВКИ

В дипломній роботі розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Шпindelь», із застосуванням сучасних верстатів з ЧПК. Виконано розрахунки: типу виробництва, припусків, режимів різання, норм часу. На основі аналізу було вибрано отримання заготовки порізкою з сортового прокату.

В конструкторському розділі виконано розрахунки верстатного пристрою для фрезерування шпонкових пазів. Для забезпечення операції контролю відповідальної поверхні деталі спроектовано контрольно-вимірювальний пристрій скобу.

В розділі охорони праці проаналізовано причини нещасних випадків при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт.

В додатках приведено технологічний процес виготовлення деталі «Шпindelь», специфікації 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. Шабайкович В.А. Выбор оптимального технологического процесса механической обработки деталей машин. Львов, 1975. 25 с.
3. Технологія машинобудування. Навчальний посібник / За ред. І. І. Юрчишина. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009 528 с.
4. Технологія машинобудування. Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт: Навчальний посібник. [Юрчишин І.І. та ін.] Видавництво НУ «Львівська політехніка». 2009. 528 с.
5. 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.
6. Данюк В. М., Абрамов В. М. Нормування праці. К.: ВПОЛ, 1995. 465 с.
7. Кирилович В. А., Мельничук П. П., Яновський В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ.; під заг. ред. В. А. Кириловича. Житомир : ЖІТІ, 2001. 600 с.
8. Курсове та дипломне проектування для технології машинобудування та металорізальних верстатів. [Гордєєв А.І., Урбанюк Є.А., Безносів А.Є., Мігаль В.Г.] Навчальний посібник, ХНУ, 2005, 300 с.
9. Сторож Б. Д., Карпик Р. Т., Гордєєв А. І. Точність верстатних пристроїв машинобудівного виробництва: Навчальний посібник / За ред. Р.Т. Карпика. Хмельницький: ХДУ, 2003. 222 с., іл.

10. Боровик А. І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва: Підручник. К.: «Кондор», 2008. 726 с.
11. Железна А.М., Кирилович В.А. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: Навчальний посібник. К.: Кондор, 2004. 796 с.
12. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання. Харків : НТУ «ХП», 2020. 275 с.
13. 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.
14. Освітня програма бакалавра спеціальності 131 Прикладна механіка.