

**Міністерство освіти і науки України**

**Луцький національний технічний університет**

(повне найменування вищого навчального закладу)

**Факультет транспорту та механічної інженерії**

(повне найменування факультету)

**Кафедра прикладної механіки та мехатроніки**

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**Підвищення продуктивності при механічній обробці  
корпусу КМ-140.00.00.002**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи ІМм-21  
Саєнко Володимир Віталійович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник:  
к.т.н., доцент  
Божко Тетяна Євгенівна

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.  
к.т.н., доцент  
Гарант освітньої програми:  
Четвержук Тарас Іванович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Луцьк – 2025 року  
Луцький національний технічний  
університет

Факультет Транспорту та механічної інженерії  
Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки  
Другий (магістерський) рівень  
освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»  
Спеціальність 131 Прикладна механіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Р. РЕДЬКО  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

\_\_\_\_\_ Саєнка Володимира Віталійовича \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення продуктивності при механічній обробці корпусу КМ-140.00.00.002», керівник кваліфікаційної роботи магістра Божко Тетяна Євгенівна к.т.н., доц. каф. ПМіМ затверджені наказом вищого навчального закладу від «14» червня 2025 р., № 391/01-07
2. Строк подання студентом роботи 1.12.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: звіт з переддипломної практики, технічна документація корпусу КМ-140.00.00.002, креслення деталі корпус КМ-140.00.00.002, нормативні дані.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
1. Загальний розділ. 2. Технологічний розділ. 3. Конструкторський розділ. 4. Науковий розділ.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Креслення заготовки 1л - ф.А1; Пристрій верстатний складальне креслення 1л - ф.А1; Пристрій для контролю складальне креслення 1л - ф.А2; Карта налагодження 2л - ф.А2.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

01.07.2025 р.

Керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис)

### **КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1.	<i>Загальний розділ</i>	<i>22.10.2025</i>	
2.	<i>Конструкторський розділ</i>	<i>1.11.2025</i>	
3.	<i>Технологічний розділ</i>	<i>12.11.2025</i>	
4.	<i>Науковий розділ</i>	<i>22.11.2025</i>	
5.	<i>Представлення роботи до захисту</i>	<i>29.11.2025</i>	
6.	<i>Електронний варіант кваліфікаційної роботи магістра</i>		

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Саснко В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Божко Т.Є.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Сасенко В. В. Підвищення продуктивності при механічній обробці корпусу КМ-140.00.00.002 – Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття кваліфікації другого (магістерського) рівня вищої освіти із спеціальності 131 Прикладна механіка – Луцький національний технічний університет. – Луцьк, 2025.

Актуальність вивчення впливу конструктивно-технологічних факторів та параметрів інструментального налагодження зумовлена тим, що вони істотно впливають на величину позиційних відхилень осей отворів, а також на якість і точність розмірів оброблюваних поверхонь. Для цілеспрямованого та ефективного застосування процесу різання і раціонального використання різального інструменту необхідно розуміти закономірності формування похибок обробки та шляхи їх мінімізації шляхом зменшення впливу конструктивно-технологічних параметрів і параметрів вузла напрямлення інструмента. Тому дослідження робочих процесів у зоні різання при обробці отворів і розробка на цій основі практичних рекомендацій щодо підвищення точності обробляння шляхом зменшення сумарного позиційного відхилення осі отвору при свердлінні є важливою науково-практичною задачею у галузі механічної обробки різанням.

У роботі розглянуто питання підвищення продуктивності та точності обробки за рахунок зниження сумарного позиційного відхилення осі отвору під час свердління. Наведено математичну модель залежності точності обробки від геометричного зсуву, пружного зсуву та сумарного позиційного відхилення осі отвору.

Розроблено технологічний процес механічної обробки корпусу КМ-140.00.00.002. Спроектовано пристрій для фрезерування зуба корпусу, а також пристрій для контролю відстані між осями двох отворів і визначення їх положення відносно опорної площини.

Ключові слова: технологічний процес, свердління, отвір.

## ANNOTATION

Saenko V. V. Increasing productivity during mechanical processing of the KM-140.00.00.002 housing – Manuscript.

Master's qualification work for obtaining a qualification of the second (master's) level of higher education in the specialty 131 Applied Mechanics – Lutsk National Technical University. – Lutsk, 2025.

The relevance of studying the influence of design and technological factors and parameters of tool adjustment is due to the fact that they significantly affect the magnitude of positional deviations of the axes of the holes, as well as the quality and accuracy of the dimensions of the machined surfaces. For targeted and effective application of the cutting process and rational use of the cutting tool, it is necessary to understand the patterns of the formation of processing errors and ways to minimize them by reducing the influence of design and technological parameters and parameters of the tool guide assembly.

Therefore, the study of work processes in the cutting zone during hole processing and the development on this basis of practical recommendations for increasing machining accuracy by reducing the total positional deviation of the hole axis during drilling is an important scientific and practical task in the field of mechanical cutting.

The paper considers the issue of increasing productivity and machining accuracy by reducing the total positional deviation of the hole axis during drilling. A mathematical model of the dependence of machining accuracy on geometric displacement, elastic displacement and total positional deviation of the hole axis is presented.

A technological process for machining the KM-140.00.00.002 housing has been developed. A device for milling the housing tooth has been designed, as well as a device for controlling the distance between the axes of two holes and determining their position relative to the reference plane.

Keywords: technological process, drilling, hole.

	ЗМІСТ	стр.
	Вступ.....	7
1	Загальний розділ.....	9
1.1	Аналіз об'єкта виробництва.....	9
1.2	Відпрацювання деталі на технологічність.....	10
1.3	Попереднє встановлення типу та організаційної форми виробництва .....	13
2	Технологічний розділ.....	17
2.1	Аналіз базового технологічного процесу.....	17
2.2	Вибір та економічне обґрунтування методу отримання заготовки .....	19
2.3	Вибір методів обробки поверхонь.....	21
2.4	Вибір та розрахункове обґрунтування баз.....	24
2.5	Розрахунок припусків .....	26
2.6	Визначення режимів різання і технологічного обладнання....	29
2.7	Нормування технологічного процесу.....	33
3	Конструкторський розділ.....	37
3.1	Верстатний пристрій для фрезерування зуба.....	37
3.2	Контрольний пристрій .....	49
4	Науковий розділ.....	47
4.1	Стан питання та постановка задач магістерської роботи.....	47
4.2	Дослідження зсуву осі отвору в процесі обробки отворів корпуса жорстко закріпленим інструментом.....	51
	Висновки.....	61
	Список використаних джерел.....	63
	Додаток.....	65
	.	

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Під час виготовлення деталі корпус у технологічному процесі передбачено дві свердлильні операції, на яких застосовуються розмірні інструменти — свердла, зенкери та розвертки, що жорстко фіксуються в патронах верстатів. У процесі технологічного проектування свердлувальних, зенкерувальних та розвертувальних операцій для визначення сумарних похибок діаметра та розташування осей отворів можуть використовуватися табличні дані довідкових джерел. Проте в низці випадків доцільно застосовувати саме розрахункові методи, що дозволяють обґрунтувати очікувану точність обробки і забезпечити оптимальний вибір конструктивно-технологічних параметрів формоутворення.

Забезпечення точності розташування осей отворів є однією з найскладніших задач сучасного виробництва. На кресленнях такі вимоги задаються позиційними відхиленнями, відхиленнями міжосьових відстаней, відхиленням від бази, а також вимогами щодо паралельності та перпендикулярності осей. Оброблення отворів виконують на свердлильних та агрегатно-свердлильних верстатах за допомогою жорстко закріпленого кінцевого інструмента. З огляду на зростання обсягів свердлильних операцій у машинобудуванні, розробка науково обґрунтованих методик прогнозування похибок обробки є актуальною задачею та становить основу даної магістерської роботи.

*Мета дослідження.* Підвищення точності та продуктивності обробки отворів шляхом мінімізації впливу конструктивно-технологічних факторів, а також параметрів інструментального налагодження і вузла напрямлення інструмента на величину позиційних відхилень осей.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- обґрунтувати основні критерії, що впливають на точність формоутворення отворів;

- вивести залежності для визначення геометричного зсуву, пружного зсуву та сумарного позиційного відхилення осі отвору.

*Об'єкт дослідження* – технологічний процес обробки отворів корпусу КМ-140.00.00.002.

*Предмет дослідження* – способи підвищення точності та продуктивності обробки отворів.

*Методи дослідження* ґрунтуються на системному підході до аналізу та опису об'єкта, а досягнення поставленої мети забезпечено оптимальним поєднанням теоретичних і експериментальних методів. Теоретичні дослідження виконано на основі сучасної теорії різання матеріалів, теплофізичних закономірностей, методів чисельного моделювання, а також положень стандартизації, що регламентують структуру та зміст нормативної документації. Експериментальна частина досліджень реалізована з використанням принципів статистичного аналізу даних, методів фізичного моделювання та сучасних підходів математичного планування експерименту.

*Наукова новизна* отриманих результатів полягає у розробці математичної моделі визначення позиційного відхилення осі отвору, яка враховує сукупний вплив геометричного та пружного зсувів. Це дає змогу істотно підвищити точність операцій з оброблення отворів.

*Практичне значення* результатів полягає у створенні інженерної методики, що дозволяє в умовах виробництва попередньо оцінювати очікувані похибки оброблення отворів та забезпечувати відповідний рівень точності.

*Апробація результатів.* Основні результати та висновки магістерської роботи були представлені й обговорені на наукових семінарах кафедри «Прикладної механіки та мехатроніки».

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

#### 1.1 Аналіз об'єкта виробництва

У даній магістерській роботі об'єктом дослідження та виробництва є елеватор КМ-140.00.00.000. Основними елементами конструкції елеватора є корпус, виготовлений зі сталевих поковок. У лівій частині корпусу розташована защіпка, що утримує корпус у закритому положенні. На корпусі шарнірно закріплена рукоятка, при опусканні та повороті якої «на себе» відбувається відкриття защіпки елеватора.

Для запобігання самовільному розкриттю елеватор оснащено замком із підпружиненою защіпкою, яка зчіплюється із зубом-фіксатором. Відкриття елеватора здійснюється за допомогою рукоятки шляхом опускання її вниз і повороту навколо осі зусиллям не більше 150 Н. Перевірку величини прикладеної сили необхідно виконувати відповідно до методики заводу-виробника.

У верхній частині корпусу елеватора розміщена розточка під муфту труби, що унеможливорює вихід труби з елеватора у випадку самовідкриття. Шарнірні саморозкривні запобіжники штропів забезпечують зручне введення штропів у провущини та запобігають їхньому випадінню під час роботи.

#### Порядок роботи з елеватором

Елеватор підвішують на штропах шляхом введення штропів у провущини. Після встановлення запобіжники штропів автоматично зачиняються.

При наближенні елеватора до стола ротора запобіжники штропів відкриваються. У момент торкання елеватором ротора штропи, рухаючись далі, ковзають по скосах полиць елеватора та виходять із провущин.

Відкривання елеватора виконується однією рукою: рукоятку опускають вниз, повертають у крайнє ліве положення та відтягують корпус «на себе».

Закривання елеватора здійснюється за рукоятку шляхом захоплення корпусу і закривання його кидком.

## 1.2 Відпрацювання деталі на технологічність

Корпус – це одна з головних деталей елеватора типу КМ. Виготовлення із сталі 40Х ДСТУ 4543:2006 методом штампування. Наведемо фізико-механічні характеристики матеріалу.

Хімічний склад сталі 40Х (ДСТУ 4543:2006 )

Елемент Вміст, %

C 0,38–0,45

Si 0,17–0,37

Mn 0,50–0,80

Cr 0,80–1,10

Ni  $\leq 0,30$

Cu  $\leq 0,30$

S  $\leq 0,035$

P  $\leq 0,035$

## 2. Механічні властивості (після нормалізації або гарт+відпуск)

Згідно з ДСТУ 4543:2006, для діаметра до 100 мм:

- Границя міцності  $\sigma_B$ : 900–1100 МПа
- Границя текучості  $\sigma_s$ : 700–800 МПа
- Відносне подовження  $\delta$ : 10–12 %
- Звуження  $\psi$ : 40–50 %
- Ударна в'язкість КСУ:  $\geq 39$ –49 Дж/см<sup>2</sup>
- Твердість після гартування та відпуску: HRC 28–45 (залежно від режиму)

Конфігурація деталі створює певні труднощі при отриманні заготовки. Водночас, з позиції механічної обробки більшість поверхонь не становлять значних складнощів для досягнення необхідного квалітету точності.

Поверхні, розміри яких позначені квадратними дужками, необхідно обробляти одночасно з корпусом, що дозволяє забезпечити точність отвору  $\varnothing 140$  мм, призначеного для захвату труби.

Певні труднощі виникають під час обробки площин, які мають спряження з вертикальними поверхнями. На цих спряжених поверхнях (позначених літерами М і К) згідно з технічними вимогами допускаються сліди від інструменту шириною до 8 мм і глибиною до 0,2 мм, а на аналогічних верхніх поверхнях — до 0,5 мм. Досягнення таких параметрів не завжди можливе на практиці, що може призводити до появи концентраторів напружень у деталі.

Нетехнологічними є операції з оброблення отвору  $\varnothing 28H12$  та округлення радіусної поверхні R20, оскільки центри цих радіусів не співпадають і між ними існує ексцентриситет 1 мм.

На поверхнях М і К необхідно витримати допуск на площинність 0,1 мм. Інші оброблювані поверхні не викликають суттєвих труднощів при механічній обробці. Шорсткість більшості поверхонь становить Ra 10...20, що не потребує великої кількості переходів. Загалом, за винятком зазначених вище особливостей, деталь є технологічною, дозволяє застосування високопродуктивних режимів різання, характеризується достатньою жорсткістю та забезпечує вільний доступ інструменту до більшості поверхонь. У конструкції деталі наявні необхідні базові поверхні.

Кількісний аналіз технологічності деталі виконується за коефіцієнтами використання матеріалу, уніфікації конструктивних елементів, точності розмірів, шорсткості поверхонь тощо. Для проведення оцінки складається таблиця на основі даних табл. 1.2, після чого виконується детальний аналіз конструкції деталі.

1. Коефіцієнт уніфікації виробу:

$$K_y = \frac{Q_{y.e}}{Q_e} = \frac{14}{32} = 0,43,$$

де  $Q_{y.e}$  - кількість уніфікованих елементів;

$Q_e$  - загальна кількість елементів.

Оскільки  $K_y = 0,43 < [K_y] = 0,6$ , то деталь не є уніфікованою.

Таблиця 1.2 - Таблиця для аналізу технологічності деталі.

Назва поверхні	Кількість поверхонь $Q_e$	Кількість уніфікованих елементів $Q_{y.e}$	Квалітет точності	Шорсткість поверхонь Ra, мкм
1	2	3	4	5
Базова поверхня 1	1	-	12	12,5
Базова поверхня 2	2	2	12	12,5
Базова поверхня 3	2	2	12	12,5
Радіусна поверхня 4	1	-	10	6,3
Торець створи 5	2	2	12	12,5
Виступи створки 6	4	-	12	6,3
Виступи створки 7	4	-	10	6,3
Зуб створки 8	1	-	12	12,5
Площадка 9	2	2	12	6,3
Площадка 10	1	-	10	6,3
Нахилена поверхня 11	1	-	11	6,3
Площадка 12	1	-	12	12,5
Уступ 13	1	-	12	12,5
Лунка під пружину 14	2	2	12	12,5
Отвір 15	1	-	10	12,5
Отвір 16	1	-	12	6,3
Отвір 17	2	2	10	6,3
Поверхня 18	2	2	11	12,5
Фаска 19	1	-	12	12,5
Загальна кількість	32	14		

2. Коефіцієнт точності виробу:

$$K_{T.g} = 1 - \frac{1}{A_m},$$

де  $A_m$  - середній квалітет точності.

$$A_m = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + 19n_{19}}{\sum_{i=1}^m n_i},$$

де  $n_i$  - кількість елементів даного квалітету.

$$A_m = \frac{6 \cdot 10 + 3 \cdot 11 + 23 \cdot 12}{32} = 11,53;$$

$$K_{T.6} = 1 - \frac{1}{11,53} = 0,913 > [K_T] = 0,8.$$

Отже деталь технологічно відповідає нормативу.

3. Коефіцієнт шорсткості:

$$K_{III} = \frac{1}{B_{cp}},$$

де  $B_{cp}$  - середня шорсткість поверхні.

$$B_{cp} = \frac{1}{Q_e} (0,01 \cdot n_1 + 0,02 \cdot n_2 + \dots + 40n_{i3}) = \frac{1}{32} (6,3 \cdot 12 + 12,5 \cdot 20) = 10,175.$$

$$\text{Звідси } K_{III} = \frac{1}{B_{cp}} = \frac{1}{10,175} = 0,098 < [K_{III}] = 0,32.$$

Отже шорсткість відповідає нормативу.

### 1.3 Попереднє встановлення типу та організаційної форми виробництва

Тип виробництва визначається по коефіцієнту закріплення операції  $K_{30}$ , тобто по відношенню кількості всіх різних операцій технологічних, які виконані чи підлягають виконанню на протязі місяця, до кількості робочих місць.

Вихідними даними є:

Річна програма -  $N_1 = 50000 \text{шт}$ ;

Кількість деталей на виріб -  $m = 1 \text{шт}$ ;

% запасних частин -  $\beta = 0\%$ ;

Режим роботи заводу - 2 зміни.

Дійсний фонд часу обладнання  $F_o = 4015_{год}$  при двозмінній роботі.

Визначаємо такт випуску деталей

$$\tau = \frac{60 \cdot F_o}{N} = \frac{60 \cdot 4015}{50000} = 4,818_{хв}.$$

Визначаємо коефіцієнт закріплення операції.

Розрахунок проводимо для операції 010 – Фрезерна.

- приймаємо значення нормативного коефіцієнта завантаження обладнання  $\eta_n = 0,8$ .

- знаходимо кількість одиниць  $m_p$  технологічного обладнання:

$$m_p = \frac{T_{шт}}{\tau} = \frac{9,815}{4,818} = 2,04.$$

Приймаємо фактичну кількість верстатів на даній операції  $m_\phi = 3$ .

- знаходимо дійсний коефіцієнт завантаження обладнання  $\eta_\phi$ :

$$\eta_\phi = \frac{m_p}{m_\phi} = \frac{2,04}{3} = 0,68.$$

- кількість операцій

$$O = \frac{\eta_n}{\eta_\phi} = \frac{0,8}{0,68} = 3,53$$

Приймаємо:  $O=4$  операції.

Для інших операцій обчислюємо аналогічно.

Дані розрахунків заносимо в таблицю 1.3.

- знаходимо коефіцієнт закріплення операцій

$$K_{zo} = \frac{KO}{K_{p.m}} = \frac{41}{24} = 1,7.$$

Таблиця 1.3- Вихідні дані для розрахунку  $K_{30}$ 

№ п/п	№ опер	Назва операції	Норма часу $T_{ум}$ , хв	$m_p$	$m_\phi$		$\eta_\phi$	
					поперед- не значення	кінцеве значен- ня	Поперед- не значення	кінцеве значення
1	010	Фрезерна	9,815	2,04	3	3	0,68	0,68
2	015	Фрезерна	2,86	0,58	1	1	0,58	0,58
3	020	Фрезерна	7,04	1,46	2	2	0,73	0,73
4	023	Фрезерна	8,03	1,66	2	3	0,83	0,55
5	025	Фрезерна	3,48	0,72	1	1	0,72	0,72
6	030	Фрезерна	2,47	0,51	1	1	0,51	0,51
7	035	Свердлильна	7,43	1,54	2	2	0,77	0,8
8	040	Свердлильна	0,39	0,08	1	1	0,08	0,78
9	045	Фрезерна	7,49	1,55	2	2	0,78	0,615
10	050	Фрезерна	5,9	1,23	2	2	0,615	0,68
11	055	Фрезерна	6,57	1,36	2	2	0,68	0,75
12	060	Стругальна	14,5	3	3	4	1	0,17
13	065	Фрезерна	0,84	0,17	1	1	0,17	
Всього			76,115	-		$K_{p.m} =$ $= 24$	-	

Отже виходячи із визначеного коефіцієнта  $K_{30}$ , встановили, що виробництво в даному випадку є великосерійне, для якого цей коефіцієнт знаходиться в таких межах  $1 < K_{30} \leq 10$ .

- знаходимо середній штучний час, що витрачається на виконання основних операцій маршруту

$$T_{сер} = \frac{\sum_{i=1}^k T_{ум}}{k} = \frac{76,115}{13} = 5,855 \text{ хв},$$

де  $k$  – кількість основних операцій маршруту обробки.

Встановлення організаційної форми виробництва.

Доцільність застосування потокової форми організації виробництва, як найбільш ефективної для певного об'єму випуску деталей, встановлюється на основі порівняння середньої норми штучного часу  $T_{сер}$  для основних операцій з розрахунковим тактом  $\tau$  випуску, тобто по середній кількості робочих місць  $R_M$ , що приходяться на одну операцію.

$$R_M = \frac{T_{сер}}{\tau} = \frac{1}{60} \cdot \frac{T_{сер} \cdot N}{F_{\partial}} = \frac{1 \cdot 5,855 \cdot 50000}{60 \cdot 4015} = 1,2.$$

При  $R_M \geq 0,6$  - приймаємо потокову форму виробництва. Отже  $R_M = 1,2 > 0,6$  - то форма виробництва потокова.

Висновки. Корпус КМ-140.00.00.002, розглянутий у даній магістерській роботі, належить до групи корпусних деталей. У процесі роботи виконано як якісний, так і кількісний аналіз технологічності його конструкції. Окрім того, визначено тип виробництва та встановлено організаційну форму його здійснення.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

#### 2.1 Аналіз базового технологічного процесу

Оскільки деталь корпус МК-160.00.001 використовується в умовах нафтогазової промисловості, де спостерігаються вологість, агресивне середовище та контакт із ґрунтом, технічні вимоги до неї повністю відповідають її функціональному призначенню. Окрім вимог, зазначених на кресленні, необхідно дотримуватися таких умов:

- Допустиме провисання корпусу – не більше 4 мм. Елеватори повинні відповідати встановленим технічним вимогам. Дозволяється заміна матеріалів за умови, що це не погіршує якість деталей та виробу. Якість заготовок має відповідати ДСТУ 8479:2015 «Поковки з конструкційної вуглецевої і легованої сталі. Загальні технічні вимоги», група поковок IV, категорія міцності КП590.
- Після поковки та термообробки деталь повинна бути очищена від нагару. На поверхні не допускаються тріщини, задирки та інші дефекти.
- Місцеві дефекти допускається усувати пологою вирубкою або зачисткою, глибина якої не повинна перевищувати 40 % припуску. Використання зварювання не дозволяється.
- Виправлення короблення шляхом плавлення після термообробки забороняється.
- Граничні відхилення розмірів необроблюваних поверхонь повинні відповідати кресленням.

Для оброблюваних поверхонь без зазначених допусків слід застосовувати:

- для отворів —  $H14$ ,
- для валів —  $h14$ ,
- для інших поверхонь —  $\pm 14/2$ .

- Відхилення від паралельності та перпендикулярності повинні відповідати X ступеню точності за ДСТУ 24643:2006. Вісі отворів у корпусі, створці, скобі та рукоятці повинні бути попарно співвісними.

- Допуски форми та розташування оброблюваних поверхонь, не вказані на кресленні, не повинні перевищувати полів допусків на відповідні розміри.

Для даної деталі на заводі розроблено маршрутно-операційний технологічний процес її виготовлення, що забезпечує дотримання всіх зазначених технічних вимог.

Згідно даної заготовки технологічний процес виготовлення деталі наступний:

005 Контрольна.

Провести вхідний контроль штамповки по ТУ26-02-933.

010 Вертикально-фрезерна.

Фрезерувати базові поверхні.

011 Вертикально-фрезерна з ЧПУ.

Фрезерувати радіусну поверхню.

015 Слюсарна.

Зачистити радіусну поверхню.

020 Вертикально-фрезерна.

Фрезерувати торці стулок.

021 Вертикально-фрезерна з ЧПУ.

Фрезерувати чотири уступи.

025 Вертикально-фрезерна.

Фрезерувати площину під кутом  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ .

030 Горизонтально-фрезерна.

Фрезерувати поверхню лунки під пружину.

035 Свердлильна.

Свердлити отвори  $\varnothing 20$  і  $\varnothing 16$  мм. Зенкерувати.

040 Свердлильна.

Свердлити отвір Ø6 мм.

045 Вертикально-фрезерна.

Фрезерувати 2 виступи під кутом  $\varphi$  і  $\varphi'$ .

050 Вертикально-фрезерна.

Фрезерувати поверхню під кутом  $13^\circ$ .

055 Горизонтально-фрезерна.

Фрезерувати зуб стулки.

056 Повздовжньо-стругальна.

Стругати 2 зуба стулки, витримуючи розміри 1, 4.

060 Вертикально-фрезерна.

Фрезерувати фаску.

065 Термічна.

070 Термічна.

075 Термічна.

Оскільки цей технологічний процес приймається як базовий, виникає необхідність його подальшого вдосконалення. Аналіз показує, що за умови річної виробничої програми 50 тисяч штук він є недостатньо ефективним, оскільки ґрунтується на використанні універсального обладнання. Для багатосерійного виробництва застосування універсальних верстатів є недоцільним.

Детальний розгляд окремих операцій свідчить, що їх можна об'єднати, забезпечивши одночасну обробку кількох поверхонь. Такі зміни дадуть можливість істотно скороти час обробки деталі. Вдосконалення обладнання та оптимізація режимів різання дозволять підвищити точність виготовлення та довговічність виробу.

## 2.2 Вибір та економічне обґрунтування методу отримання заготовки

Виходячи з вище наведеного типу виробництва великосерійне і марки матеріалу – сталь 40Х ДСТУ 4543:2006, з якого виготовляється дана деталь, вибираємо наступні способи отримання заготовки:

1. Заготовка із сортового прокату;
2. Заготовка поковки.

Вартість заготовок із сортового прокату:

$$S_{cn} = Q_3 C_3 - (Q_3 - Q_0) C_0 + S_{3.o},$$

де  $Q_3$  - маса заготовки, кг;

$Q_0$  - маса деталі, кг;

$C_3$  - ціна одного кг маси матеріалу заготовки, грн.;

$C_0$  - ціна одного кг маси матеріалу відходів, грн.;

$S_{3.o}$  - технологічна вартість заготівельних операцій правки, різки, калібрування прокату, грн..

$Q_3 = 22,5 \text{ кг}$ ;  $Q_0 = 16 \text{ кг}$ ; матеріал заготовки (деталь) – сталь 40Х у вигляді круглого прокату.

$C_3$  для 1т =  $137000 \div 168000$  грн. Звідси для 1 кг маємо  $C_3 = 137 \div 168 \text{ грн}$ .

Приймаємо 150 грн.

$C_0$  для 1т =  $22600 \div 28100$  грн. Звідси для 1 кг маємо  $C_0 = 226 \div 281 \text{ грн}$ .

Приймаємо 250 грн.

$S_{3.o} = 704 \text{ грн}$ .

Отже  $S_{cn} = 22,5 \cdot 150 - (22,5 - 16) \cdot 2,50 + 704 = 1025 \text{ грн}$ .

Вартість поковок визначається:

$$S_n = 0,001 \cdot C_n \cdot Q_n \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9 \cdot K_{10},$$

де  $C_n$  - базова вартість 1 т поковок заданого виду, грн.;

$Q_n$  - маса поковки, кг;

$K_6 \dots K_{10}$  - коефіцієнти, які враховують складність  $K_6$ , масу  $K_7$ , програму випуску  $K_8$ , матеріалу  $K_9$  і точність  $K_{10}$  поковок. Із таблиць визначаємо:

$K_6 = 1,15$ ;  $K_7 = 0,8$ ;  $K_8 = 1$ ;  $K_9 = 1,13$ ;  $K_{10} = 1$ .

$Q_n = 21,5 \text{ кг}$ ;  $C_n = 37300 \text{ грн}$ .

Отже  $S_n = 0,001 \cdot 37300 \cdot 21,5 \cdot 1,15 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,13 \cdot 1 = 834 \text{ грн}$ .

Висновок. Порівнюючи 2 методи отримання заготовки, можемо сказати, що економічніше брати метод отримання заготовки – поковка, оскільки ціна на отримання поковки  $S_n = 834 \text{ грн}$  менша ціни прокату  $S_{cn} = 1025 \text{ грн}$ . Метод отримання заготовки з прокату вимагає лишніх затрат на такі операції, як: правка, різка та інші. Метод отримання поковки дозволяє отримувати заготовки без великих витрат на відходи ніж прокат.

### 2.3 Вибір методів обробки поверхонь

Технологічні методи обробки вибираються за умови забезпечення «уточнення» допуску заготовки до відхилень заданих допуском деталі. Для його визначення користуються розрахунковим уточненням:

$$\varepsilon_p = \frac{T_3}{T_0},$$

де  $T_3; T_0$  - відповідно допуски заготовки та деталі.

Показником того, що необхідна кількість методів обробки поверхні деталі визначена правильно є рівність:

$$\varepsilon_p \leq \varepsilon_n$$

де  $\varepsilon_n = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \dots \cdot \varepsilon_m = \prod_{i=1}^m \varepsilon_i$  - загальне уточнення.

Якщо на поверхні потрібно досягнути точності не нижче шостого квалітету, то кількість методів обробки  $n$  визначається за формулою:

$$n = \frac{\lg \varepsilon_p}{0,46}.$$

Уточнення  $\varepsilon_i$  будь-якого методу обробки наближено визначається:

$$\varepsilon_i = \frac{T_{i-1}}{T_i},$$

де  $T_{i-1}$  - допуск на розмір на попередньому переході;

$T_i$  - допуск на розмір на поточному переході.

Під час вибору методів обробки враховують, що на чорнових і напівчистових операціях підвищення точності зазвичай становить від одного до трьох квалітетів, тоді як на чистових — на один-два квалітети.

Однакових показників точності можна досягти різними способами обробки, однак перевагу слід надавати тим методам, які забезпечують мінімальну кількість переходів. Для поверхонь однієї деталі бажано застосовувати уніфіковані методи обробки. Це дає можливість зменшити номенклатуру ріжучого інструменту, суміщати обробку кількох поверхонь, скоротити кількість установок і, відповідно, підвищити продуктивність.

Вибір методів обробки поверхонь здійснюється у такій послідовності:

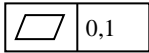
1. Визначення допусків на заготовку – уточнення початкової точності вихідної заготовки.
2. Обчислення необхідного розрахункового уточнення .
3. Встановлення кінцевих методів обробки, які забезпечують потрібну точність та шорсткість.
4. Визначення потрібної кількості переходів,  $n$ , що забезпечать досягнення заданих параметрів.
5. Вибір попередніх методів обробки, які забезпечують підготовку поверхні до чистових операцій.
6. Для кожного методу обробки встановлюється середньо-економічний квалітет та відповідний допуск.
7. Розрахунок уточнення для кожного технологічного переходу .
8. Визначення загального уточнення , що має бути забезпечене всією сукупністю операцій.
9. Перевірка правильності обраних методів обробки та відповідності їх необхідним показникам точності.

Вибір методів обробки виконується насамперед для тих поверхонь деталі, які мають найвищі вимоги до точності. Для поверхонь із менш жорсткими вимогами до точності, але високими вимогами до шорсткості чи площинності,

методи обробки підбираються, виходячи з технологічної доцільності. Зазвичай це включає: чорнове фрезерування, чистове фрезерування та шліфування.

Для встановлення методів обробки поверхонь складемо таблицю 2.1

Таблиця 2.1- Методи обробки поверхонь

Поверхня	Розмір	Ra, мкм	Геометрична точність	Методи обробки		
				Чорновий	Чистовий	Викінч.
1	2	3	4	5	6	7
1	178 <sub>-1,2</sub>	12,5	-	+		
2	46±1	12,5	-	+		
3	62±1	12,5	-	+		
4	R20±0,09	6,3	-	+		
5	140 <sub>-1,0</sub>	12,5	-	+	+	
6	58±0,3	12,5	-	+		
7	60 <sup>+2</sup>	6,3				
8	R3	12,5	-	+	+	
9	72±0,6	6,3	-			
10	79±0,3	6,3	-		+	
11	68 <sup>+0,2</sup>	12,5	-	+	+	
12	160 <sub>-0,3</sub>	6,3	-	+	+	
13	28±0,2	12,5	-	+	+	
14	R62,5	12,5	-	+		
15	Ø6 <sup>+0,3</sup>	12,5	-	+		
16	Ø20 <sup>+0,21</sup>	6,3	-	+	+	
17	Ø16 <sup>+0,18</sup>	12,5		+	+	

На прикладі поверхні R20±0,09 покажемо вибір методу обробки поверхні (по коефіцієнту уточнення). Коефіцієнт уточнення – це відношення допуску на поверхню до механічної обробки до допуску на поверхню після її обробки.

Загальний коефіцієнт уточнення:

$$\varepsilon_{заг} = \frac{T_{заг}}{T_{дет}}$$

Проміжний коефіцієнт уточнення:

$$\varepsilon_o = \frac{T_{до.обр}}{T_o}$$

Кількість видів обробки поверхні назначена правильно, коли

$$\varepsilon_{заг} \leq \varepsilon_{o1} \cdot \varepsilon_{o2} \cdot \varepsilon_{oi}$$

де  $\varepsilon_{oi}$  - і-ий коефіцієнт уточнення.

Для поверхні  $R20 \pm 0,09 \Rightarrow T_{дет} = 0,18 \text{ мм}$ .

Допуск заготовки  $T_з = 3 \text{ мм}$ . Отже  $\varepsilon_{заг} = \frac{3}{0,18} = 16,6$ .

Призначаємо вид обробки – фрезерування радіусної поверхні на прохід чорнове.

Чорнове фрезерування:  $T_{ф.чорн} = 0,5 \text{ мм}$  (10 кв. точн.).

$\varepsilon_{o1} = \frac{3}{0,5} = 6$ . Досягаємо шорсткості оброблення Ra 12,5.

Призначаємо наступний вид обробки – фрезерування радіусної поверхні на прохід чистове.

Чистове фрезерування:  $T_{ф.чист} = 0,18 \text{ мм}$  (10 кв. точн.).

$\varepsilon_{o2} = \frac{0,5}{0,18} = 2,8$ . Досягаємо шорсткості оброблення Ra 6,3.

Отже,  $\varepsilon_{заг} = 16,6 \text{ мкм} < 6 \cdot 2,8 = 16,8 \text{ мкм} = \varepsilon_p$ .

## 2.4 Вибір та розрахункове обґрунтування баз

Під час аналізу функціонального призначення поверхонь деталі визначаються основні та допоміжні бази.

Основні бази — це ті поверхні, які задають положення деталі відносно інших елементів вузла. У даній деталі до основних баз належать торцеві поверхні корпусу.

Допоміжні бази — це поверхні, що визначають положення всіх інших елементів, які приєднуються до корпусу та займають відносно основних баз фіксоване положення. У цьому випадку допоміжними базами є чотири уступи.

Виходячи з функціонального призначення деталі та аналізу технічних вимог, а також для забезпечення необхідної точності обробки, як чистові технологічні бази обираються ті поверхні, від яких задається положення робочих (виконавчих) поверхонь. У даному випадку це торці корпусу та центральний отвір.

При заданій схемі базування конструкторська база співпадає з технологічною.

Для фрезерування зуба створки потрібно витримати розмір  $R=3\text{мм}$ ;  $l_2 = 6^{-0,5}\text{мм}$ ;  $\alpha = 35^\circ \pm 30'$ ;  $l_1' = 65_{-0,6}^{+0,4}\text{мм}$ .

Отримана похибка базування  $\varepsilon_\delta = Tl = 0 + 0,5 = 0,5\text{мм}$ .

## 2.5 Розрахунок припусків

Розрахунок припусків на механічну обробку поверхонь проводимо для одної поверхні розрахунково-аналітичним методом, а на решту поверхонь табличним методом.

Оброблювана поверхня  $R20 \pm 0,04$ . При обробленні цієї радіусної поверхні використаємо формулу мінімального припуску:

$$Z_{\min} = R_{Z-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta \varepsilon_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2},$$

де  $R_{Z-1}$  - висота мікро нерівностей на попередньому переході;

$h_{i-1}$  - глибина поверхневого дефектного шару на попередньому переході;

$\varepsilon_{i-1}; \varepsilon_i$  - просторові відхилення.

Таблиця 2.2 - Таблиця до розрахунків припусків

План обробки поверхні	Елементи припуску, мкм				Розрахункові величини		Допуск на міжопераційн. розмір $T_d$ , мкм	Прийняті р-ри на переходи, мм		Граничне припуски, мкм	
	$R_Z$	$h$	$\Delta\varepsilon$	$\varepsilon$	$Z_{\min}$ , мкм	$d_{\min}$ , мм		$d_{\max}$	$d_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$
Штамповк а	15 0	250	620	-	-	21,267	810	22,077	21,267	-	-
Фрезер. чорнове	32	50	125	80	1020	20,247	390	20,637	20,247	1440	1020
Фрезер. чистове	10	15	64	80	287	19,96	80	20,04	19,96	597	290
Сумарне	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2037	1310

Елементи припуску  $R_Z$  і  $h$  вибираємо з таблиць [1]. Також вибираємо  $\Delta\varepsilon$  - похибку короблення і  $\varepsilon$  - похибку встановлення для даного пристрою.

Розрахункові величини:  $Z_{\min \text{ ф.чорн.}} = 150 + 25 + 620 = 1020 \text{ мкм}$ ,

$Z_{\min \text{ ф.чист.}} = 32 + 50 + 125 + 80 = 287 \text{ мкм}$ .

Таким чином, маючи розмір розрахунковий після послідовного переходу  $d_{\min} = d - 0,04 = 20 - 0,04 = 19,96 \text{ мм}$ .

Для інших переходів одержимо:

- для фрезерування чорнового  $d_{\min} = 19,96 + 0,287 = 20,247 \text{ мм}$ ;
- для штамповки  $d_{\min} = 20,247 + 1,02 = 21,267 \text{ мм}$ .

Значення допусків кожного переходу приймаємо по таблицях. Згідно якості точності того чи іншого виду обробки.

У графі «прийняті розміри на переходи» найбільше значення  $d_{\max}$  дістаємо з суми  $d_{\min} + \text{допуск}$ .

- для штамповки  $d_{\max} = 21,267 + 0,81 = 22,077 \text{ мм}$ ;
- для фрезерування чорнового  $d_{\max} = 20,247 + 0,39 = 20,637 \text{ мм}$ ;
- для фрезерування чистового  $d_{\max} = 19,96 + 0,08 = 20,04 \text{ мм}$ .

Максимальні припуски  $Z_{\max}$  дістаємо з різниць максимальних розмірів  $d_{\max}$ .

- для фрезерування чорнового  $Z_{\max}=22,077-20,637=1440\text{мкм}$ ;
- для фрезерування чистового  $Z_{\max}=20,637-20,04=597\text{мкм}$ ;

Загальні припуски визначаємо сумуючи їх.

$$\Sigma Z_{\max}=1440+597=2037\text{мкм};$$

$$\Sigma Z_{\min}=1020+290=1310\text{мкм}.$$

Загальний сумарний припуск записуємо в графу «сумарне».

Загальний номінальний припуск на деталь:

$$Z_{\text{НОМ}}=(R_{\max}-R_{\min})/2=(20,04-19,96)/2=80/2=40\text{мкм}.$$

$$d_{\text{НОМ.заг}}=d_{\text{НОМ}}-z_{\text{НОМ}}=20,04-0,04=20\text{мм}.$$

Проведемо перевірку правильності виконаних розрахунків:

$$Z_{\max \text{ ф.чист.}}-Z_{\min \text{ ф.чист.}}=597-290=307; \delta_2-\delta_1=390-80=307\text{мкм}.$$

$$Z_{\max \text{ ф.чорн.}}-Z_{\min \text{ ф.чорн.}}=1440-1020=420; \delta_3-\delta_2=810-390=420\text{мкм}.$$

Накреслимо схему графічного розміщення припусків і допусків на обробку  $R20\pm 0,04$  (див. рис. 2.2.). На інші оброблювані поверхні створки припуски і допуски вибираємо по таблицях і дані їх записуємо в табл. 2.3.

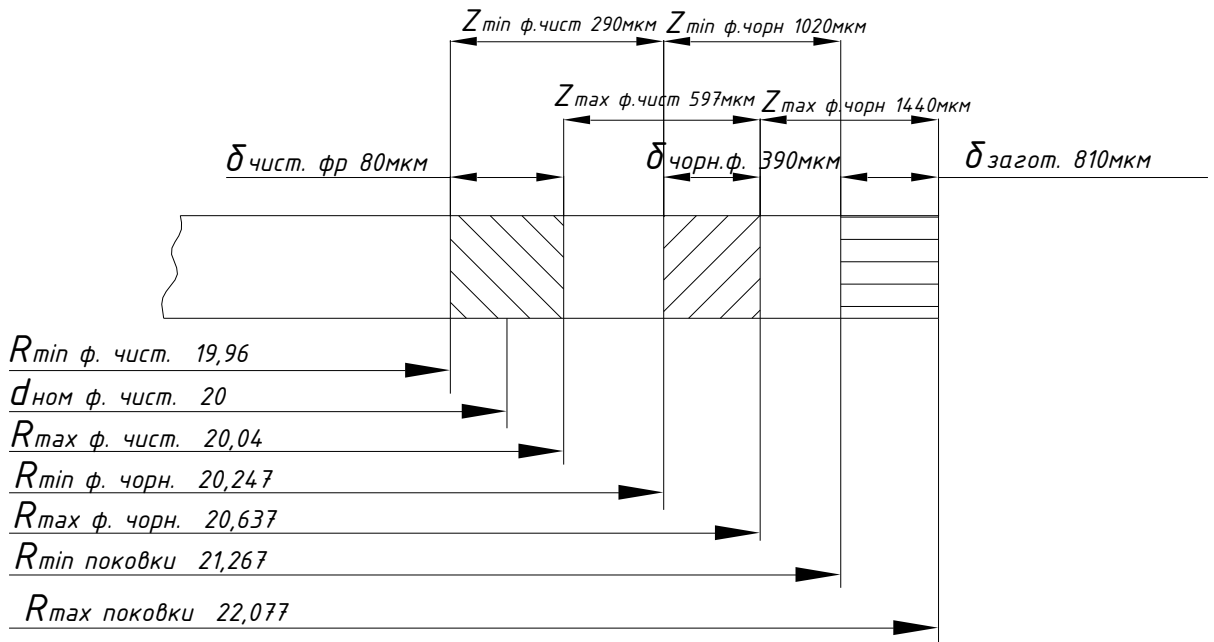


Рисунок 2.2- Схема графічного розміщення припусків і допусків на обробку поверхні  $R20\pm 0,04$ .

Припуски та допуски на інші поверхні призначаємо згідно з ISO 8062-3.

Таблиця 2.3 - Припуски та допуски на поверхні

Розмір, мм	Припуск, мм			Допуск, мм
	Основний	Додатковий	Загальний	
178 <sub>-1,2</sub>	3	0,5; 0,5; 1,0	5,0	+3,3 -1,7
46±1	3	0,5; 0,5; 1,0	5,0	+3,3 -1,7
62±1	2,7	0,5; 0,5	3,6	+2,4 -1,2
R20±0,04	<sup>1,02</sup> 0,29	0,5; 0,5	2,2	+1,4 -0,8
140 <sub>-1,0</sub>	3	0,5; 0,5; 1,0	2x5	+3,3 -1,7
72±0,6	2,5	0,5; 0,6	2x3,6	+2,4 -1,2
79±0,3	2,5	0,5; 0,6	2x3,6	+2,4 -1,2
68 <sup>+0,2</sup>	2,5	0,5; 0,6	3,6	+2,4 -1,2
160 <sub>-0,3</sub>	3	0,5; 0,6	4,0	+2,7 -1,3
28±0,2	1,9	0,5; 0,5	2x2,8	+1,8 -1,0
R62,5	2,2	0,5; 0,5	3,2	+2,1 -1,1
Ø20 <sup>+0,21</sup>	15,2 4,8	— —	20	—
Ø16 <sup>+0,18</sup>	15,14 0,86	— —	16	—
Ø6 <sup>+0,3</sup>	6	—	6	—

## 2.6 Визначення режимів різання і технологічного обладнання

Для однієї з поверхонь розглянемо детальний розрахунок режимів різання і виберемо моделі верстата. Для інших поверхонь дані з довідників заносимо в табл. 2.4.

Для поверхні 5 – базова поверхня (торець), яка має чорнове фрезерування розрахуємо режими різання.

Вибираємо фрезу торцеву насадну із вставними ножами, які споряджені пластинками з твердого сплаву Т5К10.

Діаметр фрези  $D_\phi=250\text{мм}$ . Згідно ISO 11529:2013.

Згідно ISO 11529:2013=>  $V_{\phi p}=47\text{мм}$ ;  $d(H7)=50\text{мм}$ ;  $Z=24$ .

Вибираємо глибину різання і подачу ( $t$  і  $S_Z$ ).

$t=5\text{мм}$ . Подача  $S_Z$  на зуб фрези (при потужності верстату  $> 10\text{кВт}$ ) для сплаву Т5К10 =>  $S_Z=0,16 \div 0,24\text{мм/зуб}$ . Вибираємо  $S_Z=0,18\text{мм/зуб}$ .

Звідси визначаємо подачу хвилину  $S_M$  мм/хв.:

$$S_M = S_Z \cdot Z \cdot n = 0,18 \cdot 24 \cdot 200 = 864\text{мм/хв}.$$

Вибираємо період стійкості інструменту  $T=240\text{хв}$ .

Визначаємо швидкість фрези, м/хв..

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^X \cdot S_z^Y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v;$$

де  $T$  – період стійкості інструменту ( $T=240\text{хв}$ ).

Коефіцієнти:  $C_v = 332$ ;  $q = 0,2$ ;  $X = 0,1$ ;  $Y = 0,4$ ;  $u = 0,2$ ;  $p = 0$ ;  
 $m = 0,2$ .

Поправочний коефіцієнт.

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv};$$

$$\text{де } K_{mv} = K_r \left( \frac{750}{\sigma_\sigma} \right)^{n_v},$$

де  $K_r = 1$ ;  $\sigma_\sigma = 810\text{МПа}$ .

При  $HV=241$  і  $\sigma_\sigma = 810\text{МПа}$  =>  $n_v = 1$  (фрези з твердого сплаву)

$$K_{nv} = 0,8; \quad K_{mv} = 0,65.$$

$$\text{Отже } V = \frac{332 \cdot 250^{0,2} \cdot 1 \cdot \left( \frac{750}{810} \right)^1 \cdot 0,8 \cdot 0,65}{240^{0,2} \cdot 5^{0,1} \cdot 0,18^{0,4} \cdot 47^{0,2} \cdot 24^0} = 156,8(\text{м/хв}).$$

Визначаємо частоту обертання фрези  $n$  (об/хв)

$$n = \frac{1000V}{\pi D},$$

де  $D$  - діаметр фрези ( $D = 250\text{мм}$ )

$$\text{- для фрези } n = \frac{1000 \cdot 156,8}{3,14 \cdot 250} = 199,7 (\text{об/хв})$$

Визначаємо силу різання і її складові  $P_y$ ;  $P_{yz}$ ;  $P_n$ ;  $P_V$ ;  $P_Z$ . Приведемо схему дії сил.

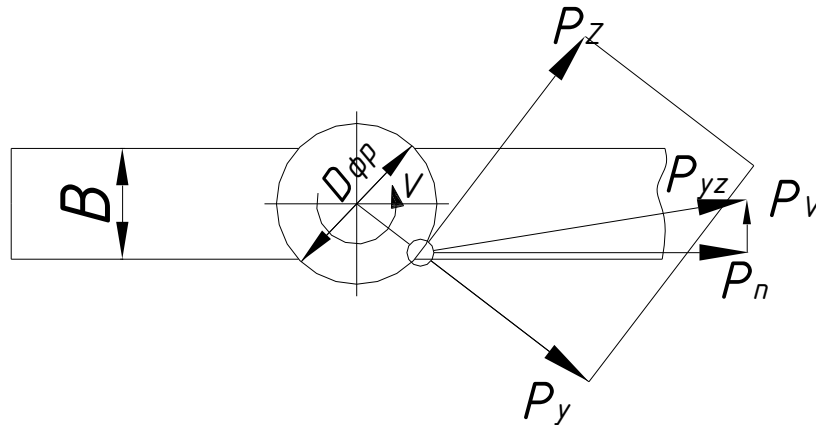


Рисунок 2.3 - Схема дії сил під час фрезерування

Головна складова сили різання при фрезеруванні – колова сила  $P_z$  (Н)

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^X \cdot S_z^Y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^\omega} \cdot K_{mp};$$

де  $z$  - кількість зубців фрези,  $z = 24$ ;

$t$  - глибина різання,  $t = 5\text{мм}$ ;

$D$  - діаметр фрези,  $D = 250\text{мм}$ ;

$n$  - частота обертання фрези,  $n = 199,7\text{об/хв}$ .

Коефіцієнти:  $C_p = 825$ ;  $X = 1,0$ ;  $Y = 0,75$ ;  $u = 1,1$ ;  $q = 1,3$ ;  $\omega = 0,2$ ;

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_s}{750} \right)^n,$$

де  $n = 0,3$ ;  $\sigma_s = 810\text{МПа}$ .

$$K_{mp} = \left( \frac{810}{750} \right)^{0,3} = 1,03$$

$$\text{Отже } P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 5^1 \cdot 0,18^{0,75} \cdot 5,2^{0,3} \cdot 24}{250^{1,3} \cdot 199,7^{0,2}} \cdot 1,03 = 2457,6\text{Н}.$$

З співвідношень:

$$P_n : P_Z = 0,3 \Rightarrow P_n = 737,28H ;$$

$$P_V : P_Z = 0,85 \Rightarrow P_V = 2088,96H ;$$

$$P_y : P_Z = 0,35 \Rightarrow P_y = 860,16H ;$$

$$P_x : P_Z = 0,5 \Rightarrow P_x = 1228,8H .$$

Потужність різання:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{2457,6 \cdot 156,8}{1020 \cdot 60} = 6,29 \text{кВт} .$$

Коректуємо дані згідно паспорту верстата

- швидкість різання  $V = 157 \text{м/хв}$  ;
- частота обертання фрези  $n = \frac{100 \cdot 157}{3,14 \cdot 250} = 200 \text{об/хв}$  ;
- подача  $S_M = 864 \text{мм/хв}$  .

Потужність двигуна з врахуванням ККД:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{різ}}}{\eta} = \frac{6,3}{0,75} = 8,4 \text{кВт} .$$

Вибираємо верстат за таблицею за такими даними  $S_M = 864 \text{мм/хв}$  ;

$$N_{\text{дв}} = 8,4 \text{кВт} ; n = 200 \text{об/хв} .$$

Вибираємо повздовжньо-фрезерний верстат моделі 6605.

На інші операції і переходи режими різання вибираємо табличним методом за допомогою таблиць.

Вибір режимів різання; обладнання; інструменту проведемо у вигляді таблиці 2.4.

Таблиця 2.4- Призначення режимів різання табличним способом

№ оп	Назва і зміст операції	$t$ , мм	$S$ , мм/хв	$S_z$ , мм/зуб	$V$ , м/хв	$n$ , хв. <sup>-1</sup>	Верстат
1	2	3	4	5	6	7	8
010	Вертикально-фрезерна 1.Фрезерувати пов.1 2. Фрезерувати пов.2 3. Фрезерувати пов.3	5 5 5		160 160 160	113 113 113	400 400 400	6P13
015	Вертикально-фрезерна 1.Фрезерувати радіусну пов. начорно. 2.Фрезерувати радіусну пов. начисто	2,5 0,5		100 80	54,9 100	250 400	6P13
020	Повздовжньо-фрезерна 1. Фрезерувати торці одночасно.	5		180	157	200	6605
025	Вертикально-фрезерна 1.Фрезерувати торець 1 1.Фрезерувати торець 2	3 3		160 160	113 113	400 400	6P13

## Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8
030	Вертикально-фрезерна 1.Фрезерувати 3 площадки 2. Фрезерувати площадку і скос 3. Фрезерувати площадку і виступ 4. Фрезерувати 2 уступи і скос	3 3 3 3		465 465 465 465	115 115 115 115	250 250 250 250	6P13
035	Горизонтально-фрезерна 1. Фрезерувати пов. лунки 1 2. Фрезерувати пов. лунки 2	3 3		80 80	78,5 78,5	200 200	6P82
040	Свердлильна 1. Свердлити 2 отвори 1 2. Зенкерувати отвір 1 3. Свердлити 2 отвори 2 4. Зенкерувати отвір 2	7,6 0,43 9,37 0,63	0,16 0,16 0,16 0,16		17,8 16,5 15,7 13,5	315 315 250 250	2H55
045	Свердлильна 1.Свердлити отвір 1	3	0,08		15,0	800	2H55
050	Вертикально-фрезерна Фрезерувати послідовно 2 уступи	6		125	157	500	6P13
055	Повздовжньо-фрезерна 1. Фрезерувати одночасно 2 створки під кутом 13°	6		250	212	250	6605
060	Горизонтально-фрезерна 1.Фрезерувати зуб створки	3,5		100	38,4	125	6P82
065	Повздовжньо-стругальна 1. Стругати зуб створи.	40		5,0	18	5,9	T210
070	Повздовжньо-фрезерна 1.Фрезерувати фаску.	6		250	212	250	6605

## 2.7 Нормування технологічного процесу

Дані для розрахунку норм часу технологічного процесу зводимо в табл.. 2.5. Розрахунок основного часу для оброблення поверхонь робимо по

формулах з літератури.  $T_{дон}$  - допоміжний час вибираємо з довідника і визначаємо:

$$T_{дон} = T_{вст} + T_{закр} + T_{упр} + T_{в}$$

$$T_{обсл.} - \text{час на обслуговування, } T_{обсл.} = T_{мех} + T_{орг},$$

де  $T_{мех}; T_{орг}$  визначаємо в процентах від оперативного часу  $T_{он}$ .

$$T_{он} = T_o + T_{дон}$$

$T_{відп}$  - час на відпочинок визначаємо з довідників в процентах від оперативного часу.

Приведемо розрахунок  $T_o$  основного часу.

010 Вертикально-фрезерна.

$$T_o = \frac{L \cdot i}{S_M}$$

де  $L$  - довжина фрезерування, мм;

$S_M$  - подача фрези, мм/хв.

$i$  - кількість проходів фрези;

$$L = l + l_1;$$

де,  $l_1$  - величина врізання і перебігу, мм;

$l$  - довжина оброблення по кресленню, мм.

$$T_{o1} = \frac{L \cdot i}{S_M} = \frac{(178 + 22) \cdot 2}{160} = 2,5 \text{ хв};$$

$$T_{o2} = \frac{L \cdot i}{S_M} = \frac{(46 + 34) \cdot 4}{160} = 2 \text{ хв};$$

$$T_{o3} = \frac{L \cdot i}{S_M} = \frac{(62 + 18) \cdot 4}{160} = 2 \text{ хв};$$

$$\sum T_o = T_{o1} + T_{o2} + T_{o3} = 2,5 + 2 + 2 = 6,5 \text{ хв}.$$

Таблиця 2.5 - Нормування технологічного процесу

№ операції	Назва і зміст операції	$T_o$ , хв	$T_{дон}$ , хв				$T_{обсл.}$ , хв		$T_{відп.}$ , хв	$T_{шт.}$ , хв
			$T_{встан.}$ , хв	$T_{закр.}$ , хв	$T_{упр.}$ , хв	$T_{вим.}$ , хв	$T_{тех.}$ , хв	$T_{торг.}$ , хв		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
010	Вертикально-фрезерна	6,5	0,142	0,05	0,05	0,16	0,072	0,096	0,345	7,415
015	Вертикально-фрезерна	1,56	0,13	0,05	0,06	0,16	0,0195	0,027	0,137	2,164
020	Повздовжньо-фрезерна	1	0,142	0,05	0,06	0,17	0,02	0,0199	0,099	1,56
025	Вертикально-фрезерна	0,85	0,142	0,05	0,05	0,25	0,01	0,0187	0,094	1,46
030	Вертикально-фрезерна	2,38	0,149	0,05	0,075	0,3	0,026	0,0413	0,206	3,23
035	Горизонтально-фрезерна	3	0,143	0,05	0,05	0,16	0,125	0,0476	0,238	3,81
040	Свердлильна	7,58	0,114	0,05	0,06	0,17	0,031	0,055	0,315	8,375
045	Свердлильна	0,27	0,154	0,05	0,02	0,17	0,0032	0,0066	0,046	0,72
050	Вертикально-фрезерна	4,96	0,123	0,05	0,06	0,11	0,116	0,0742	0,265	5,76
055	Повздовжньо-фрезерна	3,91	0,123	0,05	0,05	0,08	0,065	0,0589	0,295	4,63
060	Горизонтально-фрезерна	4,35	0,123	0,05	0,05	0,2	0,055	0,0668	0,334	5,23
065	Повздовжньо-стругальна	16,9	0,154	0,05	0,04	0,2	0,18	0,312	0,867	18,7
070	Повздовжньо-фрезерна	0,55	0,154	0,05	0,066	0,07	0,011	0,012	0,062	0,97

Висновки. Здійснено економічне обґрунтування способу отримання заготовки та методів обробки поверхонь. Обрано й розрахунково підтверджено технологічні бази. Сформовано технологічний маршрут виготовлення деталі.

Виконано розрахунок припусків на обробку поверхонь. Визначено режими різання та підбрано відповідне технологічне обладнання. Розраховано норми часу для виконання технологічного процесу.

## ЧАСТИНА 3

### КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Верстатний пристрій для фрезерування зуба корпусу

##### 3.1.1 Вибір і обґрунтування принципу дії та структурної схеми

Для виконання фрезерування зуба в корпусі необхідно спроектувати спеціальний верстатний пристрій. Основне його призначення — забезпечити жорстке та стабільне закріплення деталі під час обробки, не допускаючи її зміщення чи деформації під дією затискних зусиль.

Пристрій застосовується на операції 060 «Горизонтально-фрезерна». На даному етапі деталь базується по центральному отвору та опорних площинах. Обробка виконується на горизонтально-фрезерному верстаті моделі 6P82. Для скорочення допоміжного часу, пов'язаного з установкою та зняттям деталі, у конструкції пристрою передбачається пневматичний затиск.

Під час фрезерування необхідно забезпечити витримування таких розмірів і параметрів:

- радіус  $R = 3$  мм;
- розмір від базової поверхні до краю зуба;
- розмір від краю отвору до краю зуба;
- кут нахилу зуба  $\alpha = 35^\circ \pm 30'$ .

Технічні вимоги до пристрою:

- неперпендикулярність поверхні К відносно поверхні Ж — не більше 0,06 мм;
- неперпендикулярність поверхні К відносно поверхонь Е та Н — не більше 0,04 мм.

Під час експлуатації пристрою необхідно забезпечити:

- надійне закріплення заготовки пневмозатискачем;
- недопущення виривання заготовки фрезою під час оброблення зуба;
- точне базування пристрою на столі верстата.

Для вибору оптимальної конструкції пристрою було розроблено кілька варіантів компоновки. При оцінюванні схем враховувалися такі фактори: здатність механізму до самогальмування, компактність, зручність у користуванні та надійність у роботі.

Наведемо схеми компоновання пристрою.

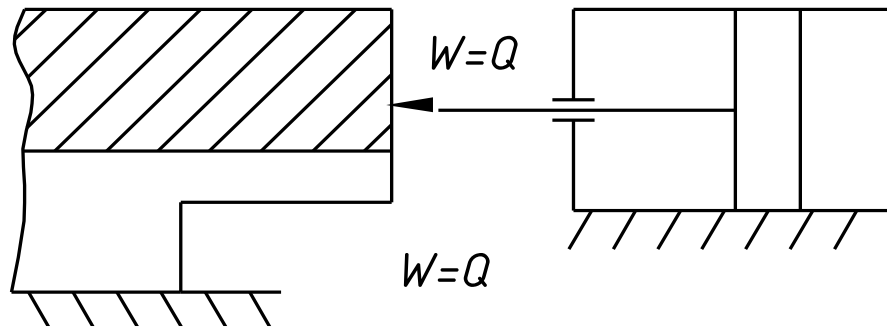


Рисунок 3.1- Схема компоновки пристрою. I варіант.

Пристрій на рисунку 3.1. простий в роботі, надійний при експлуатації, але він небезпечний з точки зору ТБ, так як при падінні тиску можливе випадання деталі, виривання її силами різання, можливе травмування.

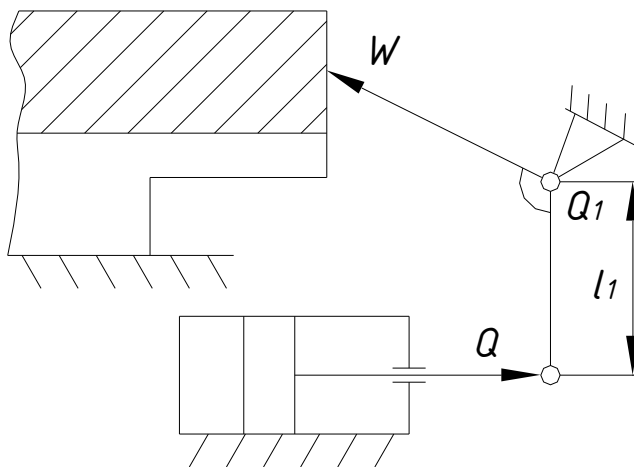


Рисунок 3.2- Схема компоновки пристрою. II варіант.

$$\begin{aligned} \sum M_{O_1} &= 0; \\ -WS \sin \alpha + Q \cdot N &= 0; \\ Q &= \frac{WS \sin \alpha}{N}; \end{aligned}$$

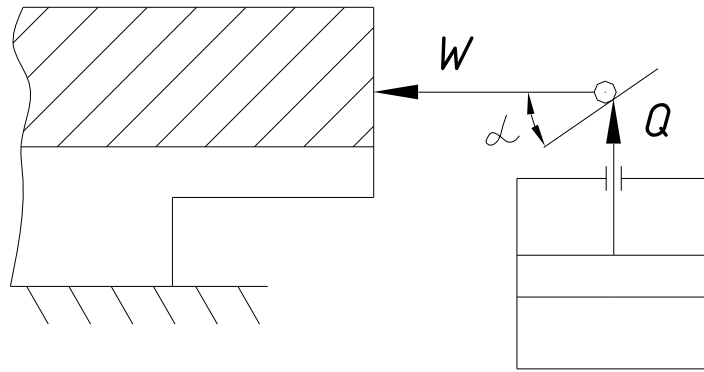


Рисунок 3.3- Схема компоновки пристрою. III варіант.

$$W \cdot i = Q;$$

$$i = \operatorname{tg} \alpha ;$$

$$W = \frac{Q}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Пристрій, зображений на рисунку 3.3, є простим у використанні та достатньо надійним. Наявність механізму самогальмування підвищує його безпеку та виключає мимовільні переміщення під час роботи, що відповідає вимогам техніки безпеки. Конструкція не потребує складного обслуговування та забезпечує стабільність закріплення деталі незалежно від коливань тиску в пневмосистемі.

На відміну від нього, пристрій на рисунку 3.2 є конструктивно складнішим, оскільки містить дві додаткові ланки порівняно з варіантом на рисунку 4.1, що збільшує його габарити та ускладнює експлуатацію. З точки зору безпеки він менш надійний, оскільки існує ризик виривання деталі інструментом під час різання, що може призвести до травмування оператора.

З огляду на наведені фактори оптимальним вибором є пристрій, представлений на рисунку 3.3.

### 3.1.2. Розрахунки пристрою на точність

Аналітичний розрахунок точності пристрою необхідно провести ще до його впровадження у виробництво. Оскільки пристрій є важливою складовою системи ВПД, точність оброблення деталі в значній мірі визначається точністю

виготовлення самого пристрою, правильністю його встановлення на верстат та зносостійкістю установчих елементів.

Визначимо похибку допустиму встановлення за формулою:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1}{2K} \sqrt{(K_1 \varepsilon_y)^2 + (K_2 \varepsilon_{n.d})^2 + (K_3 \varepsilon_n)^2 + (K_4 \varepsilon_{p.z})^2 + (K_5 \Sigma \varepsilon_{\delta.p})^2 + (K_6 \Sigma \varepsilon_t)^2},$$

де  $K_1; K_2; K_3; K_4; K_5; K_6$  - коефіцієнти, що враховують закон розподілу похибок. Приймаємо закон Гауса.

$$\text{Отже } K_1^2 = K_2^2 = K_3^2 = K_4^2 = K_5^2 = K_6^2 = 0,55.$$

$\varepsilon_{n.d}$  - похибка пружних деформацій,  $\varepsilon_{n.d} = 0,08$ ;

$\varepsilon_n$  - похибка налагоджування,  $\varepsilon_n = 0,1 \cdot TD_{(\phi)} = 0,1 \cdot 0,2 = 0,02 \text{ мм}$ ;

$\varepsilon_{p.z}$  - похибка розмірного зношування,  $\varepsilon_{p.z} = 0,01$ ;

$\Sigma \varepsilon_{\delta.p}$  - сумарна похибка форми поверхні, викликана неточністю верстата,  
 $\Sigma \varepsilon_{\delta.p} = 0,02 \text{ мм}$ ;

$\Sigma \varepsilon_t$  - температурна деформація,  $\Sigma \varepsilon_t = 0,008$ ;

$\varepsilon_y$  - похибка встановлення.

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_n^2},$$

де  $\varepsilon_{\delta}$  - похибка базування.

Для фрезерування зуба створки потрібно витримати розмір  $R=3 \text{ мм}$ ;  
 $l_2 = 6^{-0,5} \text{ мм}$ ;  $\alpha = 35^\circ \pm 30'$ ;  $l_1' = 65_{-0,6}^{+0,4} \text{ мм}$ .

Отримана похибка базування  $\varepsilon_{\delta} = Tl = 0 + 0,5 = 0,5 \text{ мм}$ .

$\varepsilon_3$  - похибка закріплення. Виходячи з розміру заготовки  $240 \times 250$  при базуванні поверхні попередньо оброблених,  $\varepsilon_3 = 130 \text{ мкм} = 0,13 \text{ мм}$ .

$\varepsilon_n$  - похибка положення. (В даному випадку не враховується).

$$\text{Отже, } \varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,13^2} = 0,51 \text{ мм}.$$

Визначаємо  $\varepsilon_{\Sigma}$ :

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{1}{2 \cdot 1,2} \sqrt{0,55 \cdot (0,51)^2 + 0,55 \cdot (0,08)^2 + 0,02^2 + 0,01^2 + 0,02^2 + 0,008^2} = 0,158 \text{ мм}$$

Оскільки допуск на розмір  $|Td| = |-0,6 + 0,4| = 0,2$ , то

$$\varepsilon_{\Sigma} = 0,158 < |Td| = 0,2 \text{ - умова забезпечена.}$$

### 3.1.3 Силовий розрахунок параметрів приводу

Щоб розрахувати зусилля затиску, зробимо деякі попередні розрахунки, а саме визначимо силу різання при фрезеруванні  $P_Z$ .

Вибираємо фрезу кутову несиметричну (по ТУ2-035-526). Для неї діаметр фрези  $D_{\phi} = 100 \text{ мм}$ ,  $B_{\phi} = 25 \text{ мм}$ ;  $d(\text{H7}) = 22 \text{ мм}$ ;  $Z = 20$ ;  $\varphi = 35^\circ$ ;  $\varphi_1 =$ . Вибираємо глибину різання і подачу ( $t$  і  $S_Z$ ),  $t = 3,5 \text{ мм}$ . Подача  $S_Z$  на зуб фрези при фрезеруванні сталюї деталі фрезою кутовою з діаметром  $D_{\phi} = 100 \text{ мм}$ ,  $S_Z = 0,04 \text{ мм/зуб}$ .

Звідси визначимо подачу хвилину  $S_M$  мм/хв.

$$S_M = S_Z \cdot Z \cdot n = 0,04 \cdot 20 \cdot 250 = 100 \text{ мм/хв.}$$

Вибираємо період стійкості інструменту  $T = 150 \text{ хв}$ .

Визначаємо швидкість фрези, м/хв..

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^X \cdot S_z^Y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v;$$

де  $C_v = 44$ ;  $q = 0,43$ ;  $X = 0,3$ ;  $Y = 0,2$ ;  $u = 0,1$ ;  $p = 0,1$ ;  $m = 0,33$ .

Поправочний коефіцієнт:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv};$$

$$\text{де } K_{mv} = K_r \left( \frac{750}{\sigma_{\epsilon}} \right)^{n_v},$$

де  $K_r = 1$ ;  $\sigma_{\epsilon} = 810 \text{ МПа}$ .

При  $\text{HB} = 241$  і  $\sigma_{\epsilon} = 810 \text{ МПа} \Rightarrow n_v = 1$  (фрези з швидкоріжучої сталі)

$$K_{nv} = 0,8; \quad K_{mv} = 0,65.$$

$$\text{Отже } V = \frac{44 \cdot 100^{0,43}}{150^{0,33} \cdot 3,5^{0,3} \cdot 0,04^{0,2} \cdot 25^{0,1} \cdot 20^{0,1}} = 38,32(\text{м/хв}).$$

Згідно вибраного верстату по паспорту приймемо  $V = 38,4(\text{м/хв})$ .

Визначаємо частоту обертання фрези  $n$  (об/хв)

$$n = \frac{1000V}{\pi D},$$

де  $D$  - діаметр фрези ( $D = 100\text{мм}$ )

$$n = \frac{1000 \cdot 38,4}{3,14 \cdot 100} = 122,2(\text{об/хв}).$$

Згідно паспорту верстата  $n = 125\text{об/хв}$

Визначаємо силу різання і її складові  $P_y$ ;  $P_{yz}$ ;  $P_n$ ;  $P_v$ ;  $P_z$ . Приведемо схему дії сил.

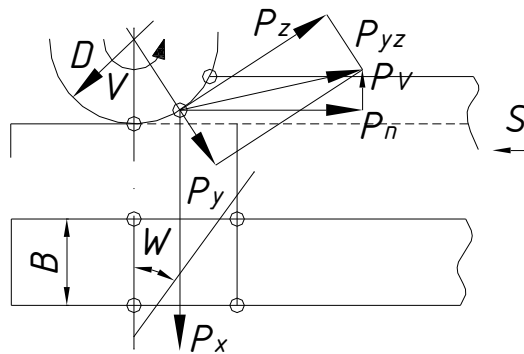


Рисунок 3.5- Схема дії сил під час фрезерування. Операція 060.

Головна сила різання  $P_z$  (Н):

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^X \cdot S_z^Y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^\omega} \cdot K_{mp};$$

де  $z$  - кількість зубців фрези,  $z = 20$ ;

Коефіцієнти:  $C_p = 47$ ;  $X = 0,86$ ;  $Y = 0,72$ ;  $u = 0,1$ ;  $q = 0,86$ ;  $\omega = 0$ ;

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_s}{750} \right)^n,$$

де  $n = 0,3$ ;  $\sigma_s = 810\text{МПа}$ . Отже  $K_{mp} = \left( \frac{810}{750} \right)^{0,3} = 1,03$



У прийнятій схемі закріплення застосовується клиновий механізм, для якого:

$$W = \frac{Q}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{1np}) + \operatorname{tg}\varphi_2 \frac{d}{D}},$$

де  $\alpha$  - кут нахилу клину,  $\alpha = 10^\circ$ .

$$\operatorname{tg}\varphi_{1np} = \operatorname{tg}\varphi_1 \frac{d}{D} = 0,15 \cdot \frac{20}{35} = 0,086,$$

де  $\varphi = 0,15$  - коефіцієнт тертя («сталь по сталі»).

$$\operatorname{tg}\varphi_2 = 0,1. \text{ Отже } W_1 = \frac{Q}{0,176 + 0,086 + 0,1 \cdot \frac{20}{35}} = \frac{Q}{0,319};$$

$$W = \frac{Q}{0,319}; \quad Q = W \cdot 0,319 = 471,8 \cdot 0,319 = 150,5(H);$$

Зусилля, яке розвиває пневмоциліндр:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p_1,$$

де  $p_1 = 0,4 \text{ МПа}$  - тиск в трубопроводі.

Врахувавши ККД  $\eta = 0,9$  пневмоциліндра, знайдемо діаметр робочого циліндра.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot \eta p_1}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 150,5}{3,14 \cdot 0,9 \cdot 0,4 \cdot 10^5}} = 0,129 \text{ м} = 129 \text{ мм}.$$

По стандарту вибираємо  $D = 160 \text{ мм}$ .

Фактичне зусилля, яке розвиває пневмоциліндр:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} p_1 = \frac{3,14 \cdot 12,9^2}{4} \cdot 40 = 3246,2 \text{ Н}.$$

$$\text{Розрахунок штоку на розрив: } \sigma_p = \frac{p}{F} = \frac{3246,2}{1,51} = 2149,8 \text{ Н/см}^2,$$

де  $F$  - площа перерізу штоку в різьбовій системі різьби М16,

$$d = 14,2 \text{ мм}; \quad F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,42^2}{4} = 1,51 \text{ см}^2.$$

Отже,  $\sigma_p = 2149,8 < |\sigma_p|$ .

#### 3.1.4.Опис конструкції та роботи пристрою

Запропонований пристрій складається з корпусу 2, до якого закріплені стійки 1 і 3, пневмоциліндр із притискачем 17, установчий палець 7, опори 5, 8, 10 та планка 11. На стійці 1 також розміщено установ для налагодження фрези.

Корпус елеватора встановлюється в пристрій опорними площинами на планку 11 та додаткові опори 5 і 8. Орієнтація деталі в пристрої здійснюється по отвору  $\varnothing 20$  за допомогою установчого пальця 7. Притиск до опори 10 забезпечує прижим 17, що приводиться в дію пневмоциліндром через клиновий механізм.

Пневмоциліндр розташований у передній частині пристрою та складається з корпусу з кришкою, поршня з ущільнювальним кільцем і штока, який з'єднується з клином. Кут вершини клина забезпечує самогальмування затискного механізму. Зрізана сторона клина взаємодіє з роликом, який жорстко закріплений на повзуні, а протилежна сторона спирається на спеціальну кульку, посаджену на гвинт.

Пристрій встановлюється на стіл верстата за допомогою шпонок, які входять у напрямні пази станини. Пневмоциліндр має два підвідні шланги, з'єднані зі штуцерами, що подають і відводять стиснене повітря.

При подачі повітря в нижню порожнину циліндра створюється тиск, який переміщує поршень вгору. Разом із поршнем рухається шток, що пересуває клин у тому ж напрямку. Клин, діючи на ролик, переміщує повзун, забезпечуючи надійний затиск деталі. Після цього до зони обробки підводиться фреза і виконується фрезерування зуба.

Після завершення операції повітря подають у верхню порожнину циліндра, поршень рухається у протилежний бік, клин відходить назад, і деталь звільняється від затиску.

### 3.2.Контрольний пристрій

Контрольний пристрій призначений для перевірки відстані між осями двох отворів корпусу елеватора, а також відстані цих отворів від опорної площини. Конструктивно він складається з корпусу 7, у якому встановлено два індикатори та змонтовано дві цанги 8, а також вимірного стержня. Вимірний стержень включає цангу 3, шток 4, ручку 1, пружину 2, клин 5 і кришку 12.

Для виконання вимірювання у менший отвір стулки вводять вимірний стержень, а у другий отвір — цангу 8. Корпус пристрою базується на стулці за допомогою опори 13 та штифта, що забезпечує правильне просторове положення контрольного пристрою відносно деталі. Після встановлення індикатори входять у контакт з вимірним стержнем і фіксують граничні відхилення контрольованих розмірів.

Налагодження індикаторів виконується за допомогою контрошаблону, що забезпечує точність та повторюваність вимірювань.

Висновки. Розроблено пристрій для фрезерування зуба корпусу. Обрано та обґрунтовано принцип його роботи, наведено структурні схеми. Виконано силовий розрахунок параметрів приводу та розрахунок точності. Подано загальний опис конструкції й принципу функціонування. Також спроектовано пристрій для контролю міжосьової відстані двох отворів корпусу елеватора та їх відстані від опорної площини. Наведено опис конструкції та принцип його роботи.

## РОЗДІЛ 4

### НАУКОВИЙ РОЗДІЛ

#### 4.1 Стан питання та постановка задач магістерської роботи

Точність більшості виробів машинобудування та приладобудування є ключовою характеристикою їх якості, оскільки сучасні машини не можуть працювати за недостатньої точності виготовлення. Це призводить до появи додаткових динамічних навантажень і вібрацій, які порушують нормальну роботу механізмів та можуть спричинити їх передчасне руйнування. У свою чергу, сучасні контрольно-вимірювальні прилади не здатні забезпечити необхідну точність вимірювань без дотримання вимог високоточної обробки [8].

Способи свердління та чорнового розточування мають низку характерних особливостей, з якими пов'язані основні труднощі під час обробки отворів:

1. Примусове відведення стружки потоком мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) або іншого робочого середовища. Будь-які порушення безперебійного відведення стружки призводять до нестабільності процесу або до його повного припинення.

2. Базування робочої частини інструменту на поверхню вже обробленої ділянки отвору. Некоректний вибір схеми базування може спричинити дефекти форми отвору, посилення вібрацій і прискорений знос інструменту.

3. Недостатня жорсткість технологічної системи «верстат–пристосування–інструмент–заготовка» (ВПЗ). Це обмежує можливість підвищення режимів різання, оскільки в системі виникають крутильні та поперечні коливання. Останні, окрім зниження точності, також є джерелом специфічних дефектів оброблених отворів. Саме тому операціям першої групи обробки отворів (свердління, чорнове розточування) приділяється особлива увага.

Зростання номенклатури деталей з отворами, розширення діапазону їх діаметрів та збільшення обсягів виробництва зумовили необхідність вдосконалення методів їх обробки, які забезпечують високу продуктивність, економічність та точність.

Під час свердління й чорнового розточування виникає низка характерних дефектів, властивих саме обробці отворів. До них належать: відведення та непрямолінійність осі отвору, ограновування поверхні, а також хвилястість профілю в подовжньому перерізі.

На рисунку 4.1 схематично показано явища відведення та непрямолінійності осі отвору у випадку, коли дійсна вісь є плоскою кривою, а жорсткість заготовки є значною. Теоретична вісь заготовки проходить через центри базових шийок А і Б. Оскільки заготовка достатньо жорстка, під час обробки вона обертатиметься саме відносно теоретичної осі. У такому разі відведення осі в перерізі I-I дорівнюватиме  $\Delta y_{I-I}$ , а у перерізі II-II на торці заготовки —  $\Delta y_{II-II}$ .

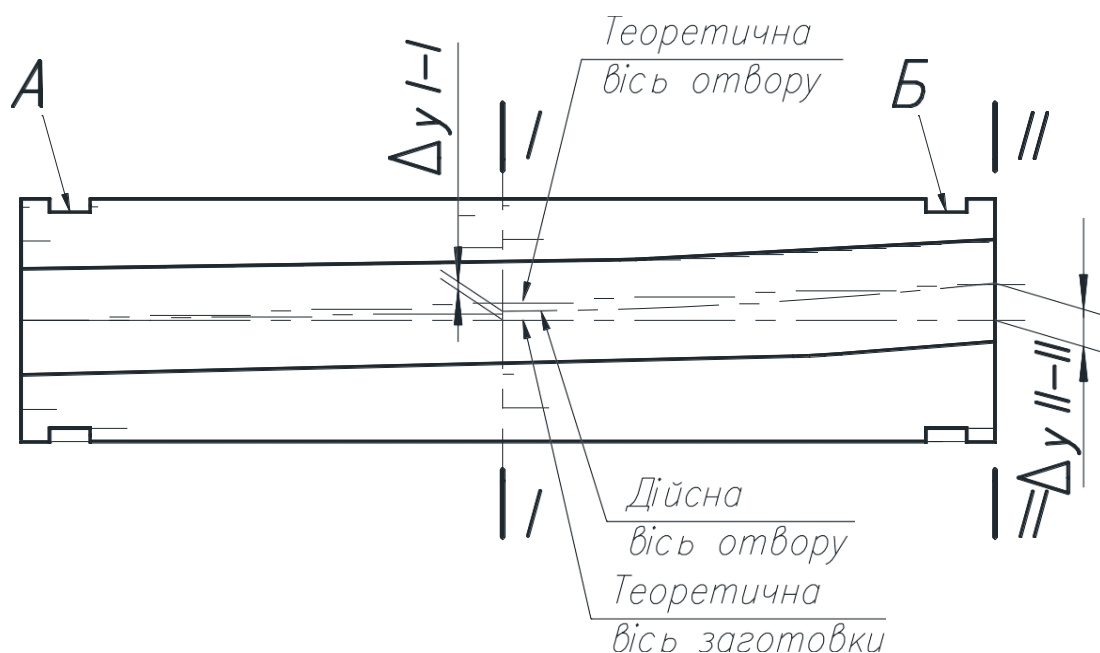


Рисунок 4.1 - Варіанти розташування відведення і непрямолінійності осі отвору

Непрямолінійність осі отвору, що визначається максимальною відстанню між дійсною та теоретичною осями на всій довжині отвору, у цьому випадку дорівнює величині  $\Delta n$ . Положення перерізу, в якому спостерігається максимальне значення  $\Delta n$ , визначається за результатами вимірювань уздовж довжини заготовки. Сам процес утворення відведення та непрямолінійності осі є складним і залежить від значної кількості чинників різної природи.

Згідно з проведеними дослідженнями, найбільший вплив на формування відведення та викривлення осі має биття поверхні обробленої частини отвору, а також биття кондукторної втулки маслоприймача, якщо вона обертається. Биття отвору, у свою чергу, може бути зумовлене відведенням осі, викривленням заготовки через перерозподіл залишкових напружень у процесі обробки, деформаціями під час закріплення на верстаті тощо. Тому як у теоретичних дослідженнях, так і на практиці основна увага приділяється усуненню причин, що призводять до появи биття поверхні отвору.

Ограновування отвору – це відхилення від круглості, коли реальний профіль набуває форми багатогранника. Число граней може змінюватися по довжині отвору, а вершини граней часто розташовуються в вигляді гвинтової лінії. Цей дефект виникає тільки за наявності поперечних коливань інструменту з частотою, близькою до частоти відносного обертання інструменту та заготовки. На утворення ограновування впливають: частота власних коливань інструменту, конструктивні параметри інструменту, похибки налаштування технологічної системи, кінематична схема обробки (обертний або необертний інструмент) та інші чинники [17].

Хвилястість профілю подовжнього перерізу проявляється у вигляді регулярної хвилястості утворюючих поверхонь, що призводить до ступінчастості отвору з незначними змінами діаметра. Дефект з'являється при невідповідності діаметра інструменту діаметру заправного отвору або отвору у кондукторній втулці, на поверхню яких спираються направляючі елементи інструменту. Зменшити хвилястість можна, забезпечивши рівність діаметрів усіх інструментів, що використовуються протягом робочого ходу, а також

точне співпадіння діаметрів інструменту, заправного отвору та кондукторної втулки.

Окрім перелічених дефектів форми та розташування осі, при обробці отворів часто виникають дефекти поверхні: задири, подряпини, підвищена шорсткість. Вони зумовлені, зокрема, потраплянням стружки під направляючі елементи або порушенням цілісності півки МОР.

Найбільш поширеним і водночас найбільш значущим дефектом обробки отворів є відведення осі. Серед причин його виникнення виділяють:

- копіювання свердлувальним або розточувальним інструментом похибки осі отвору в зоні контакту направляючих з поверхнею обробленого отвору;
- вигин стержня інструменту внаслідок поперечних коливань під час обробки необертотним інструментом — такі коливання виникають через базування на поверхні з радіальним биттям, різнооброблюваність матеріалу або нерівномірність припуску;
- поперечні коливання заготовки, викликані її деформацією при установці або різанні;
- вигин стержня інструменту під дією власної ваги, нерівномірного припуску та різотвердості матеріалу при обробці обертотним інструментом необертотної заготовки.

На масштаби відведення осі інструменту впливає також велика кількість факторів, пов'язаних із конкретними умовами обробки, зокрема:

1. побудова технологічного процесу, наявність термообробки, характер кінематики (обертання інструменту або заготовки), довжина обробки, похибки у початковому напрямі інструменту, взаємне розташування опор інструмента;
2. зміщення направляючої втулки, недостатня жорсткість стержня інструменту, взаємне положення опор заготовки, тип матеріалу, режими різання, похибки заточування, осьові похибки установки різців, знос

направляючих, конструктивні параметри розточувальної головки та положення калібруючої вершини різця.

Для дослідження впливу окремих чинників використовують моделі елементарних відведень — як графічні, так і аналітичні. Вони дозволяють проаналізувати дію окремих причин, але мають низку обмежень:

- відображають лише окремі аспекти складного багатofакторного процесу;
- дають переважно якісну оцінку впливу чинників, не забезпечуючи точної кількісної характеристики;
- не дозволяють прогнозувати поведінку інструменту в реальних умовах різання;
- не враховують пружність системи ВПД та обмежуються плоскими моделями.

Виробничі дослідження обробки на багатопозиційних верстатах показали, що точність взаємного розташування отворів із позиційними відхиленнями осей забезпечується не завжди. Водночас встановлено, що точність, яка досягається за допомогою спеціального оснащення (багатошпindelних насадок, кондукторів, пристроїв), часто слабо корелює з їх паспортною точністю. Це свідчить про те, що, незважаючи на значний обсяг досліджень у сфері автоматизованого виробництва, питання забезпечення точності та якості обробки вивчені недостатньо глибоко.

#### 4.2 Дослідження зсуву осі отвору в процесі обробки отворів корпусу жорстко закріпленим інструментом

У якості основної елементарної похибки розташування осі оброблюваного отвору приймають позиційне відхилення (відповідно до СТ СЭВ 301-76), тобто зсув  $\Delta z$  від номінального положення, визначеного віссю нерухомої кондукторної втулки (рис. 4.2). Позиційне відхилення  $\Delta z$  є головною складовою сумарної похибки розташування осі (ПРО) отвору.

Положення ПРО у просторі задається координатами і відносно базових поверхонь — осі  $O_c$  циліндричного пальця та площини П. Зсув осі  $\Delta_{CM}$  можна оцінювати окремо за зміщеннями вздовж координатних осей  $X$  і  $Y$ , однак найбільш раціонально визначати його за максимальним значенням  $\Delta_{CM \max}$ .

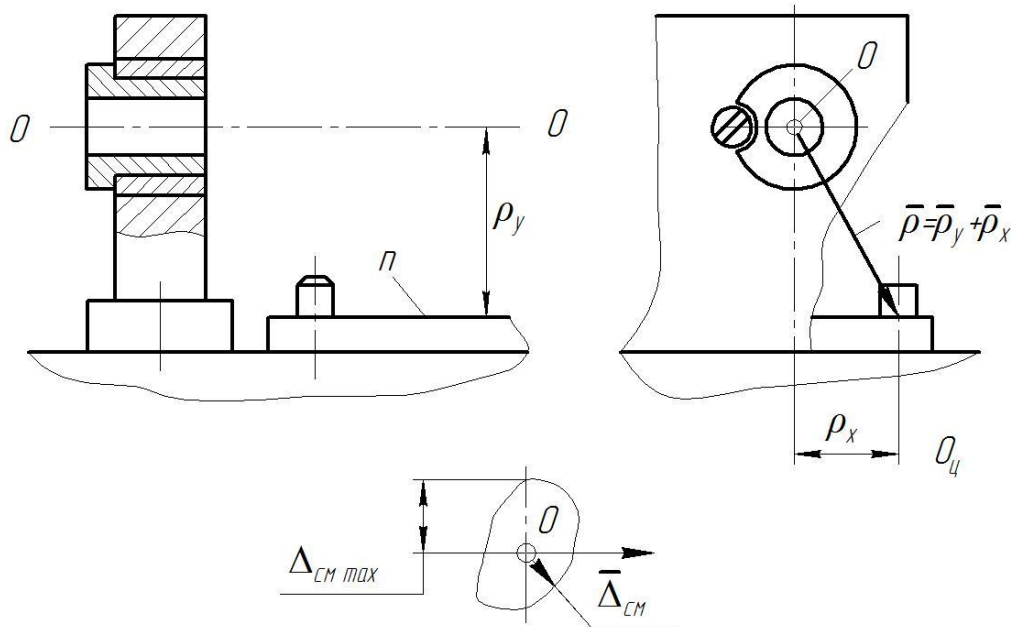


Рисунок 4.2 - Схема визначення позиційного відхилення

Під час обробки отворів жорстко закріпленим інструментом позиційне відхилення визначається геометричною точністю вузлів напрямлення інструмента, точністю установки заготовки та точністю взаємного розташування цих елементів. Додатково на точність впливає точність положення осей інструментальних налагоджень відносно вузлів напрямлення інструмента.

Сукупний вплив перелічених конструктивно-технологічних чинників спричиняє:

- геометричний зсув осі інструмента —  $\Delta_{GI}$ ;
- пружне відтискування інструмента під дією сил різання —  $\Delta_{UI}$ ;
- пружні зсуви вузла напрямлення (кондукторної плити) —  $\Delta_{УК}$ .

У результаті саме ці складові формують величину позиційного відхилення осі отвору від номінального (теоретичного) положення:

$$\Delta_{cm} = \Delta_{ГІ} + \Delta_{УІ} + \Delta_{УК}. \quad (4.1)$$

Геометричний зсув осі інструмента  $\Delta_{ГІ}$  виникає через наявність зазору між кондукторною втулкою та інструментом. Оскільки зазор може реалізуватися в будь-якому напрямку діаметральної або осьової площини перетину втулки, вибір його напрямку є випадковим.

Величина геометричного зсуву осі інструмента в кінцевому перетині визначається параметрами інструментального налагодження та вузла напрямлення. Основними факторами є:

- зазор  $S_1$  у з'єднанні «втулка – інструмент»;
- зазор  $S_2$  у з'єднанні «змінна втулка – постійна втулка»;
- ексцентриситет  $e_s$  внутрішньої та зовнішньої поверхонь змінної втулки;
- довжина кондукторної втулки  $l_{BT}$ ;
- виліт інструмента  $l_x$  за торець втулки до розглянутого перерізу (рис. 4.3).

Саме поєднання цих параметрів визначає величину  $\Delta_{ГІ}$  у робочому перерізі інструмента:

$$\Delta_{ГІ} = \sqrt{\left[ \delta S_1 \left( 0,5 + \frac{l_x}{l_{BT}} \right) \right]^2 + e_c^2 + \left( \frac{\delta S_2}{2} \right)^2} \quad \text{при } l_x = l_1 + \frac{B}{2}, \quad (4.2)$$

де  $l_1$  - відстань від торця втулки до торця деталі;  $B$  - глибина оброблюваного отвору.

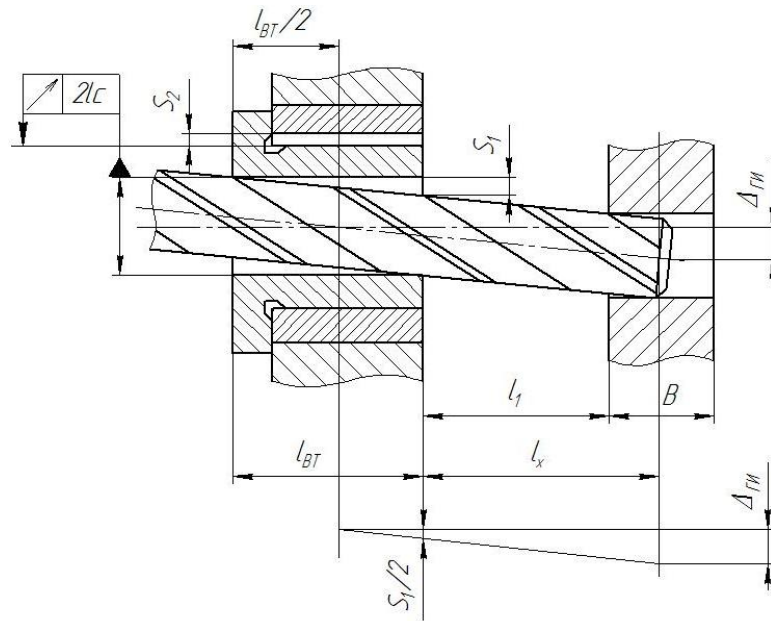


Рисунок 4.3 - Схема визначення геометричного зсуву осі інструмента

Аналіз технічних вимог до виготовлення змінних кондукторних втулок показав, що величини  $S_2$  та  $e_s$  мають порівняно незначний вплив на значення геометричного зсуву осі інструмента  $\Delta_{ГИ}$ . Цю особливість враховують за допомогою коефіцієнта  $n_1$ , який приймають:

- $n_1 = 1,1$  – для операцій свердління та зенкерування;
- $n_1 = 1,2$  – для операцій розгортання.

Тоді:

$$\Delta_{ГИ} = n_1 \delta S_1 \left( 0,5 + \frac{l_x}{l_{BT}} \right), \quad (4.3)$$

де  $\delta$  - поле розсіювання зазору між змінною втулкою й інструментом. У загальному випадку значення цього параметра визначається полями допусків на діаметр отвору напямної втулки, розміри інструмента, а також мінімальним гарантованим зазором між ними. Для свердління і зенкерування:

$$\delta S_1 = k_1 \sqrt{\delta A_1^2 + \delta B_1^2 + \delta B_{OK}^2} + S_{1\text{gap}}, \quad (4.4)$$

де  $k_1$  - коефіцієнт відносного розсіювання випадкових величин;  $k_1=1,1$ ;

$\delta A_1$  - поле допуску на внутрішній діаметр змінної втулки;



Таблиця 4.1 - Зворотна конусність інструментів на довжині 100 мм,

Інструмент	Діаметр інструмента, мм	
	10—18	більше 18
Свердло	0,04 - 0,10	0,05 - 0,12
Зенкер	0,04-0,08	0,05 - 0,10
Розвертка	0,15	0,15

Таблиця 4.2 - Запас на переточування інструмента, мм

Інструмент		Діаметр інструмента, мм			
		До 6	6-10	10-18	18-30
Свердло	До 6	6-10	10-18	18-30	30-50
Зенкер	20 — 40	25—50	30 — 55	30 — 58	35—70
Розвертка	15	15	20	20	25

Контакт інструмента з втулкою відбувається лише по стрічках, причому точки дотику постійно зміщуються, слідуючи за напрямком обертання. Чим більше число зубів має інструмент, тим вищою є точність його напрямлення. Найменшу точність забезпечують свердла, вищу — три - та чотиризубі зенкери, а найкращу — розгортки. Максимальна точність осьового положення інструмента досягається тоді, коли його напрямна частина має циліндричну поверхню.

Геометричне зміщення  $\Delta g_i$  збільшується зі зростанням вильоту інструмента за торець втулки  $l_x$ , що пов'язано з умовами відводу стружки та конструктивними особливостями компоновки позиції.

Теоретичні й експериментальні дослідження встановили вплив довжини змінної кондукторної втулки на  $\Delta g_i$ : зі збільшенням її довжини  $l_t$  величина  $\Delta g_i$  зменшується майже лінійно. При свердлінні (двозубим інструментом) вплив довжини втулки найбільший, а при розгортанні — найменший. Із ростом діаметра отвору ( $d$  інструмента) вплив довжини втулки на  $\Delta g_i$  посилюється через збільшення кроку гвинтових канавок.

Пружне зміщення осі інструмента і кондукторної плити виникає під дією неврівноважених сил, що діють у діаметральному та осьовому перерізах інструмента (рис. 4.5). Такі сили зумовлені нерівномірним навантаженням протилежних зубів осьового різального інструмента при зніманні ними неоднакового (ексцентричного) припуску.

Нерівномірність припуску обумовлена розбіжністю осі отвору заготовки, що надійшла на дану позицію, і осі інструмента перед обробкою:

$$\Delta z = (t_1 - t_2) = 2\sqrt{\Delta_{np}^2 + \Delta\rho^2 + \varepsilon^2}, \quad (4.7)$$

де  $\Delta_{np}$  - позиційне відхилення оброблюваного отвору, на попередній позиції;

$\Delta\rho$  - похибка параметра наступності (спареності) двох технологічно зв'язаних позицій  $\bar{\rho}_x$  і  $\bar{\rho}_y$  (див. рис. 4.1);

$$\Delta\rho = \bar{\rho}_x + \bar{\rho}_y;$$

$\varepsilon$  - похибка установки заготовки (або пристрою із заготовкою) на даній позиції.

Причини виникнення та умови прояву параметрів  $\Delta_{np}$  і  $\Delta\rho$  відрізняються, однак під час багатоперехідної обробки взаємопов'язаних систем отворів їхній вплив завжди проявляється одночасно. Нерівномірне навантаження ріжучих крайок інструмента спричиняє виникнення різних за величиною сил, що діють у його осьовому  $\Delta\rho_x$  та радіальному перерізах. У результаті це викликає пружне відхилення осі інструмента від номінального положення.



неврівноважених сил. Кожний зуб інструмента можна розглядати як розточувальної різець.

Тоді

$$\Delta P_R = \frac{\Delta z}{4} k \cdot \sqrt{\left(C_{1обц} S_k^{y_1} HB^{n_1}\right)^2 + \left(C_{2обц} S_k^{y_2} HB^{n_2}\right)^2}, \quad (4.10)$$

де  $k$  - число зубів різального інструменту;

$S_k$  - подача на зуб інструмента;

$HB$  - твердість оброблюваного матеріалу;

$y_1, y_2, n_1, n_2$  - показники ступеня, що залежать від умов обробки;

$C_{1обц}$  і  $C_{2обц}$  - коефіцієнти, що залежать від умов різання й геометричні параметри інструмента [12].

Величину, обумовлену параметрами процесу різання, позначимо

$$U = \sqrt{\left(C_{1обц} S_k^{y_1} HB^{n_1}\right)^2 + \left(C_{2обц} S_k^{y_2} HB^{n_2}\right)^2}. \quad (4.11)$$

Замінивши  $\Delta z$  його значенням [див. формулу (4.7)], одержимо

$$\Delta P_R = \frac{k}{2} \sqrt{\left(\Delta_{np}^2 + \Delta \rho^2 + \varepsilon^2\right)} U, \quad (4.12)$$

Із зменшенням кількості зубів у ріжучому інструменті зменшується нерівномірність навантаження на крайки, а відповідно — і величина пружного зсуву осі. Тому, щоб забезпечити високу точність розташування осі отвору, доцільно використовувати інструмент із мінімально можливою кількістю зубів, за умови що при цьому зберігаються необхідні показники точності діаметра, шорсткості поверхні та продуктивності обробки.

Пружне відхилення вузла напрямлення інструмента (кондукторної плити) визначається жорсткістю інструментального налагодження та самої плити. Оскільки таку похибку складно точно обчислити, у розрахунках її вплив враховують за допомогою коефіцієнта  $n_3$ , який визначають залежно від величини пружного зсуву осі інструмента.

Тоді повне пружне віджаття інструмента й кондукторної плити

$$\Delta_y = \Delta_{yH} + \Delta_{yK} = n_3 \Delta_{yH} = n_2 n_3 \frac{\Delta P_R l_x^3}{3EJ}. \quad (4.13)$$

На підставі експериментальних даних по обробці отворів діаметром 20-25 мм при твердості кондукторної плити (6-5-8)  $10^4$  Н/мм; коефіцієнт  $n_3 = 1,2-1,4$ . При твердості кондукторної плити більшої, ніж  $8-10^4$  Н/мм, значенням  $\Delta_{yK}$  можна зневажити.

Позиційне відхилення отвору, обумовлене комплексним впливом  $\Delta_{GH}$ ,  $\Delta_{yH}$

$$\Delta_{cm} = \Delta_{GH} + n_3 \Delta_{yH}. \quad (4.14)$$

Після підстановки в (4.13) формул (4.3) для розрахунку  $\Delta_{GH}$  й (4.8), (4.11) і (4.12) для визначення  $\Delta_{yH}$  можна обчислити

$$\Delta_{cm} = n_1 \delta S_1 \left( 0,5 + \frac{l_x}{l_{BT}} \right) + n_2 n_3 \frac{kl_x^3 \sqrt{(\Delta_{np}^2 + \Delta \rho^2 + \varepsilon^2)}}{6EJ} U. \quad (4.15)$$

Цей вираз відображає взаємозв'язок між конструктивно-технологічними параметрами та силовими чинниками під час обробки отворів кінцевими інструментами й дає змогу визначити величину позиційного відхилення осі отвору.

Висновки. Загальний аналіз наявних публікацій дає підстави стверджувати, що методи оцінювання якості та забезпечення взаємозамінності отворів у машинобудуванні мають суттєве наукове й практичне значення. Сучасні дослідження показують, що під час прогнозування очікуваних похибок обробки та вибору конструктивно-технологічних параметрів формоутворення вирішальну роль відіграють силові фактори, які діють при обробці отворів кінцевими інструментами. Саме вони визначають величину позиційного відхилення осі отвору. У зв'язку з цим у практичних застосуваннях і подальшому викладі головна увага спрямована на усунення причин, що викликають биття поверхні обробленого отвору.

## ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень розв'язано наукову задачу підвищення ефективності свердління отворів у деталях конструкційного призначення шляхом мінімізації впливу конструктивно-технологічних чинників та параметрів інструментального налагодження і вузла напрямлення інструмента на позиційні відхилення осей отворів.

1. Узагальнення опублікованих наукових робіт свідчить про високу теоретичну і практичну значущість методів оцінювання якості та забезпечення взаємозамінності отворів у машинобудуванні. Сучасні дослідження показують, що під час прогнозування очікуваної похибки обробки та визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів формоутворення ключову роль відіграють силові фактори, які діють під час обробки отворів кінцевими інструментами. Саме вони визначають величину позиційного відхилення осі отвору. Тому у практичній реалізації та подальшому викладенні основна увага присвячена усуненню чинників, що спричиняють биття обробленої поверхні отвору.

2. Об'єктом дослідження у магістерській роботі є корпус КМ-140.00.00.002, який належить до групи корпусних деталей. Проведено комплексний (якісний і кількісний) аналіз технологічності його конструкції, визначено тип виробництва та організаційну форму його здійснення.

3. Виконано економічне обґрунтування вибору способу отримання заготовки та методів обробки поверхонь. Раціонально підібрано та аналітично обґрунтовано технологічні бази. Сформовано оптимальний технологічний маршрут обробки деталі, проведено розрахунок припусків, визначено режими різання і підібрано необхідне технологічне обладнання. Встановлено норми часу виконання технологічних операцій.

4. Розроблено конструкцію пристрою для фрезерування зуба корпусу: обґрунтовано принцип його дії, наведено структурні схеми, виконано силовий розрахунок приводу та оцінку точності. Подано детальний опис конструкції й

роботи пристрою. Також спроектовано пристрій для контролю міжосьових відстаней двох отворів корпусу елеватора та визначення їхнього положення відносно опорної площини. Подано опис конструктивного виконання і принципу його функціонування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інноваційні підходи в підготовці магістрів з прикладної механіки : навч. посіб. / Т. Є. Божко, Б. П. Валецький, Л. М. Самчук, Т. І. Четвержук . – Луцьк : Вежа-Друк, 2024. – 324 с.
2. Якімов О.В. Технологія машино- та приладобудування: навчальне видання / О.В. Якімов, В.І. Марчук. - Луцьк, 2005. – 710с.
3. Божидарнік В., Григорєва Н., Шабайкович В. Технологія виготовлення виробів: навчальний посібник / В. Божидарнік, Н. Григорєва, В. Шабайкович. – Л.: Надстиря, 2006. – 592с.
4. Гарнець В. М. Механічна обробка заготовок різанням: навч. посібник / В. М. Гарнець [та ін.]. – К. : КНУБА, 2008. – 164 с.
5. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А. Технологія машинобудування : підручник / Мельничук П.П., А.І. Боровик, П.А. Лінчевський. – Житомир: ЖДТУ, 2005.
6. Птаха Л.І. Основи технології машинобудування [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. тех. вузів III—IV рівнів акредитації / Л.І. Птаха. – Харків: ХПІ, 2009.
7. Виноградов А. А. Физические основы процесса сверления труднообрабатываемых материалов твердосплавными сверлами [Текст] / А. А. Виноградов. – К.: Наукова думка, 1985. – 264 с.
8. Теплові явища при обробці різанням [Текст] : навч. посіб. / В. С. Антонюк, С. Ан. Клименко, С. А. Клименко – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 144 с.
9. Криворучко Д. В. Основи прогнозуючого моделювання процесів різання методом скінчених елементів [Текст] : автореф. дис. на здобутт наукового ступеня докт. техн. наук: спец. 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти»/ Д. В. Криворучко. – Харків, НТУ «ХПІ», 2010. – 36 с.

10. Криворучко Д. В. Основи 3D–моделювання процесів механічної обробки методом скінчених елементів [Текст] : навчальний посібник / Д. В. Криворучко, В. О. Залога, В. Г. Корбач. – Суми: Вид–во СумДУ, 2010. – 208 с.
11. Мазур М. П. Аналітичний метод розрахунку температурних полів у системі різання [Текст] / Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки».– 2012. – №6. – С. 7–13
12. Мазур М. П. Розробка прискореного методу визначення оброблюваності матеріалів різанням на базі методу А. С. Кондратова [Текст] / М. П. Мазур, В. В. Мілько, О. Ф. Герасимчук // Труды Одесского политехнического университета. – 2004. – вып.2 (22). – С.1–4.
13. Малышко И. А. Влияние параметров инструмента на производительность ГПС [Текст] /И. А. Малышко, И. В. Киселева // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, 2008. – Вип.23 – С. 74–77
14. Малышко И.А. Температурные деформации детали при обработке отверстий [Текст] / И. А. Малышко, А. Г. Татьянченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов.– Донецк, 2001. – Вып.17. – С. 45–51.
15. Zabolotnyi, O., Bozhko, T., Machado, J., Yarmoliuk, S., Zaleta, O. (2021). Influence of the Cutting Temperature on the Surface Layer Quality When Grinding Sintered Porous Materials. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) Advanced Manufacturing Processes III. InterPartner 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham / URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4\\_45](https://doi.org/10.1007/978-3-030-91327-4_45).
16. Малышко И.А. Моделирование процесса формирования продольного профиля отверстия с учетом термоупругих деформаций инструмента и детали при неустановившемся теплообмене [Текст] / И. А. Малышко, А. Г. Татьянченко // Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць НТУ «ХП» – Харків, 2002. – С. 211–216.

17. Zabolotnyi, O., Bozhko, T., Halchuk, T., Zaleta, O., Cagáňová, D. (2022). Investigation of the Surface Layer Hardness When Grinding Sintered Porous Workpieces. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Rauch, E., Peraković, D. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham / URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-06025-0\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-031-06025-0_35)

ДОДАТКИ