

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»**

**ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ВАЛУ ВТОРИННОГО
КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ 21.1701105**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМм-21

Ярликів Олексій Олександрович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Редько Ростислав Григорович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«__» _____ 20__ р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: магістр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Р. Редько

“ _____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ярликів Олексій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Проектування технологічного процесу механічної обробки валу вторинного коробки передач 21.1701105
Керівник роботи: Редько Ростислав Григорович, к.т.н., доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» червня 2025 р. № 391/01-07
2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи: 1.12.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: Робоче креслення деталі, базовий технологічний процес виготовлення деталі, річна програма випуску деталей 15000 шт., відгуки підприємств про роботу обладнання, результати аналізу конструктивних і функціональних особливостей верстата.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):
Анотація. Зміст. Вступ. 1. Техніко-економічне обґрунтування. 2. Технологічний розділ. 3. Конструкторський розділ. Висновки і пропозиції. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Креслення заготовки – 1 лист (ф.А1), карти технологічних налагоджень – 2 листи (ф.А2), складальні креслення верстатних пристроїв – 2,5 листи (ф.А1), складальне креслення контрольного пристрою – 2 листи (ф.А1).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

03.09.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Техніко-економічне обґрунтування</i>	<i>15.09.25</i>	
2.	<i>Технологічний розділ</i>	<i>05.10.25</i>	
3.	<i>Конструкторський розділ</i>	<i>10.11.25</i>	
4.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	<i>20.11.25</i>	
5.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>25.11.25</i>	
6.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи магістра до захисту</i>	<i>01.12.25</i>	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Ярликов О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Редько Р.Г.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ярликів О.О. Проектування технологічного процесу механічної обробки валу вторинного коробки передач 21.1701105. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, 3 розділів, висновків і пропозицій, списку використаних джерел і додатків.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є технологічний процес виготовлення валу вторинного коробки передач 21.1701105. Предмет дослідження – є вал вторинний коробки передач 21.1701105. Метою роботи є розробка технологічного процесу виготовлення валу вторинного коробки передач 21.1701105.

В кваліфікаційній роботі проаналізовано базові технологічні процеси механічного оброблення та складання. Встановлено типи та організаційні форми виробництв, вибрано і економічно обґрунтовано спосіб отримання заготовки, проведено структурний аналіз і синтез кількох варіантів технологічного процесів механічного оброблення та складання і встановлено оптимальні. При детальному розробленні встановлено припуски та міжопераційні розміри, проведено розмірний аналіз, визначено режими різання та технологічне оснащення, встановлено контрольні, допоміжні та транспортні операції, проведено нормування. Розроблено пристрої для: оброблення отворів $\varnothing 5$; розточування центрального отвору, комплексного контролю шліців, контролю радіального биття.

Ключові слова: технологічний процес, верстат, оснастка заготовка, деталь, режими різання, формоутворюючі рухи.

ABSTRACT

Yarlykov O.O. Design of the technological process of mechanical processing of the secondary gearbox shaft 21.1701105. Manuscript.

Master's qualification work OP "Applied Mechanics" specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Master's qualification work consists of an introduction, 3 sections, conclusions and proposals, a list of sources used and appendices.

The object of the study of the qualification work is the technological process of manufacturing the secondary gearbox shaft 21.1701105. The subject of the study is the secondary gearbox shaft 21.1701105. The purpose of the work is to develop a technological process of manufacturing the secondary gearbox shaft 21.1701105.

The qualification work analyzes the basic technological processes of mechanical processing and assembly. Types and organizational forms of production have been established, a method of obtaining a workpiece has been selected and economically justified, a structural analysis and synthesis of several options for technological processes of mechanical processing and assembly have been carried out and optimal ones have been established. During detailed development, allowances and interoperation dimensions have been established, dimensional analysis has been carried out, cutting modes and technological equipment have been determined, control, auxiliary and transport operations have been established, standardization has been carried out. Devices have been developed for: processing holes $\square 5$; boring of a central hole, complex control of splines, control of radial runout.

Keywords: technological process, machine tool, tooling, workpiece, part, cutting modes, forming movements.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	10
1.1. Характеристика об'єкту виробництва, службове призначення, ТУ	10
1.2. Аналіз базового технологічного процесу	11
1.3. Сучасні досягнення в області технології, обладнання і оснащення при виготовленні подібних деталей. Порівняльний аналіз.....	15
1.4. Характеристика проектного варіанту технологічного процесу. Економічне обґрунтування.....	16
1.5. Висновки і постановка задачі на дипломне проектування.....	23
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	24
2.1. Попереднє встановлення типу та організаційної форми виробництва.....	24
2.2. Відпрацювання деталі на технологічність.....	26
2.3. Вибір способу отримання заготовки, економічне обґрунтування.....	30
2.4. Вибір методу обробки поверхонь(за коефіцієнтом уточнення).	32
2.5. Вибір та розрахункове обґрунтування баз.....	35
2.6. Детальна розробка оптимального варіанту технологічного процесу.....	38
2.6.1. Визначення допусків, припусків і операційних розмірів. Проектування заготовки.....	38
2.6.2. Розмірний аналіз технологічного процесу.....	43
2.6.3. Розрахунок режимів різання, вибір обладнання та оснащення.	53
2.6.4. Нормування технологічного процесу, уточнення типу виробництва.....	55

3.	КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	63
3.1	Проектування пристрою для свердління отворів $\varnothing 5\text{мм}$	63
3.1.1	Вибір і обґрунтування принципу дії пристрою, структурної схеми.....	63
3.1.2	Силовий розрахунок параметрів приводу.....	65
3.1.3	Розрахунок пристрою на точність.....	68
3.1.4	Загальний опис конструкції, принципу дії, економічне обґрунтування.....	72
3.2	Проектування пристрою для розточування	75
3.3	Проектування пристрою для комплексного контролю шліців....	76
3.4	Проектування пристрою для контролю радіального биття.....	78
	ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	79
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80
	ДОДАТКИ	82

ВСТУП

Актуальність даної кваліфікаційної роботи полягає у тому, що розвиток машинобудування неможливий без впровадження нових перспективних технологій, прогресивних методів обробки, автоматизації і механізації виконуваних робіт, що мають низьку матеріаломісткість виробу, трудомісткість і верстатомісткість виконуваних операцій.

Об'єктом дослідження в кваліфікаційній роботі є технологічний процес виготовлення валу вторинного коробки передач 21.1701105. Важливою задачею при написанні технологічного процесу (ТП) є вибір оптимального варіанту виготовлення деталей, що є складовими виробу, і визначення необхідної точності на кожній ланці створення машини з врахуванням можливостей виробництва та економіки.

Предметом дослідження даної роботи є вал вторинний коробки передач 21.1701105. Цей вузол використовується як складова частина гідромеханічної передачі 21.170 автобусів БОГДАН.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка технологічного процесу виготовлення валу вторинного коробки передач 21.1701105.

У відповідності до мети в роботі поставлені такі завдання:

1. Провести техніко-економічне обґрунтування технологічного процесу.
2. Провести необхідні технологічні розрахунки щодо вибраного оптимального варіанту виготовлення деталі.
3. Дослідити шляхи щодо підвищення продуктивності та автоматизації процесів.
4. Розглянути питання впровадження виконаних розробок у виробництво.

Теоретико-методологічну основу досліджень склали типові технологічні процеси виготовлення валу.

Методи дослідження: теоретичний аналіз об'єкту дослідження і систематизація науково-теоретичних та методичних джерел; емпіричні методи (стандартизовані методики з визначення режимів різання, норм часу на

операціях виготовлення валу); методи обробки та інтерпритування даних (кількісні та якісні методи із застосуванням методів комп'ютерної обробки).

Новизна роботи полягає у застосуванні прогресивної верстатної оснастки, що дали змогу підвищити якість виготовлення деталі і зменшити підготовчо-заключний час на виконуваних операціях.

Практичне значення кваліфікаційної роботи полягає у можливостях практичного використання результатів дослідження для виготовлення подібних деталей підприємствами машинобудівної галузі.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

1.1. Характеристика об'єкту виробництва, службове призначення, технічні умови

Об'єктом виробництва і дослідження є вузол «вал вторинний коробки передач 21.1701100». Цей вузол використовується як складова частина гідромеханічної передачі 21.170 автобусів БОГДАН.

Вузол є достатньо простим для виконання складальних операцій і практично не вимагає використання спеціального обладнання та оснастки. Невелике число деталей, які входять у вузол, дозволить скоротити технологічний процес складання за рахунок концентрації складальних операцій.

Вузол призначений для передачі крутного моменту від першого валу коробки передач до робочого органу цієї коробки та генератора. Для цього передбачено зубчастий блок 6, який кріпиться на втулці 1. Крім цього, даний вузол використовується для місцевого змашування поверхонь тертя. Для цього призначена оливниця 3. Осьове регулювання оливниці здійснюється за допомогою штифта 8.

Деталь вал вторинний коробки передач 21.1701105 є базовою, основною деталлю вузла вал вторинний коробки передач 21.1701100.

Вказана деталь призначена для монтування на ній інших деталей вузла. Дана деталь має поверхні, які призначені для виконання службового призначення як деталі зокрема, так і самого вузла в цілому:

- 1) шліцеві поверхні (вінці) 35, 34, 36;
- 2) циліндрична поверхня 3, на яку поміщають зубчасте колесо;
- 3) циліндрична поверхня 5 для напресування підшипника кочення.

Матеріал для виготовлення заданої деталі – сталь 40Х ДСТУ 4543–91.

Хімічний склад деталі:

- вуглець – 0,39–0,40%;
- марганець – 0,2–0,3%;

- фосфор – до 0,2%;
- сірка – до 0,14%;
- хром – до 1%;
- залізо – до 98%.

Механічні властивості матеріалу деталі:

- межа міцності на розтяг $\sigma_{вр} = 150...160$ МПа
- межа міцності на згин $\sigma_{и} = 130...140$ МПа
- твердість 230...285 НВ.

Технічні вимоги, що застосовують до вузла і деталі, згідно з відповідними кресленнями, значною мірою відповідають службовому призначенню вузла і деталі.

Високі допуски розмірів деталі (6–7 квалітет), параметри шорсткості (до 0,8 мкм), позиційні допуски та допуски форми деталі (відхилення від циліндричності – до 8 мкм, від паралельності – до 25 мкм, від рівномірності профілю поздовжнього перетину – до 12 мкм; радіальне биття – до 25 мкм) можна пояснити необхідністю забезпечення високої точності роботи усього механізму.

1.2. Аналіз базового технологічного процесу

На базовому підприємстві корпорації «Богдан» для механічного оброблення деталі «вал вторинний коробки передач 21.1701105» використовується технологічний процес, що підходить для умов дрібносерійного виробництва. На більшості виконуваних операцій використовується універсальне обладнання та оснащення.

Базовий технологічний процес механічної обробки деталі «вал вторинний коробки передач 21.1701105» забезпечує виконання операцій:

010 - Фрезерно–центрувальна.

1. Фрезерувати торці 1, 2 одночасно.

2. Центрувати торці 1, 2 одночасно. Верстат мод. МР76М.

$T_{шт.} = 1,53$ хв.

015 - Токарна з ЧПК.

1. Точити поверхню 3 з підрізанням торця 4 начорно.
2. Точити поверхню 5 начорно.
3. Точити поверхню 6 начорно.
4. Точити поверхню 7. Верстат моделі 16А20Ф3С39. $T_{ум.} = 17,909$ хв.

020 - Токарна з ЧПК.

1. Точити поверхню 8 з підрізанням торця 9.
2. Точити поверхню 10. Верстат моделі 16А20Ф3С39. $T_{ум.} = 6,607$ хв.

025 - Токарна з ЧПК.

1. Точити фаску 11, поверхню 7 начисто; підрізати торець 12; точити фаску 13, поверхню 6 начисто, фаску 14, поверхню 5 начисто, поверхню 3 начисто підрізати торець 4 начисто; точити фаску 15 послідовно.

2. Точити канавку 16. Верстат моделі 16А20Ф3С39. $T_{ум.} = 5,015$ хв.

030 - Токарна з ЧПК.

1. Точити фаску 17, поверхню 8 і 8` начисто; підрізати торець 9 начисто; точити фаску 18, поверхню 10 послідовно. Верстат моделі 16А20Ф3С39. $T_{ум.-к} = 2,402$ хв.

035 - Токарна з ЧПК.

1. Підрізання тореця 2 начисто.
2. Точіння канавки 19.
3. Точіння канавки 20.
4. Підрізання торця 4 начисто.
5. Підрізати торець 21.
6. Точити канавку 22.
7. Точіння канавки 23.
8. Точити канавку 24.
9. Підрізання торця 9 і точіння канавки 25.
10. Точити канавку 26.
11. Точити канавку 27. Верстат моделі 16А20Ф3С39. $T_{ум.} = 5,089$ хв.

040 - Горизонтально–свердлильна.

1. Свердлити отвір 28. Верстат моделі БС2М80БП.0158

$T_{ум.} = 4,112$ хв.

045 - Шліфувальна з ЧПК.

1. Шліфувати поверхню 8. Верстат моделі 3М152Ф2. $T_{ум.} = 1,708$ хв.

050 - Радіально–свердлильна.

1. Розсвердлити отвір 29. Верстат моделі 2М55. $T_{ум.} = 2,103$ хв.

055 - Комплексна з ЧПК.

1. Розточення отвіру 30.

2. Розточити канавку 31.

3. Розточити отвір 29.

4. Розточення фаски 32.

5. Розсвердлити отвір 44.

6. Зенкерувати отвір 44.

7. Розточення фаски 33.

8. Розгорнути отвір 44. Верстат моделі 2204ВМ4. $T_{ум.} = 7,45$ хв.

060 - Зубофрезерна.

1. Фрезерувати шліці 34. Верстат моделі 5В312. $T_{ум.} = 5,0$ хв.

065 - Шліцефрезерна.

1. Фрезерувати шліці 35. Верстат моделі 5350А. $T_{ум.} = 11,154$ хв.

070 - Шліцефрезерна.

1. Фрезерувати шліці 36. Верстат моделі 5350А. $T_{ум.} = 10,8$ хв.

075 - Вертикально–свердлильна.

1. Свердління отвору 37.

2. Свердлити отвір 38.

3. Свердлити послідовно 4 отвори 39.

4. Свердлити отвір 40.

5. Свердління отвору 41.

6. Зенкерувати 4 фаски 42 послідовно. Верстат моделі 2Н118.

$T_{ум.} = 7,604$ хв.

080 - Вертикально–свердлильна.

1. Свердлити 2 отвори 43 послідовно. Верстат моделі 2М112.

$T_{ум.} = 1,16$ хв.

115 - Центрошліфувальна.

1. Шліфувати фаску 33. Верстат моделі 3922Е. $T_{ум.} = 1,18$ хв.

120 - Центрошліфувальна.

1. Шліфувати фаску центрального отвору в торці 1. Верстат моделі 3922Е.

$T_{ум.} = 1,02$ хв.

125 - Радіально–свердлильна.

1. Розвернути отвір 44 попередньо.

2. Розвернути отвір 44 кінцево. Верстат моделі 2М55. $T_{ум.} = 2,79$ хв.

130 - Торцешліфувальна.

1. Шліфувати поверхню 8 і торець 9. Верстат моделі 3Т161. $T_{ум.} = 2,574$

хв.

135 - Шліфувальна з ЧПК.

1. Шліфувати поверхню 3.

2. Шліфувати поверхню 5.

3. Шліфувати поверхню 6. Верстат моделі 3М151Ф2. $T_{ум.} = 2,6$ хв.

140 - Торцешліфувальна.

1. Шліфувати торець 4. Верстат моделі 3Т161. $T_{ум.} = 1,333$ хв.

145 - Шліцешліфувальна.

1. Шліфувати шліці 36. Верстат моделі 3В451В–2. $T_{ум.} = 8,287$ хв.

150 - Шліцешліфувальна.

1. Шліфувати шліці 34. Верстат моделі 3В451В–2. $T_{ум.} = 6,616$ хв.

155 - Шліфувальна.

1. Шліфувати шліці 35. Верстат моделі 3В451В–2. $T_{ум.} = 4,696$ хв.

160 - Алмазно–розточна.

1. Розточити отвір 29. Верстат моделі ОС–2754. $T_{ум.} = 1,182$ хв.

165 - Різешліфувальна.

1. Шліфувати різь на поверхні 7. Верстат моделі 5К823В.

$T_{ум.} = 3,045$ хв.

Виконавши аналіз даного технологічного процесу, можна зробити такі висновки:

1. Метод отримання заготовки (прокат) є доцільним з погляду на існуюче серійне виробництво.
2. Чорнові, чистові і проміжні бази вибрані правильно. Правило єдності і спадковості баз зберігається.
3. Послідовність операцій визначено правильно.
4. Ступінь концентрації операцій визначено середнім.
5. Дещо завищеними прийняті припуски на механічне оброблення.
6. Режими різання, застосовані в даному технологічному процесі, не є прогресивними. Їх можна виконати більш ефективними, застосувавши інструмент, що оснащений твердим сплавом чи мінералокерамікою.
7. Потужність використаного обладнання на деяких операціях значно перевищує максимальну потужність різання.
8. Якість обробки деталі є достатньою, технічні вимоги виконуються.

1.3. Сучасні досягнення в області технології, обладнання і оснащення при виготовленні подібних деталей. Порівняльний аналіз

Щоб досягнути високі показники у машинобудуванні, потрібно забезпечити врахування та використання основних напрямків технології та організації виробництва:

1. Вдосконалити форми і методи організації технологічних процесів на основі використання досягнень науки і техніки, наукової організації праці, комплексної механізації та автоматизації.

2. Максимально скоротити процеси обробки металів за рахунок використання заготовок, що за формою, розмірами і якістю поверхонь наближаються до готових деталей. Такі заготовки підвищують техніко-економічну ефективність за рахунок зменшення витрати металу, зниження трудомісткості механічного оброблення і зменшення потреби у верстатах та

електроенергії, металорізальному інструменті, що знижує собівартість виготовлення виробів.

3. Застосовувати для механічної обробки високопродуктивне технологічне обладнання і оснастку; агрегатні і багатопозиційні верстати; верстати з ЧПК; металокерамічні та алмазні інструменти; інструменти із звичайних інструментальних матеріалів з різноманітними покриттями, стійкими проти спрацювання; швидкодіючі пристрої та інші технічні нововведення, спрямовані на інтенсифікацію режимів оброблення.

4. Постійно бути в пошуку засобів і методів підвищення надійності і довговічності продукції, що виготовляється.

1.4 Характеристика проектного варіанту технологічного процесу. Економічне обґрунтування

Зважаючи на тип виробництва (великосерійний), креслення деталі і норми точності, розробимо раціональну структуру технологічного процесу.

Як критерій оптимізації при проектуванні раціонального технологічного процесу приймемо критерій мінімальної технологічної собівартості оброблення.

Результати розрахунків наводимо для базового варіанту в таблиці 1.1, для проектного варіанту – в таблиці 1.2.

Потужність обробки визначимо за найбільш завантаженим переходом (позицією) табличним способом, згідно з [12]. Нормативну собівартість 1 години роботи обладнання відповідної моделі визначаємо за довідниковими даними [11], а технологічну – визначаємо за формулою:

$$C_m = 0,017C_n \cdot T_{шт}$$

Таблиця 1.1. – Технологічна собівартість при базовому варіанті ТП

№ п/п	Назва операції та її зміст	Тшт-к, хв	Обладнання			Продуктивність, шт/год	Нормативна собівартість, коп./год	Технологічна собівартість, коп./год
			модель	потужність, кВт	кількість, шт			
1	2	3	4	5		6	7	8
005	Фрезерно-центрувальна. 1. Фрезерувати торці 1 та 2 одночасно. 2. Центрувати торці 1 та 2 одночасно.	1,53	MP76M	5,5	1	39,2	678	17,29
010	Токарна з ЧПК. 1. Точіння поверхні 3 з підрізанням торця 4 начорно. 2. Точіння поверхні 5 начорно. 3. Точіння поверхні 6 начорно. 4. Точити поверхню 7.	17,909	16A20Ф3С39	20	2	3,35	579	172,83
015	Токарна з ЧПК. 1. Точіння поверхні 8 з підрізанням торця 9. 2. Точити поверхню 10.	6,607	16A20Ф3С39	10	1	9,1	579	65,03
020	Токарна з ЧПК. 1. Точіння фаски 11, поверхню 7 начисто; підрізати торець 12; 3. Точіння фаски 13, поверхні 6 начисто, фаску 14, поверхню 5 начисто, поверхню 3 начисто підрізати торець 4 начисто; точити фаску 15 послідовно. 2. Точіння канавки 16.	5,015	16A20Ф3С39	10	1	11,96	642	54,73
025	Токарна з ЧПК. 1. Точити фаску 17, поверхню 8 і 8' начисто; підрізати торець 9 начисто; точити фаску 18, поверхню 10 послідовно.	2,402	16A20Ф3С39	10	1	24,98	579	22,42

030	Токарна з ЧПК. 1. Підрізання тореця 2 начисто. 2. Точіння канавки 19. 3. Точити канавку 20. 4. Підрізання торця 4 начисто. 5. Підрізати торець 21. 6. Точити канавку 22. 7. Точити канавку 23. 8. Точіння канавки 24. 9. Підрізати торець 9 і точити канавку 25. 10. Точіння канавки 26. 11. Точіння канавки 27.	5,089	16A20Ф3С39	10	1	11,79	642	55,54
035	Горизонтально–свердлильна. 1. Свердління отвору 28.	4,112	БС2М80БП.0158	4,5	1	14,59	444	31,04
040	Шліфувальна з ЧПК. 1. Шліфувати поверхню 8.	1,708	3М152Ф2	3,5	1	35,13	509	14,78
045	Радіально–свердлильна. 1. Розсвердлити отвір 29.	2,103	2М55	4	1	28,53	410	14,66
050	Комплексна з ЧПК. 1. Розточення отвору 30. 2. Розточити канавку 31. 3. Розточити отвір 29. 4. Розточити фаску 32. 5. Розсвердлити отвір 44. 6. Зенкерування отвору 44. 7. Розточити фаску 33. 8. Розвернути отвір 44.	7,45	2204ВМФ2	6,3	1	8,05	540	68,39
055	Зубофрезерна. 1. Фрезерування шліців 34.	5,0	5В312	7,5	1	12,0	608	51,68
060	Шліцефрезерна. 1. Фрезерувати шліці 35.	11,154	5350А	13	1	5,38	608	115,29
065	Шліцефрезерна. 1. Фрезерувати шліці 36.	10,8	5350А	13	1	5,56	608	109,44

070	Вертикально–свердлильна. 1. Свердління отвору 37. 2. Свердління отвору 38. 3. Свердли 4 отвори 39 послідовно. 4. Свердління отвору 40. 5. Свердління отвору 41. 6. Зенкерувати 4 фаски 42 послідовно.	7,604	2Н118	11	1	7,89	444	57,39
075	Вертикально–свердлильна. 1. Свердли 2 отвори 43 послідовно.	1,16	2М112	7	1	51,7	210	4,14
080	Центрошліфувальна. 1. Шліфувати фаску 33.	1,18	3922Е	1,7	1	50,85	502	10,07
085	Центрошліфувальна. 1. Шліфування фаски центрального отвору в торці 1.	1,02	3922Е	1,7	1	58,82	502	8,53
090	Радіально–свердлильна. 1. Розвернути отвір 44 попередньо. 2. Розвернути отвір 44 кінцево.	2,79	2М55	4	1	21,51	222	10,53
095	Торцешліфувальна. 1. Шліфування поверхні 8 і торця 9.	2,574	3Т161	17	1	23,31	452	19,78
100	Шліфувальна з ЧПК. 1. Шліфувати пов. 3. 2. Шліфувати пов. 5. 3. Шліфувати пов. 6.	2,6	3М152Φ2	3,5	1	23,08	452	19,98
105	Торцешліфувальна. 1. Шліфувати торець 4.	1,333	3Т161	17	1	45,01	509	11,53
110	Шліцевшліфувальна. 1. Шліфувати шліці 36.	8,287	3В451В–2	7,5	1	7,24	608	85,65
115	Шліцевшліфувальна. 1. Шліфувати шліці 34.	6,616	3В451В–2	7,5	1	9,74	608	68,38

120	Шліфувальна. 1. Шліфувати шліці 35.	4,696	3B451B-2	7,5	1	12,78	612	48,86
125	Алмазно-розточувальна. 1. Розточення отвору 29.	1,182	OC-2754	5,0	1	50,76	609	12,24
130	Різешліфувальна. 1. Шліфувати різь на поверхні 7.	3,045	5K823B	5,5	1	19,7	502	29,99
	Всього	124,97		183,8	27			1180,19

Таблиця 1.2. – Технологічна собівартість при проектному варіанті ТП

№ п/п	Назва операції та її зміст	Тшт-к, хв	Обладнання			Продуктивність, шт/год	Нормативна собівартість, коп./год	Технологічна собівартість, коп./год
			модель	потужність, кВт	кількість, шт			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
005	Фрезерно-центрувальна. 1. Фрезерування торців 1 та 2 одночасно. 2. Центрування торців 1, 2 одночасно.	2,35	2A931	4,4	1	25,53	678	27,09
010	Токарно-багаторізева. Поздовжній супорт. 1.Точіння пов. 7, 6, 5, 3. Поперечний супорт. 2. Точіння канавки 12,20,21.	4,76	1A730	13,0	1	12,61	642	51,95
015	Токарно-багаторізева. Поздовжній супорт. 1.Точіння канавки 23. Поперечний супорт. 2.Точіння фаски 11, 13, торець 21.	3,19	1A730	13,0	1	18,81	642	34,82
020	Токарно-багаторізева. Поздовжній супорт. 1.Точіння пов. 8, 8', 10. Поперечний супорт. 2.Точіння фасок 17, 18, 15.	4,02	1A730	13,0	1	14,93	642	43,87

025	Токарно-багаторізева. Поздовжній супорт. 1.Нарізання різі 7. Поперечний супорт. 2.Точіння фасок 11, 13, 14, торець 21.	2,18	1Г310	6,0	1	27,52	418	15,49
030	Вертикально-свердлильна. 1. Свердлити отв. 28. 2.Зенкерувати отв. 44. 3.Розгорнути отв. 44 попередньо. 4. Розгорнути отв. 44 кінцево. 5. Зенкування фаски 33.	8,95	2Н135Б	4,0	1	6,7	444	67,55
035	Горизонтально- розточувальна. 1. Розточити отв. 29 попередньо. 2. Розточити отв. 30. 3. Розточити канавку 31. 4. Розточити фаску 32.	3,53	2614	5,2	1	17,0	686	41,17
040	Вертикально-свердлильна. 1. Свердління 2 отв. 39. 2. Зенкування 4 фасок 42.	3,48	2Н125Л	1,5	1	17,24	410	24,26
045	Вертикально-свердлильна. 1. Свердлити отв. 37, 38, 40 одночасно. 2. Свердління 2 отв. 43 одночасно. 3. Свердління отв. 41.	3,17	2Н135Б	4,0	1	18,93	444	23,93
050	Шліцефрезерна. 1. Фрезерування вінця 35.	11,15	5350А	13,0	1	5,38	608	115,23
055	Шліцефрезерна. 1.Фрезерування вінця 34.	5,08	5350А	13,0	1	11,81	608	52,51
060	Шліцефрезерна. 1.Фрезерування вінця 36.	10,08	5350А	13,0	1	5,95	608	104,19
065	Центрошліфувальна. 1.Шліфування фаски 33.	1,18	3922Е	1,7	1	50,85	502	10,01
070	Центрошліфувальна. 1.Шліфування фаски центрового отвору в торці 1.	1,75	3922Е	1,7	1	34,29	502	14,93

075	Алмазно-розточувальна. 1. Розточення отв. 29.	2,62	2706	2,8	1	22,9	609	27,12
080	Круглошліфувальна. 1. Шліфування пов. 5, 3 з торцем 4 врізанням попередньо.	4,28	3M152	10,0	1	14,0	509	37,03
085	Круглошліфувальна. 1. Шліфування пов. 5, 3 з торцем 4 врізанням кінцево.	3,64	3M152	10,0	1	16,48	509	31,5
090	Круглошліфувальна. 1. Шліфування пов. 8' і торця 9 попередньо врізанням.	5,28	3M152	10,0	1	11,36	509	45,69
095	Круглошліфувальна. 1. Шліфування пов. 8' і торця 9 кінцево врізанням.	4,65	3M152	10,0	1	12,9	509	40,24
100	Шліцешліфувальна. 1. Шліфування вінця 35	4,7	3B451B-2	7,5	1	12,77	612	48,9
105	Шліцешліфувальна. 1. 1. Шліфування вінця 34.	5,11	3B451B-2	7,5	1	11,74	612	53,16
110	Шліцешліфувальна. 1. 1. Шліфування вінця 36.	6,04	3B451B-2	7,5	1	9,93	612	62,84
	Всього	101,19		171,8	22			973,48

Визначимо приведену річну економію: $E_M = (C_6 - C_{II}) \cdot N$, грн.

де: C_6 , C_{II} – вартість механічного оброблення порівнювальних варіантів, грн.

$$E_M = (1180,19 - 973,48) \cdot 15000 = 3100650 \text{ грн.}$$

З наведених результатів розрахунку можна зробити висновок, що технологічна собівартість механічної обробки за проектним варіантом значно менша ніж за базовим. Це вдалось досягнути за рахунок збільшення продуктивності обробки, а також скороченням трудомісткості порівняно із базовим варіантом технологічного процесу механічної обробки корпусу. Згідно

проведеного розрахунку собівартості приймаємо проектний варіант технологічного процесу, який є більш оптимальним.

1.5. Висновки та постановка задачі на кваліфікаційну роботу

Проаналізувавши заводський варіант технологічного процесу механічної обробки деталі «вал вторинний коробки передач 21.1701105», можна зробити висновок про доцільність модернізації існуючого технологічного процесу. Дана модернізація полягає в наступному:

- 1) у зміні структур технологічних процесів;
- 2) у заміні швидкорізального інструменту на більш прогресивний твердосплавний;
- 3) у виборі оптимального, з точки зору мінімальної собівартості і максимальної продуктивності, технологічного обладнання;
- 4) у виборі заготовки з мінімальною собівартістю отримання;
- 5) у розробці технологічного оснащення для можливості збільшення продуктивності і зменшення собівартості обробки.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Попереднє визначення типу та організаційної форми виробництва

Тип виробництва можна встановити за коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о}$:

$$K_{з.о} = \frac{\sum O}{\sum P}, \quad (2.1)$$

де: $\sum O$ – число всіх операцій, які можуть виконуватися на ділянці;
 $\sum P$ – число робочих місць на заданій ділянці.

$$O = \frac{\eta_{з.норм}}{\eta_{з.факт}}, \quad (2.2)$$

де: $\eta_{з.норм}$ – нормативний коефіцієнт завантаженості обладнання (приймається 0,85);

$\eta_{з.факт}$ – фактичний коефіцієнт завантаженості обладнання.

$$\eta_{з.факт} = \frac{P_{розр}}{P_{пр}}, \quad (2.3)$$

де: $P_{розр}$ – розрахункове число необхідного обладнання;

$P_{пр}$ – прийняте число устаткування.

$$P_{розр} = \frac{T_{шт} \cdot N}{60 \cdot \Phi_{\partial}}, \quad (2.4)$$

де: $T_{шт}$ – штучний час на виконання операції, хвилин (приймаємо за даними базового підприємства); N – річна програма випуску (приймаємо 15000 шт., що відповідно до завдання); Φ_{∂} – дійсний час роботи обладнання (приймаємо 4015 год. за двозмінного режиму роботи).

Усі розрахунки заносимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1. – Попереднє встановлення типу виробництва за механічної обробки деталі
«вал вторинний коробки передач 21.1701105»

Операція	$T_{ум}$, хв.	$P_{розр}$	$P_{пр}$	$\eta_{з.факт}$	O
1	2	3	4	5	6
Фрезерно-центрувальна.	2,35	0,18	1	0,18	4,44
Токарно-багаторіздева.	4,76	0,37	1	0,37	2,16
Токарно-багаторіздева.	3,19	0,25	1	0,25	3,2
Токарно-багаторіздева.	4,02	0,32	1	0,32	2,5
Токарно-багаторіздева.	2,18	0,17	1	0,17	4,71
Вертикально-свердлильна.	8,95	0,7	1	0,7	1,14
Горизонтально-розточувальна.	3,53	0,27	1	0,27	2,96
Вертикально-свердлильна.	3,48	0,27	1	0,27	2,96
Вертикально-свердлильна.	3,17	0,25	1	0,25	3,2
Шліцефрезерна.	11,15	0,8	1	0,8	1,0
Шліцефрезерна.	5,08	0,4	1	0,4	2,0
Шліцефрезерна.	10,08	0,78	1	0,78	1,03
Центрошліфувальна.	1,18	0,1	1	0,1	8,0
Центрошліфувальна.	1,75	0,14	1	0,14	5,71
Алмазно-розточувальна.	2,62	0,2	1	0,2	4,0
Круглошліфувальна.	4,28	0,33	1	0,33	2,42
Круглошліфувальна.	3,64	0,28	1	0,28	2,86
Круглошліфувальна.	5,28	0,41	1	0,41	1,95
Круглошліфувальна.	4,65	0,36	1	0,36	2,22
Шліцешліфувальна.	4,7	0,37	1	0,37	2,16
Шліцешліфувальна.	5,11	0,4	1	0,4	2,0
Шліцешліфувальна.	6,04	0,47	1	0,47	1,7
Всього	101,19		22		64,32

На основі формули (2.1):

$$K_{з.о} = \frac{64,32}{22} = 2,92.$$

При умові: $1 \leq K_{з.о} < 10$, отримуємо великосерійне виробництво.

Тепер потрібно визначити організаційну форму виробництва.

Організаційну форму виробництва визначають за коефіцієнтом потоковості R :

$$R = \frac{T_{ум.сер}}{T}, \quad (2.5)$$

де: $T_{ум.сер}$ – штучний середній час на виконання операції, хв.;

T – такт випуску продукції, хв.

$$T = \frac{\Phi_{\partial} \cdot 60}{N} = \frac{4015 \cdot 60}{15000} = 16,06 \text{ хв.}$$

Визначимо середній штучний час $T_{шт.сер.}$:

$$T_{шт.сер.} = \frac{101,19}{22} = 4,6 \text{ хв, } R = \frac{4,6}{16,06} = 0,29.$$

Так як $R < 0,6$, то будемо мати групову форму організації виробництва.

Попередньо визначимо розмір партії запуску Π_o .

$$\text{Добове завантаження визначається: } \Pi_{\partial} = \frac{N}{\Phi_{\partial.дн}},$$

де: $\Phi_{\partial.дн}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання у днях.

$$\Pi_{\partial} = \frac{15000}{254} = 59,1.$$

$$\Pi_o = \Pi_{\partial} \cdot a = 59,1 \cdot 3 = 177,3 \approx 178,$$

де: a – періодичність запуску партії, у днях.

Знайдемо кількість змін Z_o , необхідних для обробки партії деталей Π_o :

$$Z_o = \frac{T_{шт.сер.} \cdot \Pi_o}{\Phi_{\partial.доб} \cdot \eta_{з.норм}},$$

де: $\Phi_{\partial.доб}$ – добовий фонд часу роботи обладнання в одну зміну, хв.

$$Z_o = \frac{4,6 \cdot 178}{476 \cdot 0,8} = 2,15.$$

Тому приймаємо: $Z_{\phi} = 3$.

Визначимо фактичне число деталей у партії:

$$\Pi_{\phi} = \frac{\Phi_{\partial.доб} \cdot \eta_{з.норм}}{T_{шт.сер.}} Z_{\phi}, \quad \Pi_{\phi} = \frac{476 \cdot 0,8}{4,6} \cdot 3 = 248 \text{ деталей.}$$

2.2. Відпрацювання деталі на технологічність

Щоб відпрацювати конструкцію деталі на технологічність потрібно внести зміни до конструкторської та технологічної документації для використання найбільш ефективних засобів обробки та побудови оптимальних технологічних процесів. При конструюванні виробу потрібно не тільки

забезпечити його експлуатаційні характеристики, але й забезпечити вимоги до їх найбільш економічного виготовлення.

Чим менша трудомісткість і собівартість виготовлення виробу, тим більш технологічним його вважають.

Для відпрацювання конструкції виробу на технологічність потрібно виконати оцінку технологічності конструкції на якісному і кількісному рівнях.

Характеристика якісних показників технологічності.

1. Деталь повинна мати просту і правильну геометричну форму, що полегшить її базування в процесі механічного оброблення, а також спростить процес отримання заготовки.
2. Фізико-хімічні та механічні властивості матеріалу деталі, а також її форма та розміри мають відповідати вимогам технології виготовлення.
3. Показники базових поверхонь (точність, шорсткість) деталі мають забезпечувати можливість застосування типового технологічного процесу її виготовлення.
4. Обробка поверхонь має забезпечуватись «на прохід» і допускати застосування високопродуктивного устаткування.
5. Деталь повинна мати стандартні базові поверхні для початкової обробки, а також подальші бази.
6. Конструкція деталі має дозволяти застосування граничних калібрів для контролю поверхонь; не вимагати застосування унікальних вимірювальних пристроїв та інструментів.
7. Нетехнологічним вважають центральний отвір (при свердлінні на $\varnothing 10^{+0,36}$ і $l = 248 \pm 2$ мм $l/D \approx 25$).
8. Нетехнологічною вважається гвинтова канавка на лівій частині деталі. Її виготовлення потребує спеціального пристрою або верстата з ЧПК.

Кількісні показники технологічності

Для розрахунків кількісних показників технологічності використаємо дані, наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. – Дані для розрахунку кількісних показників технологічності
деталі «вал вторинний коробки передач 21.1701105»

Поверхня	Квалітет	Шорсткість	Уніфікованість
1 – 2	14	2 – 12,5	++
2 – 9	12	0,8	+
1 – 4	12	0,8	+
3	7	12,5	+
5	6	0,8	+
6	6	0,8	+
7	11	6,3	+
8	6	6,3	+
10	11	12,5	+
11	14	12,5	+
12	14	3,2	+
13	14	12,5	+
14	14	12,5	+
15	14	12,5	+
16	14	3,2	–
17	14	12,5	+
18	14	12,5	+
19	12	1,6	–
20	12	3,2	–
21	12	3,2	+
22	14	12,5	–
23	14	12,5	–
24	12	1,6	–
25	14	12,5	–
26	12	1,6	–
27	14	6,3	–
28	14	12,5	–
29	7	0,8	+
30	14	12,5	+
31	14	12,5	–
32	14	12,5	+
33	14	12,5	+
34	8	1,6	–
35	8	1,6	–
36	8	1,6	–
37	14	12,5	+
38	14	12,5	+
39	14	12,5	+
40	14	12,5	+
41	14	12,5	+
42	14	12,5	+
43	14	12,5	–
44	8	0,8	+

1) Коефіцієнт точності:

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{сер}}$$

де: $T_{сер}$ – середній квалітет точності:

$$T_{сер} = \frac{\sum T_i \cdot n}{\sum n},$$

де: T_i – квалітет і-тої поверхні;

n – число поверхонь даного квалітету.

$$T_{сер} = \frac{6 \cdot 3 + 7 \cdot 2 + 8 \cdot 4 + 11 \cdot 2 + 12 \cdot 7 + 14 \cdot 26}{44} = 12,14$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{12,14} = 0,92$$

$K_{T.норм} = 0,88$; $K_T > K_{T.норм}$ – деталь вважається технологічною за точністю.

2) Визначимо коефіцієнт шорсткості:

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{сер}}$$

де: $Ш_{сер}$ – середня шорсткість деталі, у мкм:

$$Ш_{сер} = \frac{\sum Ш_i \cdot n}{\sum n},$$

де: $Ш_i$ – шорсткість і-тої поверхні деталі, у мкм;

n – число поверхонь із заданою шорсткістю.

$$Ш_{сер} = \frac{0,8 \cdot 6 + 1,6 \cdot 6 + 3,2 \cdot 4 + 6,3 \cdot 2 + 12,5 \cdot 26}{44} = 8,29; K_{ш} = 1 - \frac{1}{8,29} = 0,88$$

$K_{ш.норм} = 0,86$; $K_{ш} > K_{ш.норм}$ – деталь є технологічною за шорсткістю.

3) Визначимо коефіцієнт уніфікації:

$$K_y = \frac{n_{уніф}}{n_{заг}}$$

де: $n_{уніф}$ – число уніфікованих поверхонь;

$n_{заг}$ – загальне число поверхонь.

$$K_y = \frac{29}{44} = 0,66; K_{y.норм} = 0,66.$$

$K_y > K_{y.норм}$ – деталь є технологічною за ступенем уніфікації.

4) Визначимо коефіцієнт використання матеріалу: $K_{в.м} = \frac{m_{дет}}{m_{заг}}$,

де: $m_{дет}$ – маса деталі, в кг; $m_{заг}$ – маса заготовки, в кг.

$$K_{в.м} = \frac{7,7}{24,13} = 0,32; K_{в.м.норм} = 0,75$$

Якщо $K_{в.м} > K_{в.м.норм}$ – то деталь є нетехнологічною за ступенем використання матеріалу.

2.3. Вибір способу отримання заготовки, економічне обґрунтування

Заготовку нашої деталі можна отримати такими способами:

- 1) Штампуванням на горизонтально-кувальній машині (ГКМ).
- 2) Радіальним обтиском.
- 3) Як прокат.

Загальні дані для розрахунку:

- матеріал деталі – сталь 40Х ДСТУ 4543-91;
- маса деталі – 7,7 кг;
- тип виробництва – великосерійний.

Таблиця 2.3. – Вибір методу отримання заготовки

Назва показника	1 вар.	2 вар.	3 вар.
1. Вид заготовки	штампування на ГКМ	Радіальний обтиск	прокат
2. Клас точності	II	I	III
3. Група серійності	2	2	2
4. Група складності	I	I	I
5. Вартість 1т матеріалу заготовки S , грн./т	1080	1240	960
6. Вартість 1т матеріалу стружки $S_{від}$, грн./т	112	112	112
7. Маса заготовки Q , кг	12,8	10,5	24,1

Визначимо вартість штучної заготовки за формулою:

$$S_{заг} = \left(\frac{S}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{II} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{від}}{1000}$$

де: q - маса деталі, кг; $K_T, K_C, K_B, K_M, K_{II}$ - коефіцієнти, що залежать відповідно від класу точності, групи складності, маси, матеріалу, об'єму виробництва.

$$S_{заг1} = \left(\frac{1080}{1000} \cdot 12,8 \cdot 1,03 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 1,57 \cdot 0,93 \right) - (12,8 - 7,7) \cdot \frac{112}{1000} = 12,526 \text{ грн.}$$

$$S_{заг2} = \left(\frac{1240}{1000} \cdot 10,5 \cdot 1,19 \cdot 0,7 \cdot 1,57 \cdot 0,93 \right) - (10,5 - 7,7) \cdot \frac{112}{1000} = 13,941 \text{ грн.}$$

$$S_{заг3} = \left(\frac{960}{1000} \cdot 24,1 \cdot 0,98 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 1,57 \cdot 0,93 \right) - (24,1 - 7,7) \cdot \frac{112}{1000} = 19,022 \text{ грн.}$$

Згідно таблиці 21 [5] штампування на ГKM дає 13-14 квалітет точності, радіальний обтиск – 11 квалітет, прокат дає 14-15 квалітет. У зв'язку з цим в технологічному процесі механічної обробки введемо такі зміни:

1. Штампування на ГKM.

З технологічного процесу заберемо переходи, пов'язані з чорновим кількохкратним розточуванням отворів.

2. Радіальний обтиск.

З технологічного процесу заберемо переходи, пов'язані з чорновим проточуванням і розточуванням (окрім одноразових).

3. Прокат.

У технологічному процесі заберемо операцію розрізання прокату на штучні заготовки.

Отже вибираємо радіальний обтиск, як більш раціональний спосіб отримання заготовки. Економічний ефект у розрахунку на річну програму випуску складе:

- варіант 2) порівняно з варіантом 1):

$$\Delta S = (13,941 - 12,526) \cdot 15000 = 21225 \text{ грн.}$$

- варіант 2) порівняно з варіантом 3):

$$\Delta S = (19,022 - 13,941) \cdot 15000 = 76215 \text{ грн.}$$

Отже радіальний обтиск – найбільш економічний метод отримання заготовки.

2.4. Вибір методу обробки поверхонь (за коефіцієнтом уточнення)

В основу методики вибору методу обробки поверхонь закладено гіпотезу послідовного уточнення розміру поверхні заготовки більш економічно доцільними методами щодо точності розміру поверхні деталі. Заготовці надамо уточнення $\varepsilon_{y \text{ заг.}}$.

$$\varepsilon_{y \text{ заг.}} = \frac{T_{\text{заг.}}}{T_{\text{дет.}}},$$

де: $T_{\text{заг.}}$, $T_{\text{дет.}}$ – допуски для розмірів заготовки і деталі, у мкм відповідно.

У нашому випадку поверхня обробляється послідовно чорновими, чистовими та викінчувальними методами, тобто обробка поверхні в загальному випадку проходить за кілька етапів, на кожному з яких поверхню уточнюють на таку величину:

$$\varepsilon_{yi} = \frac{T_i - 1}{T_i},$$

де: T_{i-1} , T_i – допуски відповідно на попередню і поточну обробки, в мкм.

Розрахункове уточнення можна забезпечити різними методами обробки, кожний з яких характеризується своєю величиною уточнення. Заготовка, яка піддалась всім методам обробки, має загальне уточнення, що дорівнює добутку ε_{yi} - уточнень, отриманих при виконанні кожного переходу.

$$\varepsilon_y = \prod_{i=1} \varepsilon_{yi}$$

Ознакою того, що число методів обробки поверхні деталі вибрано правильно, є нерівність:

$$\varepsilon_y \leq \varepsilon_{\text{заг.}}$$

Коефіцієнт уточнення визначає число методів оброблення n :

$$n = \frac{\ln \varepsilon_{\text{заг.}}}{0,46}$$

Порядок вибору методів обробки можна продемонструвати на прикладі:

Є завдання обробити пов. 5 ($\varnothing 60_{-0,032}^{-0,012}$, шорсткість – 0,8 мкм).

Метод отримання заготовки – радіальний обтиск – дозволить отримати дану ступінь з допуском за 11-12 квалітетом точності і шорсткістю $Ra = 12,5$ мкм.

Визначимо загальне уточнення:

$$\varepsilon_y = \frac{T_{заг}}{T_{дет}} = \frac{250}{20} = 12,5$$

Визначимо кількість необхідних переходів:

$$n = \frac{\ln 12,5}{0,46} = 2,38$$

Приймаємо: $n = 3$.

Згідно з таблицею 4.10 [7], визначаємо:

- 1) при точінні одноразовому – 9 квалітет точності (допуск – 74 мкм, шорсткість – 3,2 мкм);
- 2) при шліфуванні попередньому – 7 квалітет точності (допуск – 30 мкм, шорсткість – 0,8 мкм);
- 3) при шліфуванні тонкому – 6 квалітет точності (допуск – 19 мкм) шорсткість – 0,2 мкм).

Уточнення за переходами:

$$\varepsilon_{y1} = \frac{250}{74} = 3,38; \quad \varepsilon_{y2} = \frac{74}{30} = 2,47; \quad \varepsilon_{y3} = \frac{30}{19} = 1,58$$

Загальне уточнення складає:

$$\varepsilon_{yзаг} = \varepsilon_{y1} \cdot \varepsilon_{y2} \cdot \varepsilon_{y3} = 3,38 \cdot 2,47 \cdot 1,58 = 13,2.$$

У нас умова $\varepsilon_y \leq \varepsilon_{yзаг}$ виконується. Усі наші розрахунки заносимо у таблицю 2.4. На поверхні, що не вказані у табл. 2.4., призначаємо одноразове оброблення.

Таблиця 2.4. - Встановлення методів обробки

Порядок	Розмір, мм	Квалітет	Допуск T_s , мкм	Шорсткість R_a , мкм	Допуск заготовки $T_{заг}$, мкм	Уточнення за кресленням $\epsilon_{кр} = T_{заг}/T_k$	Розрахунок перехідів	Приймається кількість переходів	Можливі методи оброблення	Точність оброблення за довідником, мкм	Шорсткість оброблення за довідником, мкм	Дійсне уточнення $\epsilon_{oi} = T_{i-1}/T_i$	Загальне значення уточнення $\epsilon = \prod \epsilon_{oi}$
3	68	7	250	12,5	8,33	2,0	2		1 Точіння одноразове	74	3,2	3,38	8,33
										30	0,8	2,47	
5	60	6	250	0,8	12,5	2,38	3		1 Точіння одноразове	74	3,2	3,38	13,2
									2 Шліфування попереднє	30	0,8	2,47	
									3 Шліфування тонке	19	0,2	1,58	
6	56	6	250	0,8	13,2	2,43	3		1 Точіння одноразове	74	3,2	3,38	13,2
									2 Шліфування попереднє	30	0,8	2,47	
									3 Шліфування тонке	19	0,2	1,58	
8	75	6	250	6,3	13,2	2,43	3		1 Точіння одноразове	74	3,2	3,38	13,2
									2 Шліфування попереднє	30	0,8	2,47	
									3 Шліфування тонке	19	0,2	1,58	
29	62	7	250	0,8	8,33	2,0	2		1 Розточування попереднє	74	3,2	3,38	8,33
									2 Розточування тонке	30	0,8	2,47	

2.5. Вибір та розрахункове обґрунтування баз

Згідно з ДСТУ 21495-97, при виборі технологічних баз керуються правилом “шести точок”, а також принципом єдності, постійності та спадковості баз. Процедура вибору технологічних баз містить три етапи:

- 1) проаналізувати призначення різних поверхонь деталі;
- 2) вибрати чистові бази;
- 3) вибрати чорнові бази.

1 етап. Аналіз функціонального призначення різних поверхонь деталі.

Проаналізувавши виявляємо основні та допоміжні бази деталі. Основними базами вважають поверхні, які визначають положення деталі відносно інших деталей у вузлі. У даному випадку це шийка підшипника 5 з торцем 20 і отвір 29 з торцем 31, торець 2, а також торці 4, 9.

Допоміжними базами вважають поверхні, які визначають положення всіх інших деталей, які з'єднуються з даною, займаючи певне положення відносно основних баз. У нашому випадку це шліцеві вінці 35, 34, 36, поверхня 3 під зубчасте колесо, система отворів 37-38-41.

Інші поверхні (оброблювані і необроблювані) відносяться до вільних.

2 етап. Вибраємо чистові бази.

Зважаючи на службове призначення деталі, провівши аналіз технічних вимог, та з метою досягнення необхідної точності деталі, як чистові технологічні бази вибираємо такі основні бази – торці 20, 4, 9, залежно від поверхонь, які потрібно обробити. Заготовка базується у центрах. У тому, який торець буде базою, будемо визначати розрахунками.

- 1) Обробка отвору 39 (який є базою для оброблення інших отворів).

Схему для розрахунку похибки базування наведемо на рис. 2.1.

Згідно з варіантом а):

$$\varepsilon_{\phi} = TA_2 = 0,1 \text{ мм.}$$

Згідно з варіантом б):

$$\varepsilon_{\phi} = 0 \text{ мм.}$$

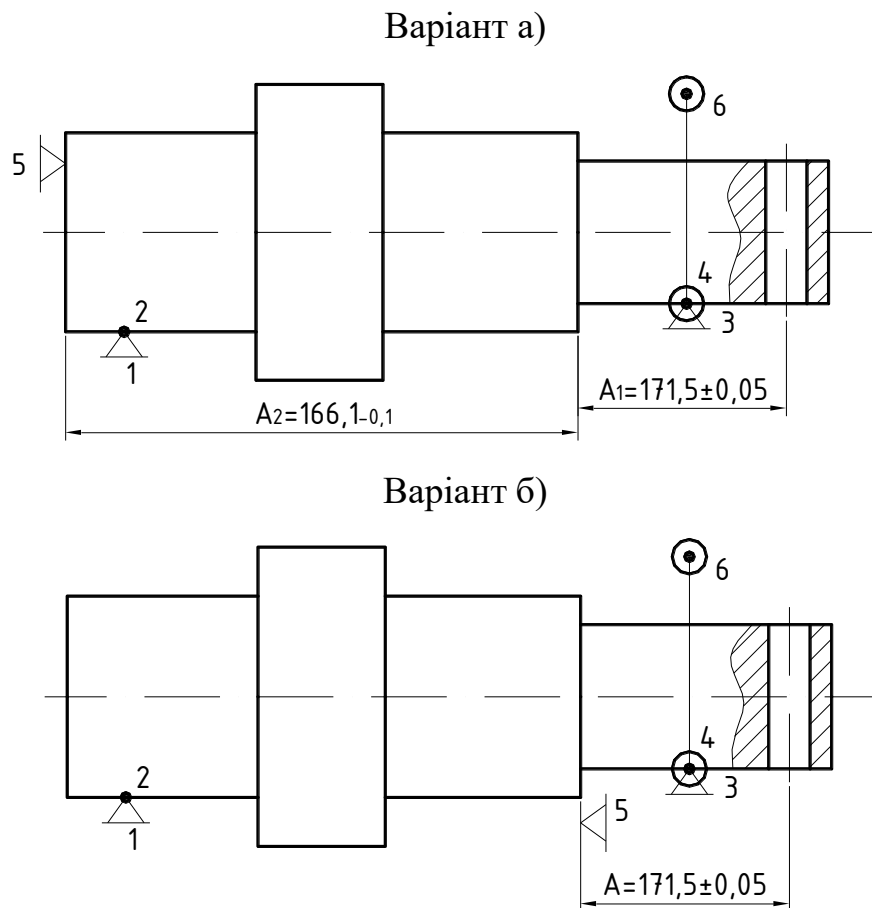


Рисунок 2.1 Схеми базування за обробки базового отвору 39

2) Обробка комплекту отворів 37, 38, 40, 41. Схема наведена на рис. 2.2.

За варіантом а):

$$\varepsilon_{\delta} = (A) = 0$$

$$\varepsilon_{\delta} = (B) = T(B_1) = 0,1$$

$$\varepsilon_{\delta} = (B) = T(B_1) = 0,14$$

$$\varepsilon_{\delta} = (Г) = T(B_1) = 0,14.$$

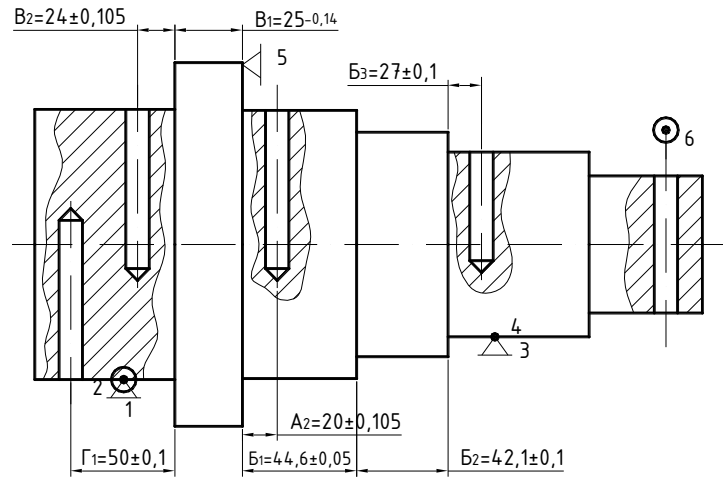
За варіантом б):

$$\varepsilon_{\delta} = (A) = T(A_2) = 0,1$$

$$\varepsilon_{\delta} = (B) = T(B_2) = 0,1$$

$$\varepsilon_{\delta} = (B) = \varepsilon_{\delta}(Г) = T(A_2) + T(A_1) + T(B_1) = 0,1 + 0,21 + 0,14 = 0,45.$$

Варіант а)



Варіант б)

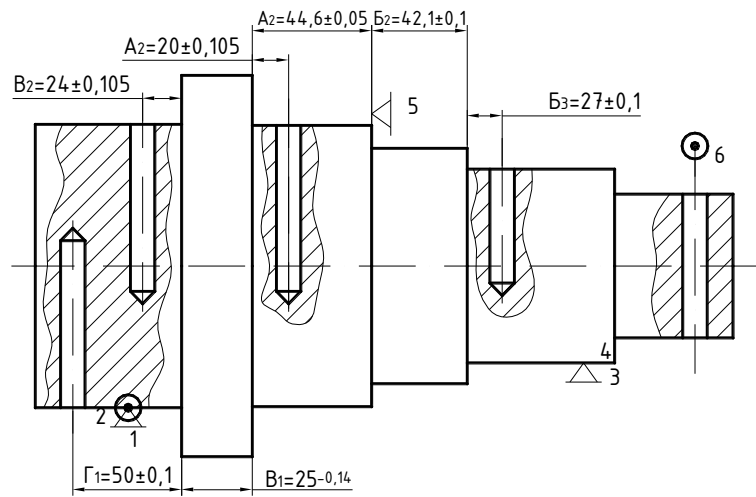


Рисунок 2.2 Схеми базування за обробки комплекту отворів

- 3) Обробка торців і зовнішніх поверхонь деталей відбувається з центрових отворів:

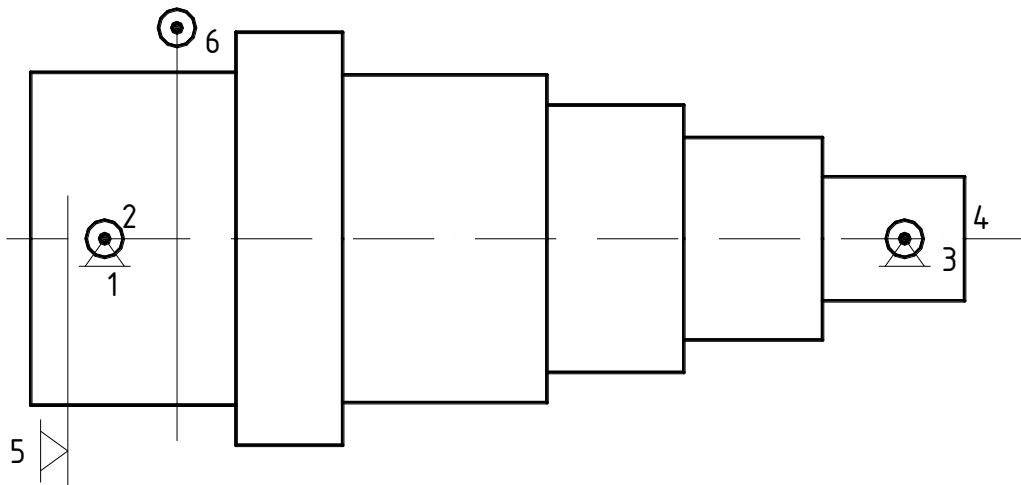


Рисунок 2.3 Схема базування за обробки деталі в центрах

Етап 3. Вибираємо чорнові бази.

Як чорнові бази при обробленні центрових отворів на фрезерно-центрувальній операції вибираємо: шийки 5 і 8, а також торець 4.

Схема базування наступна:

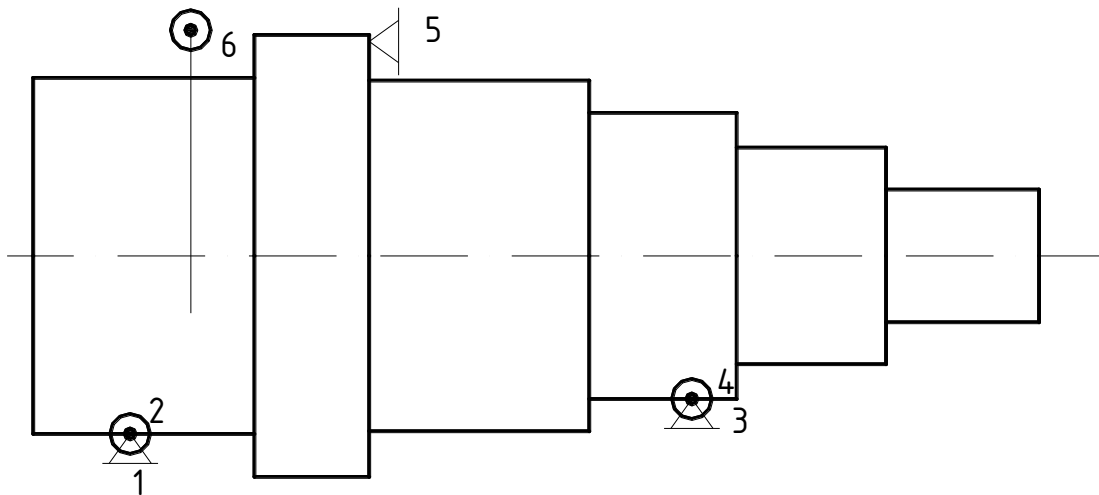


Рисунок 2.4 Схема базування за обробки чистових баз

2.6. Детальна розробка оптимального варіанту технологічного процесу

2.6.1. Визначення допусків, припусків і операційних розмірів.

Проектування заготовки

Розрахунок припусків проводимо аналітичним способом для поверхні 5 ($\varnothing 60_{-0,032}^{-0,012}$) за методикою, що викладена в [7].

Усі розрахунки заносимо в таблицю 2.5.

Схему графічного розташування припусків та допусків для обробки вказаної поверхні наведемо на рис. 2.5.

Припуски та допуски на інші поверхні призначаємо за ДСТУ 26645-95 і заносимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.5. – Розрахунок припусків для обробки поверхні $\varnothing 60_{-0,032}^{-0,012}$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 60_{-0,032}^{-0,012}$	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2z_{min}$, мкм	Розрахунковий розмір d_p , мкм	Допуск, мкм	Граничне значення розміру, мм		Граничне значення припуску, мм	
	Rz	T	ρ	ε				d_{min}	d_{max}	$2z_{min}^{ep}$	$2z_{max}^{ep}$
Заготовка	50	30	121	–	–	60,464	300	60,46	60,76	–	–
1. Обточування одноразове	25	–	8	10	2,201	60,062	74	60,06	60,13	0,40	0,63
2. Шліфування попереднє	5	–	5	6	2,35	59,992	30	59,99	60,02	0,07	0,11
3. Шліфування кінцеве	2	–	2	6	2,12	59,968	19	59,97	59,99	0,02	0,03
Всього	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,49	0,77

Значення R_z і T визначаємо з табл. 2.1 [8].

Просторове відхилення для заготовки даного типу визначаємо з:

$$\rho_{заг} = \sqrt{\rho_{жол}^2 + \rho_{зм}^2},$$

де: $\rho_{жол}$ – жолоблення заготовки, в мкм; $\rho_{зм}$ – зміщення заготовки.

Жолоблення отвору потрібно враховувати як у діаметральному, так і в осьовому січеннях:

$$\rho_{жол} \sqrt{(\Delta_k \cdot d)^2 + (\Delta_k \cdot l)^2},$$

де: Δ_k – питома кривизна заготовки, в мкм на 1мм довжини (діаметру);

d, l – відповідно діаметр і довжина оброблювального отвору, в мм.

Зміщення отвору приймається таким, що рівний допуску на розмір від осі оброблювальної ступені отвору до поверхні базової площини:

$$\rho_{жол} = \sqrt{(0,5 \cdot 60)^2 + (0,5 \cdot 42)^2} = 37 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{зм} = \delta_A = 105 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{жол} = \sqrt{37^2 + 105^2} = 121 \text{ мкм.}$$

Визначимо кінцеві просторові відхилення після чергових переходів:

$$\rho_i = k_y \cdot \rho_{заг},$$

де: k_y – коефіцієнт уточнення форми.

Під час чорнового точіння:

$$\rho_1 = 0,06 \cdot \rho_{заг} = 0,06 \cdot 121 = 8 \text{ мкм}$$

Під час попереднього шліфування:

$$\rho_2 = 0,04 \cdot \rho_{заг} = 0,04 \cdot 121 = 5 \text{ мкм}$$

Під час кінцевого шліфування:

$$\rho_3 = 0,025 \cdot \rho_{заг} = 0,025 \cdot 121 = 2 \text{ мкм}$$

Похибку встановлення заготовки за обробки в центрах, згідно з [8], приймаємо:

$$\varepsilon_1 = 10 \text{ мкм}; \varepsilon_2 = 6 \text{ мкм}; \varepsilon_3 = 6 \text{ мкм}.$$

Визначаємо мінімальні припуски:

$$z_{\min 1} = 2 \cdot \left(50 + 30 + \sqrt{121^2 + 10^2} \right) = 2 \cdot 201 \text{ мкм}.$$

$$z_{\min 2} = 2 \cdot \left(25 + \sqrt{8^2 + 6^2} \right) = 2 \cdot 35 \text{ мкм}.$$

$$z_{\min 3} = 2 \cdot \left(5 + \sqrt{5^2 + 6^2} \right) = 2 \cdot 12 \text{ мкм}.$$

Визначимо розрахунковий розмір після крайнього переходу:

$$d_{p3} = d_{\min} = 59,968 \text{ мм}.$$

Аналогічно для інших переходів і заготовки:

$$d_{pi} = d_{pi+1} + 2z_{\min i+1}$$

$$d_{p2} = 59,968 + 2 \cdot 0,012 = 59,992 \text{ мм}.$$

$$d_{p1} = 59,992 + 2 \cdot 0,035 = 60,06 \text{ мм}.$$

$$d_{pзаг} = 60,062 + 2 \cdot 0,201 = 60,464 \text{ мм}.$$

Визначимо розміри допусків:

- для заготовки: $\delta_{заг} = 300 \text{ мкм}$;

- для чорнового точіння: $\delta_1 = 74 \text{ мкм}$;

- для попереднього шліфування: $\delta_2 = 30 \text{ мкм}$;

- для кінцевого шліфування: $\delta_3 = 19 \text{ мкм}$.

Максимальні розміри складають: $d_{\max i} = d_{\min i} + \delta_i$,

де: $d_{\min i}$ – мінімальні розміри за переходами, які приймають рівними розрахунковим розмірам, що заокруглені до 0,01 мм.

$$d_{\max 1} = 60,06 + 0,074 = 60,13 \text{ мм.}$$

$$d_{\max 2} = 59,99 + 0,03 = 60,02 \text{ мм.}$$

$$d_{\max 3} = 59,97 + 0,019 = 59,99 \text{ мм.}$$

Визначимо граничні припуски $2z_{\min}^{zp}$ і $2z_{\max}^{zp}$:

$$2z_{\min}^{zp} = d_{\min i-1} - d_{\min i}.$$

$$2z_{\max}^{zp} = d_{\max i-1} - d_{\max i}.$$

$$2z_{\min 1}^{zp} = 60,46 - 60,06 = 0,40 \text{ мм.}$$

$$2z_{\max 1}^{zp} = 60,76 - 60,13 = 0,63 \text{ мм.}$$

$$2z_{\min 2}^{zp} = 60,06 - 59,99 = 0,07 \text{ мм.}$$

$$2z_{\max 2}^{zp} = 60,13 - 60,02 = 0,11 \text{ мм.}$$

$$2z_{\min 3}^{zp} = 59,99 - 59,97 = 0,02 \text{ мм.}$$

$$2z_{\max 3}^{zp} = 60,02 - 59,99 = 0,03 \text{ мм.}$$

$$2z_{\min \Sigma}^{zp} = \Sigma 2z_{\min i}^{zp} = 0,49 \text{ мм.}$$

$$2z_{\max}^{zp} = \Sigma 2z_{\max i}^{zp} = 0,77 \text{ мм.}$$

Виконуємо перевірку правильності розрахунку:

$$2z_{\max 1}^{zp} - 2z_{\min 1}^{zp} = \delta_{заг} - \delta_1.$$

$$0,63 - 0,40 = 0,3 - 0,74.$$

$$0,23 = 0,226.$$

Визначимо номінальний розрахунковий припуск:

$$2z_{ном} = 2z_{\min \Sigma}^{zp} + es_{заг} - ei_{дет}.$$

$$2z_{ном} = 0,49 + 0,15 - (-0,012) = 0,65 \text{ мм.}$$

Визначимо номінальний розмір заготовки:

$$d_{загот.ном.} = d_{дет.ном.} + 2z_{ном} = 60 + 0,065 = 60,065 \text{ мм.}$$

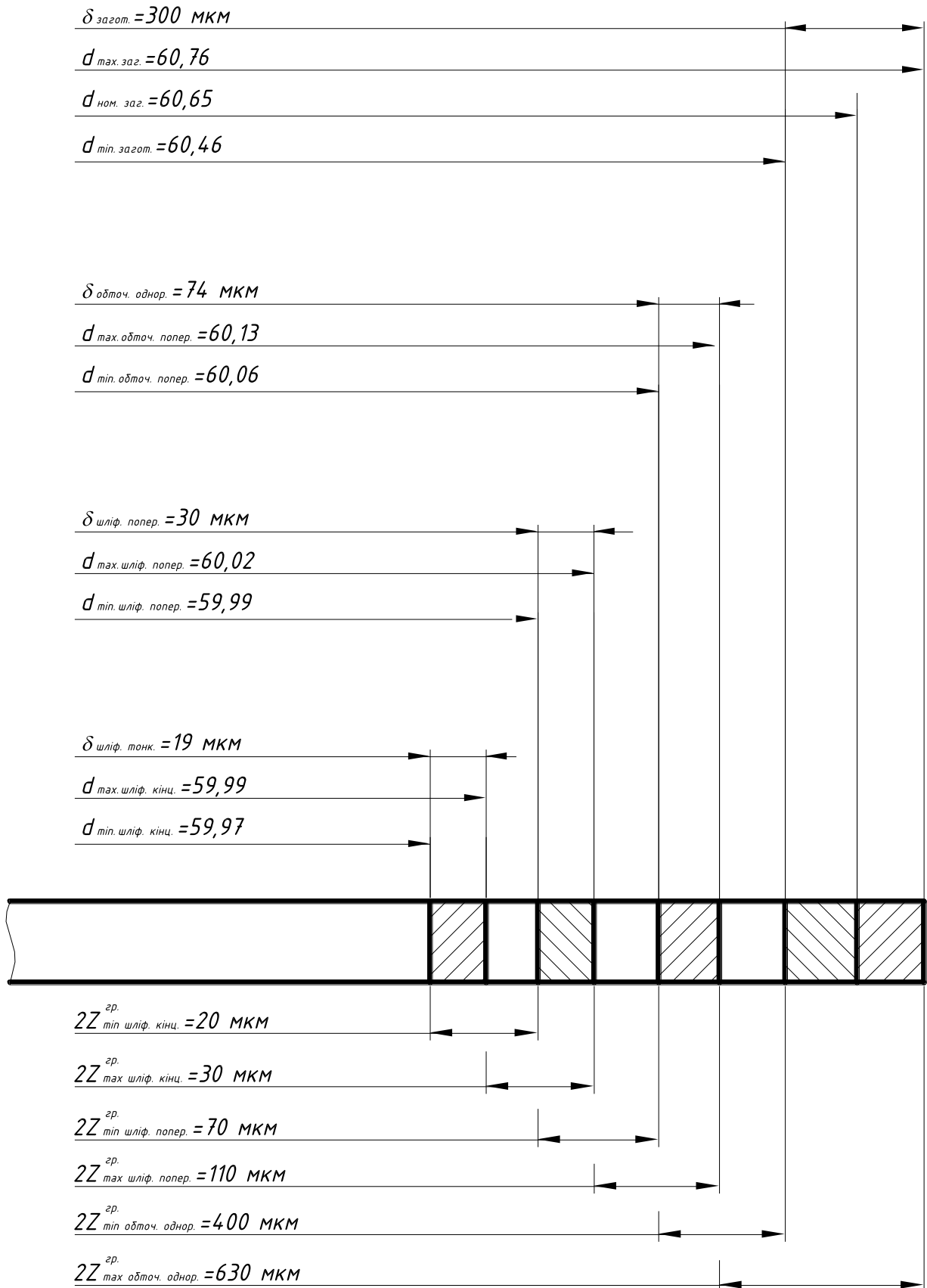


Рисунок 2.5 Схема графічного розміщення припусків

і допусків при обробці поверхні $\varnothing 60_{-0,032}^{-0,012}$

Таблиця 2.6. – Припуски і допуски для обробки поверхні (за ДСТУ 26645-95)

Поверхня	Розмір, мм	Припуск, мм	Допуск, мм
1 – 2	$345 \pm 0,7$	$2 \cdot 7$	$\pm 1,5$
2 – 9	$102 \pm 0,55$	3	$\pm 0,7$
1 – 4	$218 \pm 0,7$	3	$\pm 0,7$
3	$\varnothing 68_{-0,06}^{-0,03}$	$2 \cdot 1,1$	$\pm 0,22$
5	$\varnothing 60_{-0,032}^{-0,012}$	$2 \cdot 1,1$	$\pm 0,22$
6	$\varnothing 56_{-0,59}^{-0,34}$	$2 \cdot 0,9$	$\pm 0,2$
8	$\varnothing 75_{-0,55}^{-0,36}$	$2 \cdot 0,9$	$\pm 0,2$
29	$\varnothing 62_{-0,03}$	$2 \cdot 1,5$	$\pm 0,7$

На ті поверхні, які не вказані в таблиці 2.6, призначаємо припуск $2 \cdot 0,8$ мм (допуск $\pm 0,2$ мм).

2.6.2. Розмірний аналіз технологічного процесу.

Розмірний аналіз будемо проводити за методикою, викладеною в [7].

Накреслимо суміщений ескіз деталі та заготовки, де вкажимо розміри деталі A_i з допусками, розміри заготовки B_j , технологічні розміри S_k та розміри припусків z_n . Нумерування поверхонь будемо виконувати зліва направо. Через проміжні поверхні проведемо лінії, між якими вкажимо технологічні розміри S_k , що отримаємо після виконання кожного з переходів. Точку поставимо на лінії, яка відповідає базовій поверхні, а стрілку поставимо на лінії, що відповідає поверхні після того, як буде знятий припуск.

Схему для здійснення розмірного аналізу наведемо у графічній частині проекту.

Для визначення міжопераційних розмірних ланцюгів застосуємо метод графів. За цим методом будемо три графи: конструкторський, на якому проставляють лише конструкторські зв'язки A_i і z_n ; технологічний граф з технологічними S_k і B_i зв'язками, та суміщений граф – конструкторсько-технологічний (рис. 2.6).

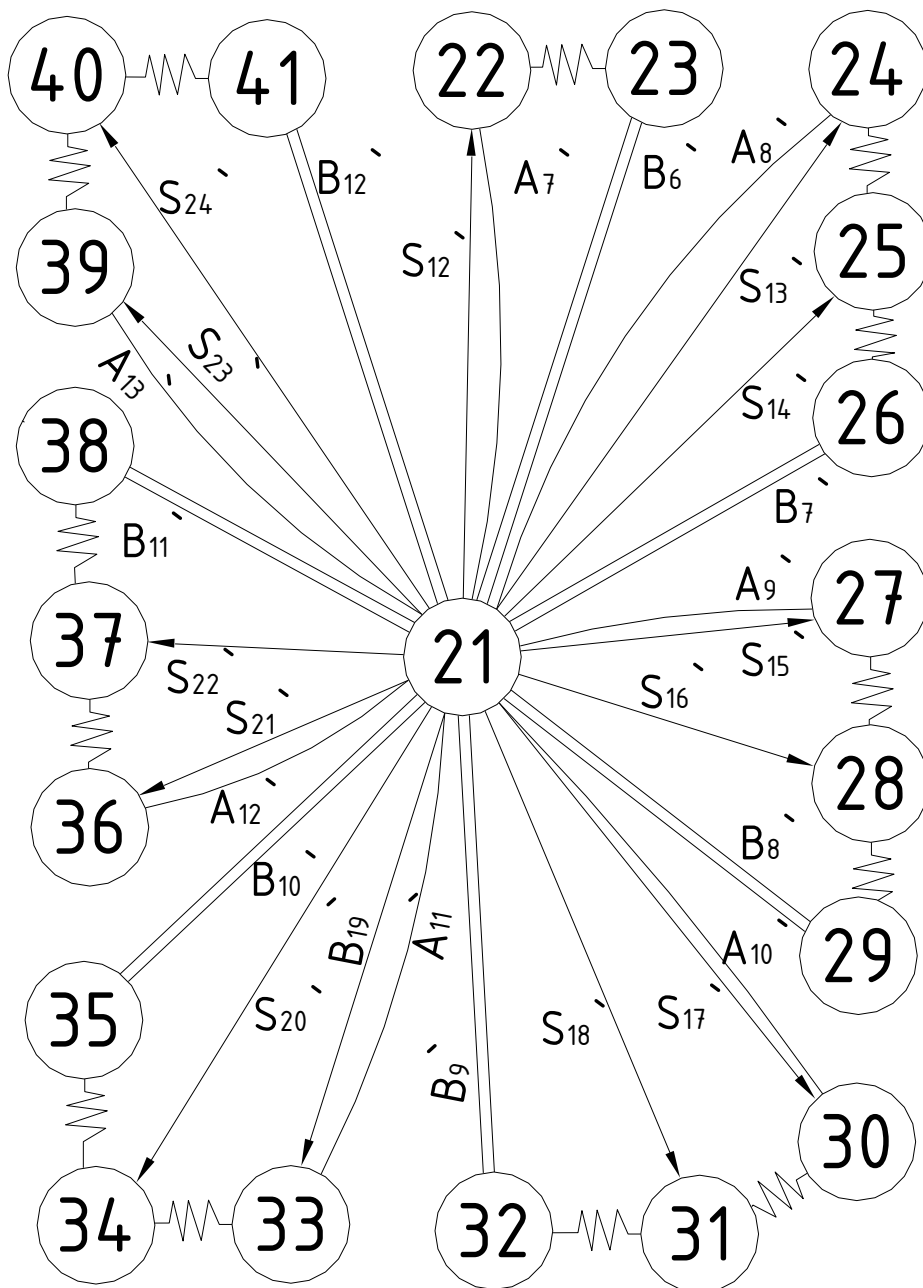


Рисунок 2.6 Конструкторсько-технологічний граф при проведенні розмірного аналізу

Наведемо вихідні дані для виконання розмірного аналізу.

$$A_1 = 345 \pm$$

$$A_2 = 166,1_{-0,1}$$

$$A_3 = 42,1_{+0,1}$$

$$A_4 = 66^{+0,5}$$

$$A_5 = 25_{-0,14}$$

$$A_6 = 44,6 \pm 0,05$$

$$A'_7 = 1/2A_7 = 15^{+0,020}_{+0,012}$$

$$A'_8 = 1/2A_8 = 28^{-0,170}_{-0,265}$$

$$A'_9 = 1/2A_9 = 29^{-0,12}_{+0,12}$$

$$A'_{10} = 1/2A_{10} = 30^{-0,006}_{-0,016}$$

$$A'_{11} = 1/2A_{11} = 34_{-0,030}^{-0,015}$$

$$A'_{12} = 1/2A_{12} = 37,5_{-0,275}^{-0,180}$$

$$A'_{13} = 1/2A_{13} = 51,2_{-0,340}^{-0,120}$$

$$A_{14} = 171,5 \pm 0,5$$

$$z_{1\min} = 7 \text{ мм}$$

$$z_{9\min} = 2 \text{ мм}$$

$$z_{17\min} = 0,8 \text{ мм}$$

$$z_{2\min} = 3 \text{ мм}$$

$$z_{10\min} = 2 \text{ мм}$$

$$z_{18\min} = 0,2 \text{ мм}$$

$$z_{3\min} = 0,5 \text{ мм}$$

$$z_{11\min} = 7 \text{ мм}$$

$$z_{19\min} = 0,8 \text{ мм}$$

$$z_{4\min} = 3 \text{ мм}$$

$$z_{12\min} = 1,2 \text{ мм}$$

$$z_{20\min} = 0,2 \text{ мм}$$

$$z_{5\min} = 0,5 \text{ мм}$$

$$z_{13\min} = 0,8 \text{ мм}$$

$$z_{21\min} = 0,8 \text{ мм}$$

$$z_{6\min} = 3 \text{ мм}$$

$$z_{14\min} = 0,2 \text{ мм}$$

$$z_{22\min} = 0,2 \text{ мм}$$

$$z_{7\min} = 0,5 \text{ мм}$$

$$z_{15\min} = 0,8 \text{ мм}$$

$$z_{23\min} = 0,8 \text{ мм}$$

$$z_{8\min} = 2 \text{ мм}$$

$$z_{16\min} = 0,2 \text{ мм}$$

$$z_{24\min} = 0,2 \text{ мм}$$

Наведемо метод розрахунку розмірного ланцюга на такому прикладі.

Рівняння для розрахунку (згідно схеми та суміщеного графу (див. графічну частину проекту):

$$-z_7 - S_4 + S_3 = 0.$$

Вихідним рівнянням (на основі розрахункового) є:

$$z_{7\min} = S_{3\min} - S_{4\max}.$$

В цьому рівнянні потрібною ланкою є S_3 . Її розмір (в даному випадку мінімальний) будемо визначати з:

$$S_{3\min} = S_{4\max} + z_{7\min} = 166,1 + 0,5 = 166,6 \text{ мм.}$$

Допуск на розмір S_3 (при попередньому шліфуванні) дорівнює 0,1 мм.

Тому призначаємо:

$$S_3 = 166,6^{+0,1}$$

Визначимо граничне значення припуску:

$$z_7 = S_3 - S_4 = 166,6^{+0,1} - 166,1_{-0,1} = 0,5^{+0,2}.$$

Усі проведені розрахунки заносимо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7. – Розмірний аналіз технологічного процесу

№ п/п	Розрахункове рівняння	Шукана ланка	Розмір, який визначається, мм			
			номінальний	допуск	технологічний	граничне значення припуску
1	$-A_1 + S_2 = 0$	S_2	$S_2 = A_1 = 345$	0,570	$S_2 = 345 \pm 0,245$	–
2	$-A_2 + S_4 = 0$	S_4	$S_4 = A_2 = 166,1$	0,100	$S_4 = 166,1_{-0,1}$	–
3	$-Z_7 - S_4 + S_3 = 0$ $z_{7\min} = S_{3\min} - S_{4\max}$	S_3	$S_{3\min} = S_{4\max} + z_{7\min} =$ $= 166,1 + 0,5 = 166,6$	0,100	$S_3 = 166,1^{+0,160}$	$z_7 = 166,6^{+0,100} - 166,1_{-0,100} =$ $= 0,5^{+0,2}$
4	$-Z_6 - S_3 + S_1 = 0$ $z_{6\min} = S_{1\min} - S_{3\max}$	S_1	$S_{1\min} = S_{3\max} + z_{6\min} =$ $= 166,7 + 3 = 169,7$	0,250	$S_1 = 170_{-0,300}^{-0,050}$	$z_6 = 170_{-0,3}^{-0,05} - 166,6^{+0,1} =$ $= 3,4_{-0,4}^{-0,05}$
5	$-Z_1 + B_2 - S_1 = 0$ $-z_{1\min} = B_{2\min} - S_{1\max}$	B_2	$B_{2\min} = S_{1\max} + z_{1\min} =$ $= 169,95 + 7 = 176,95$	0,400	$B_2 = 177_{-0,05}^{+0,35}$	$z_1 = 177_{-0,05}^{+0,35} - 170_{-0,3}^{-0,05} =$ $= 7^{+0,65}$
6	$Z_{11} - S_2 + S_1 - B_2 + B_1 = 0$ $z_{11\min} = S_{1\min} + B_{1\min} -$ $- S_{2\max} - B_{2\max}$	B_1	$B_{1\min} = S_{2\max} + B_{2\max} + z_{11\min} -$ $- S_{1\min} = 345,285 + 177,35 +$ $+ 7 - 169,7 = 359,935$	0,570	$B_1 = 360_{-0,065}^{+0,505}$	$z_{11} = 170_{-0,3}^{+0,05} + 360_{-0,065}^{+0,505} -$ $- 345_{-0,285}^{+0,285} - 177_{-0,05}^{+0,35} = 8_{-1,0}^{+0,89}$
7	$-A_3 + S_9 = 0$	S_9	$S_9 = A_3 = 42,1$	0,1	$S_9 = 42,1^{+0,1}$	–

Продовження таблиці 2.7

№ п/п	Розрахункове рівняння	Шукана ланка	Розмір, який визначається, мм			
			номінальний	допуск	технологічний	граничне значення припуску
8	$-z_8 - S_9 - S_4 + S_1 + B_{13} = 0$ $z_{8\min} = S_{1\min} + B_{13\min} - S_{9\max} - S_{4\max}$	B_{13}	$B_{13\min} = S_{9\max} + S_{4\max} + z_{8\min} - S_{1\min} = 42,2 + 166,1 + 2 - 169,95 = 40,35$	0,25	$B_{13} = 40,5^{+0,10}_{-0,15}$	$z_8 = 170^{+0,05}_{-0,3} + 40,5^{+0,10}_{-0,15} - 42,1^{+0,1} - 166,1_{-0,1} = 2,3^{+0,15}_{-0,3}$
9	$-A_4 + S_{11} = 0$	S_{11}	$S_{11} = A_4 = 66$	0,5	$S_{11} = 66^{+0,5}$	—
10	$-A_{14} + S_{10} = 0$	S_{10}	$S_{10} = A_{14} = 171,5$	1,0	$S_{10} = 171,5 \pm 0,5$	—
11	$-z_9 + S_{11} - S_{10} - S_4 + S_1 + B_4 = 0$ $z_{9\min} = S_{11\min} + S_{1\min} + B_{4\min} - S_{10\max} - S_{4\max}$	B_4	$B_{4\min} = S_{10\max} + S_{4\max} + z_{9\min} - S_{11\min} - S_{1\min} = 172 + 166,1 + 2 - 66 - 166,7 = 107,4$	0,35	$B_4 = 108^{+0,25}_{-0,6}$	$z_9 = 66^{+0,5} + 170^{+0,05}_{-0,3} + 108^{+0,25}_{-0,6} - 171,5^{+0,5}_{-0,5} - 166,1^{+0,1} = 3,4^{+0,9}_{-1,4}$
12	$-z_{10} - S_{10} - S_4 + S_1 + B_3 = 0$ $z_{10\min} = S_{1\min} + B_{3\min} - S_{10\max} - S_{4\max}$	B_3	$B_{3\min} = S_{10\max} + S_{4\max} + z_{10\min} - S_{1\min} = 172 + 166,1 + 2 - 166,7 = 171,4$	0,4	$B_3 = 174^{+0,2}_{-0,6}$	$z_{10} = 170^{+0,05}_{-0,3} + 174^{+0,2}_{-0,6} - 171,3^{+0,5}_{-0,5} - 166,1_{-0,1} = 34^{+0,25}_{-1,4}$
13	$-A_6 + S_6 = 0$	S_6	$S_6 = A_6 = 44,6$	0,1	$S_6 = 44,6 \pm 0,05$	—
14	$-z_4 + S_6 - S_5 = 0$ $z_{4\min} = S_{6\min} - S_{5\max}$	S_5	$S_{5\max} = S_{6\min} - z_{4\min} = 44,55 + 3 = 47,55$	0,062	$S_5 = 47,5^{+0,05}_{-0,012}$	$z_4 = 47,5^{+0,05}_{-0,012} - 44,6^{+0,05}_{-0,05} = 2,9^{+0,62}_{+0,1}$

Продовження таблиці 2.7

№ П/П	Розрахункове рівняння	Шукана ланка	Розмір, який визначається, мм			
			номінальний	допуск	технологічний	граничне значення припуску
15	$-A_5 + S_8 = 0$	S_8	$S_8 - A_5 = 25$	0,14	$S_8 = {}_{-0,14}$	—
16	$-z_3 + S_7 - S_8 = 0$ $z_{3\min} = S_{7\min} - S_{8\max}$	S_7	$S_{7\min} = S_{8\max} - z_{3\min} =$ $= 25 + 0,5 = 25,5$	0,033	$S_7 = 25,5^{+0,013}$	$z_3 = 25,5^{+0,033} - 25_{-0,14} =$ $= 0,5^{+0,173}$
17	$-z_5 + S_5 - S_4 + S_1 - B_{14} = 0$ $z_{5\min} = S_{5\min} + S_{1\min} - S_{4\max} -$ $- B_{14\max}$	B_{14}	$B_{14\max} = S_{1\min} + S_{5\min} - z_{5\min} -$ $- S_{4\max} = 169,7 + 47,488 -$ $- 0,5 - 166,1 = 50,588$	0,25	$B_{14} = 50,5^{+0,088}_{-0,162}$	$z_5 = 47,5^{+0,05}_{-0,012} + 170^{+0,05}_{-0,3} -$ $- 166_{-0,1} - 50,5^{+0,088}_{-0,162} = 0,9^{+0,262}_{-0,4}$
18	$-z_2 + B_5 + B_{14} - S_1 + S_4 - S_6 -$ $- S_7 = 0$ $z_{2\min} = B_{5\min} + B_{14\min} + S_{4\min} -$ $- S_{1\max} - S_{6\max} - S_{7\max}$	B_5	$B_{5\min} = S_{1\max} + S_{6\max} + S_{7\max} +$ $+ z_{2\min} - B_{14\min} - S_{4\min} =$ $= 169,95 + 44,65 + 25,533 +$ $+ 3 - 50,338 - 166 = 26,795$	0,21	$B_5 = 27^{+0,005}_{-0,205}$	$z_2 = 27^{+0,005}_{-0,205} + 50,5^{+0,088}_{-0,162} +$ $+ 166,1_{-0,1} - 170^{+0,05}_{-0,3} -$ $- 44,6^{+0,05}_{-0,05} - 25,5^{+0,033} = 3,5^{+0,443}_{-0,5}$
19	$-A_7 + S_{12} = 0$	S_{12}	$S_{12} = A_7 = 15$	0,008	$S_{12} = 15^{+0,020}_{+0,012}$	—
20	$-z_{12} - S_{12} + B_6 = 0$ $z_{12\min} = B_{6\min} - S_{12\max}$	B_6	$B_{6\min} = S_{12\max} + z_{12\min} =$ $= 15,02 + 1,2 = 16,22$	0,125	$B_6 = 16,25^{+0,095}_{-0,03}$	$z_{12} = 16,25^{+0,095}_{-0,03} - 15^{+0,02}_{-0,012} =$ $= 1,25^{+0,107}_{-0,05}$
21	$-A_8 + S_{13} = 0$	S_{13}	$S_{13} = A_8 = 28$	0,095	$S_{13} = 28^{+0,17}_{-0,265}$	—
22	$-z_{14} - S_{13} + S_{14} = 0$ $z_{14\min} = S_{14\min} - S_{13\max}$	S_{14}	$S_{14\min} = S_{13\max} + z_{14\min} =$ $27,83 + 0,2 = 28,03$	0,15	$S_{14} = 28,1^{+0,08}_{-0,07}$	$z_{14} = 28,1^{+0,08}_{-0,07} - 28^{+0,17}_{-0,265} =$ $= 0,1^{+0,345}_{+0,100}$

Продовження таблиці 2.7

№ п/п	Розрахункове рівняння	Шукана ланка	Розмір, який визначається, мм			
			номінальний	допуск	Технологічний	граничне значення припуску
23	$-z_{13} - S_{14} + B_7 = 0$ $z_{13\min} = B_{7\min} - S_{14\max}$	B_7	$B_{7\min} = S_{14\max} + z_{13\min} =$ $= 28,18 + 0,8 = 28,98$	0,23	$B_7 = 29^{+0,21}_{-0,02}$	$z_{13} = 29^{+0,21}_{-0,02} - 28,1^{+0,08}_{-0,07} =$ $= 0,9^{+0,28}_{-0,10}$
24	$-A_9 + S_{15} = 0$	S_{15}	$S_{15} = A_9 = 29$	0,24	$S_{15} = 29 \pm 0,12$	—
25	$-z_{16} - S_5 + S_{16} = 0$ $z_{16\min} = S_{16\min} - S_{15\max}$	S_{16}	$S_{16\min} = S_{15\max} + z_{16\min} =$ $= 29,12 + 0,2 = 29,32$	0,37	$S_{16} = 29,5^{+0,19}_{-0,8}$	$z_{16} = 29,5^{+0,19}_{-0,18} - 29^{+0,12}_{-0,12} =$ $= 0,5^{+0,31}_{-0,20}$
26	$-z_{15} - S_{16} + B_8 = 0$ $z_{15\min} = B_{8\min} - S_{16\max}$	B_8	$B_{8\min} = S_{16\max} + z_{15\min} =$ $= 29,69 + 0,8 = 30,49$	0,6	$B_8 = 31^{+0,09}_{-0,51}$	$z_{15} = 31^{+0,09}_{-0,51} - 29,5^{+0,19}_{-0,18} =$ $= 1,5^{+0,27}_{-0,70}$
27	$-A_{10} + S_{17} = 0$	S_{17}	$S_{17} = A_{10} = 30$	0,01	$S_{17} = 30^{+0,006}_{-0,016}$	—
28	$-z_{18} - S_{17} + S_{18} = 0$ $z_{18\min} = S_{18\min} - S_{17\max}$	S_{18}	$S_{18\min} = S_{17\max} + z_{18\min} =$ $= 29,994 + 0,2 = 30,194$	0,037	$S_{18} = 30,25^{+0,09}_{-0,056}$	$z_{18} = 30,25^{+0,09}_{-0,056} - 30^{+0,006}_{-0,016} =$ $= 0,25^{+0,003}_{-0,05}$
29	$-z_{17} - S_{18} + B_9 = 0$ $z_{18\min} = S_{18\min} - S_{17\max}$	B_9	$B_{9\min} = S_{18\max} + z_{17\min} =$ $= 30,231 + 0,8 = 31,031$	0,15	$B_9 = 31^{+0,181}_{+0,031}$	$z_{17} = 31^{+0,181}_{+0,031} - 30,25^{+0,019}_{-0,056} =$ $= 0,75^{+0,237}_{+0,05}$
30	$-A_{11} + S_{19} = 0$	S_{19}	$S_{19} = A_{11} = 34$	0,015	$S_{19} = 34^{+0,015}_{-0,030}$	—
31	$-z_{20} - z_{19} + S_{20} = 0$ $z_{20\min} = S_{20\min} - S_{19\max}$	S_{20}	$S_{20\min} = S_{19\max} + z_{20\min} =$ $= 33,985 + 0,2 = 34,185$	0,037	$S_{20} = 34,25^{+0,028}_{-0,065}$	$z_{20} = 34,25^{+0,028}_{-0,065} - 34^{+0,015}_{-0,030} =$ $= 0,25^{+0,002}_{-0,050}$

Продовження таблиці 2.7

№ п/п	Розрахункове рівняння	Шукана ланка	Розмір, який визначається, мм			
			номінальний	допуск	технологічний	граничне значення припуску
32	$-z_{19} - S_{20} + B_{10} = 0$ $z_{19\min} = B_{10\min} - S_{20\max}$	B_{10}	$B_{10\min} = S_{20\max} + z_{19\min} =$ $= 34,222 + 0,8 = 35,022$	0,15	$B_{10} = 35_{+0,022}^{+0,172}$	$z_{19} = 35_{+0,022}^{+0,172} - 34,25_{-0,065}^{-0,028} =$ $= 0,75_{+0,05}^{+0,297}$
33	$-A_{12} + S_{21} = 0$	S_{21}	$S_{21} = A_{12} = 37,5$	0,095	$S_{21} = 37,5_{-0,275}^{-0,18}$	—
34	$-z_{22} - S_{21} + S_{22} = 0$ $z_{22\min} = S_{22\min} - S_{21\max}$	S_{22}	$S_{22\min} = S_{21\max} + z_{22\min} =$ $= 37,22 + 0,2 = 37,52$	0,15	$S_{22} = 38_{-0,68}^{-0,53}$	$z_{22} = 38_{-0,68}^{-0,53} - 37,5_{-0,275}^{-0,8} =$ $= 0,5_{-0,30}^{-0,255}$
35	$-z_{21} - S_{22} + B_{11} = 0$ $z_{21\min} = B_{11\min} - S_{22\max}$	B_{11}	$B_{11\min} = S_{22\max} + z_{21\min} =$ $= 37,47 + 0,8 = 38,27$	0,23	$B_{11} = 38,5_{-0,23}$	$z_{21} = 38,5_{-0,23} - 38_{-0,68}^{-0,53} =$ $= 0,5_{+0,3}^{+0,68}$
36	$-A_{13} + S_{23} = 0$	S_{23}	$S_{23} = A_{13} = 51,2$	0,22	$S_{23} = 51,2_{-0,340}^{-0,20}$	—
37	$-z_{24} - S_{23} + S_{24} = 0$ $z_{24\min} = S_{24\min} - S_{23\max}$	S_{24}	$S_{24\min} = S_{23\max} + z_{24\min} =$ $= 51,08 + 0,2 = 51,28$	0,27	$S_{24} = 51,5_{-0,22}^{+0,05}$	$z_{24} = 51,5_{-0,22}^{+0,05} - 51,2_{-0,34}^{-0,12} =$ $= 0,5_{-0,3}^{+0,39}$
38	$-z_{23} - S_{24} + B_{12} = 0$ $z_{23\min} = B_{12\min} - S_{24\max}$	B_{12}	$B_{12\min} = S_{24\max} - z_{23\min} =$ $= 51,55 + 0,8 = 52,35$	0,435	$B_{12} = 52,5_{-0,15}^{+0,285}$	$z_{23} = 52,5_{-0,15}^{+0,285} - 51,5_{-0,22}^{+0,05} =$ $= 1,0_{-0,2}^{+0,505}$

В результаті проведення розмірного аналізу отримали такі розміри:

$$S_1 = 170_{-0,300}^{-0,050}$$

$$S_{13} = 2S_{13}^{\wedge} = 56_{-0,530}^{-0,340}$$

$$S_2 = 345 \pm 0,285$$

$$S_{14} = 2S_{14}^{\wedge} = 56,2_{-0,140}^{+0,160}$$

$$S_3 = 166,6^{+0,100}$$

$$S_{15} = 2S_{15}^{\wedge} = 58 \pm 0,24$$

$$S_4 = 166,1_{-0,100}$$

$$S_{16} = 2S_{16}^{\wedge} = 59_{-0,160}^{+0,380}$$

$$S_5 = 47,5_{-0,012}^{+0,050}$$

$$S_{17} = 2S_{17}^{\wedge} = 60_{-0,032}^{-0,012}$$

$$S_6 = 44,6 \pm 0,05$$

$$S_{18} = 2S_{18}^{\wedge} = 60,5_{-0,112}^{-0,038}$$

$$S_7 = 25,5^{+0,033}$$

$$S_{19} = 2S_{19}^{\wedge} = 68_{-0,060}^{-0,030}$$

$$S_8 = 25_{-0,140}$$

$$S_{20} = 2S_{20}^{\wedge} = 68,5_{-0,130}^{-0,056}$$

$$S_9 = 42,1^{+0,100}$$

$$S_{21} = 2S_{21}^{\wedge} = 75_{-0,550}^{-0,360}$$

$$S_{10} = 171,5_{-0,500}^{+0,500}$$

$$S_{22} = 2S_{22}^{\wedge} = 76_{-1,360}^{-1,060}$$

$$S_{11} = 66^{+0,500}$$

$$S_{23} = 2S_{23}^{\wedge} = 102,4_{-0,680}^{-0,240}$$

$$S_{12} = 2S_{12}^{\wedge} = 30_{+0,024}^{+0,040}$$

$$S_{24} = 2S_{24}^{\wedge} = 103_{-0,440}^{+0,100}$$

$$B_1 = 360_{-0,065}^{+0,505}$$

$$B_8 = 2B_8^{\wedge} = 62_{-0,020}^{+0,180}$$

$$B_2 = 177_{-0,05}^{+0,35}$$

$$B_9 = 2B_9^{\wedge} = 62_{+0,062}^{+0,362}$$

$$B_3 = 174_{-0,600}^{-0,200}$$

$$B_{10} = 2B_{10}^{\wedge} = 70_{-0,044}^{+0,344}$$

$$B_4 = 108_{-0,600}^{-0,250}$$

$$B_{11} = 2B_{11}^{\wedge} = 77_{-0,460}$$

$$B_5 = 27_{-0,205}^{+0,005}$$

$$B_{12} = 2B_{12}^{\wedge} = 105_{-0,300}^{+0,570}$$

$$B_6 = 2B_6^{\wedge} = 32,5_{-0,060}^{+0,190}$$

$$B_{13} = 40,5_{-0,150}^{+0,100}$$

$$B_7 = 2B_7^{\wedge} = 58_{-0,040}^{+0,420}$$

$$B_{14} = 50,5_{-0,162}^{+0,088}$$

$$z_1 = 7^{+0,65}$$

$$z_{13} = 0,9_{-0,100}^{+0,280}$$

$$z_2 = 3,5_{-0,500}^{+0,443}$$

$$z_{14} = 0,1_{-0,100}^{+0,345}$$

$$z_3 = 0,5^{+0,173}$$

$$z_{15} = 1,5_{-0,700}^{+0,270}$$

$$z_4 = 2,9_{-0,100}^{+0,620}$$

$$z_{16} = 0,5_{-0,200}^{+0,310}$$

$$\begin{array}{ll}
 z_5 = 0,9^{+0,262}_{-0,400} & z_{17} = 0,75^{+0,237}_{+0,050} \\
 z_6 = 3,4^{-0,050}_{-0,400} & z_{18} = 0,25^{-0,003}_{-0,050} \\
 z_7 = 0,5^{+0,200} & z_{19} = 0,75^{+0,237}_{+0,050} \\
 z_8 = 2,3^{+0,150}_{-0,300} & z_{20} = 0,25^{+0,002}_{-0,050} \\
 z_9 = 3,4^{+0,900}_{-1,400} & z_{21} = 0,5^{+0,680}_{+0,300} \\
 z_{10} = 3,4^{+0,250}_{-1,400} & z_{22} = 0,5^{-0,255}_{-0,300} \\
 z_{11} = 8^{+0,890}_{-1,000} & z_{23} = 1,0^{+0,505}_{-0,200} \\
 z_{12} = 1,25^{+0,107}_{-0,050} & z_{24} = 0,5^{+0,390}_{-0,300}
 \end{array}$$

2.6.3. Розрахунок режимів різання, вибір обладнання і оснащення.

Визначення режимів різання і вибір обладнання аналітичним способом наведемо на прикладі операції 010 – Токарно-багаторіздева (точіння пов. 3).

Операція 010 – Токарно-багаторіздева.

Поздовжній супорт. Точимо поверхню 3.

1. Характер обробки – чорнова обробка.
2. Інструмент – різець токарний упорний прохідний ДСТУ 18879-93, що містить пластину з твердого сплаву Т15К6 ДСТУ 25426-92. Геометричні параметри різця: $\varphi=90$, $\gamma=0$, $r=1,0$ мм.
3. Максимальна величина обробки: $B = 45$ мм.
4. Максимальна глибина різання складає: $t = 1,2$ мм.
5. Подача складає: $S = 0,4$ мм, згідно з табл. 11, ст. 266 [8].
6. Середнє значення стійкості різця складає: $T = 60$ хв.
7. Визначимо швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v$$

де: C_v, m, x, y – коефіцієнти, що залежать від певних умов роботи.

K_v – узагальнений коефіцієнт, що враховує якість оброблювального матеріалу (коефіцієнт K_{mv}) та інструментальний матеріал (K_{uv}):

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

Згідно з таблицями 2, 5, 6, ст. 261-262 [7], приймаємо:

$$K_{mv} = \left(\frac{750}{\delta B} \right)^{nv} = 1,0 \left(\frac{750}{980} \right)^{1,0} = 0,76$$

Згідно з таблицями 5, 6, ст. 263 [7], $K_{nv} = 1,0$; $K_{uv} = 1,4$

$$K_v = 0,76 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,61.$$

$$V = \frac{350}{60^{0,20} \cdot 1,1^{0,15} \cdot 0,4^{0,35}} \cdot 0,61 = 127,9 \text{ м/хв.}$$

8. Визначимо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 127,9}{3,14 \cdot 68} = 599,01 \text{ хв}^{-1}$$

9. Визначимо силу різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot S^n \cdot K_p$$

За таблицями 1, 2 ст. 261-262, таблицею 41, ст. 291 [7], приймаємо $C_p = 300$; $x = 1,0$; $y = 0,75$; $n = -0,15$.

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,1^{1,0} \cdot 0,4^{0,75} \cdot 127,9^{-0,15} \cdot 1,01 = 809,7 \text{ Н.}$$

10. Ефективна потужність різання визначається за:

$$N_{ef} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}$$

11. Визначимо дійсну потужність різання:

$$N_o = \frac{N_{ef}}{ККД}$$

$$N_o = \frac{1,69}{0,85} = 1,99 \text{ кВт.}$$

Таким же чином розраховуємо режими різання при точінні інших поверхонь на цій операції (пов. 7, 6, 5, канавок 12, 20, 21).

Оптимальним є вибір токарно-багаторіздевого напівавтомату мод. 1A730 з потужністю головного приводу 13 кВт.

Треба уточнити режими різання за з паспортними характеристиками вибраного верстата.

Вибираємо $n = 630 \text{ хв}^{-1}$.

Швидкість різання складає: $V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 68 \cdot 630}{1000} = 134,59 \text{ м/хв}$.

Подача дорівнює: $S_{xв} = 0,385 \text{ мм/об}$.

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,1^{1,0} \cdot 0,385^{0,75} \cdot 134,59^{-0,15} \cdot 1,01 = 812,55 \text{ (Н)}.$$

$$N_{ef} = \frac{812,55 \cdot 134,59}{1020 \cdot 60} = 1,79 \text{ кВт}.$$

$$N_o = \frac{1,79}{0,85} = 2,10 \text{ кВт}.$$

Для усіх інших операцій режими різання заносимо в табл. 2.8.

2.6.4. Нормування технологічного процесу, уточнення типу виробництва.

Для великосерійного виробництва визначають штучну норму часу $T_{шт}$:

$$T_{шт} = T_{осн} + T_{доп} + T_{об} + T_{в},$$

де: $T_{осн}$ – основний час;

$T_{доп}$ – допоміжний час;

$T_{об}$ – час для обслуговування робочого місця;

$T_{в}$ – час для відпочинку і природних потреб.

$$T_{доп} = T_{в.з} + T_{з.в.} + T_{к} + T_{вим},$$

де: $T_{в.з}$ – час для встановлення заготовки і зняття обробленої деталі;

$T_{з.в.}$ – час для закріплення заготовки та відкріплення вже обробленої деталі;

$T_{к}$ – час для керування верстатом;

$T_{вим}$ – час для вимірювання.

Таблиця 2.8. – Вибір режимів різання за табличним методом

№ операції	Назва і зміст операції	Розрахункові значення					Верстат	Прийняті значення		
		t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, хв. ⁻¹	N, кВт		S, мм/об	V, м/хв	n, хв. ⁻¹
005	Фрезерно-центрувальна. 1. Фрезерувати торці 1, 2 одночасно.	2,7	420 мм/хв	112	512,1	2,76	2А931 4,4 кВт	415	108,4	500
	2. Центрувати торці 1, 2 одночасно	1,5	0,21	20,4	612,5	1,12		0,213	21,1	630
010	Токарно-багаторіздева. Поздовжній супорт. Точити пов. 7, 6, 5, 3, канавки 12,20,21 одночасно.	1,8 max	0,18	98,4	512	5,98	1А730 13,0 кВт	0,187	93,0	500
	Поперечний супорт. Точити канавки 23.	4 max	0,18	96,5	508	2,57		0,187	95,8	500
015	Токарно-багаторіздева. Поздовжній супорт. Точити канавки 23.	3,2	0,18	98,4	495	3,12	1А730 13,0 кВт	0,187	98,6	500
	Поперечний супорт. Точити фаски 11, 13, торець 21.	2,5	0,18	94,5	487	2,59		0,187	95,7	500
020	Токарно-багаторіздева. Поздовжній супорт. Точити пов. 8, 8', 10.	1,8 max	0,18	97,4	463	3,42	1А730 13,0 кВт	0,187	101,4	500
	Поперечний супорт. Точити канавки 26, 24, 25.	3,0	0,18	94,5	485	3,57		0,187	98,4	500
025	Токарно-напівавтоматна. Поздовжній супорт. Нарізати різь 7.	1,2	1,0	79,4	319	2,08	1Г310 6,0 кВт	1,0	79,5	315
	Поперечний супорт. Точити фаски 11, 13, 14, торець 21.	2 max	0,18	90,4	415,4	3,52		0,187	88,4	400
030	Вертикально-свердлильна. 1. Свердлити отв. 28	5	0,28	16	424,4	2,0	2Н135Б 4,0 кВт	0,285	15,07	400
	2. Зенкерувати отв. 44	3	0,35	19,4	502,5	1,9		0,325	19,3	500
	3. Розвернути отв. 44 попередньо.	0,3	0,12	7,9	214,3	1,1		0,121	7,5	200
	4. Розвернути отв. 44 кінцево.	0,1	0,03	9,0	263,5	0,8		0,032	8,3	250
	5. Зенкувати фаску 33.	1,2	0,28	17,1	451,7	1,6		0,285	18,3	500

Продовження таблиці 2.8

№ операції	Назва і зміст операції	Розрахункові значення					Верстат	Прийняті значення		
		t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, хв. ⁻¹	N, кВт		S, мм/об	V, м/хв	n, хв. ⁻¹
035	Горизонтально-розточувальна. 1. Розточити отв. 29 попередньо.	1,2	0,21	87,9	512,9	3,1	2614 5,2 кВт	0,212	86,3	500
	2. Розточити отв. 30.	1,2	0,21	88,4	508,3	2,8		0,212	87,4	500
	3. Розточити канавку 31.	1,4	0,21	89,1	515,1	2,1		0,212	88,3	500
	4. Розточити фаску 32.	1,2	0,21	87,9	512,9	1,9		0,212	86,3	500
040	Вертикально-свердлильна. 1. Свердлити 2 отв. 39.	2,5	0,18	12,4	618,4	1,1	2Н125Л 1,5 кВт	0,183	13,5	630
	2. Зенкувати 4 фаски 42.	1,2	0,18	12,4	618,4	0,9		0,183	13,5	630
045	Вертикально-свердлильна. 1. Свердлити отв. 37, 38, 40 одночасно.	2,5	0,18	12,4	618,4	3,3	2Н135Б 4,0 кВт	0,183	13,5	630
	2. Свердлити 2 отв. 43 одночасно.	0,75	0,15	14,5		1,0		0,156	13,1	800
	3. Свердлити отв. 41.	1,65	0,17	13,4	915,4	0,8		0,183	15,4	1000
050	Шліцефрезерна. Фрезерувати вінець 35.	4,7	420	81,5	214	8,9	5350А 13,0 кВт	415	85,4	250
055	Шліцефрезерна. Фрезерувати вінець 34.	4,9	420	83,6	239	9,1	5350А 13,0 кВт	415	84,9	250
060	Шліцефрезерна. Фрезерувати вінець 36.	4,8	420	83,6	228	9,0	5350А 13,0 кВт	415	84,2	250
065	Центрошліфувальна. Шліфувати фаску центрального отвору в торці 1.	0,05	1,4 мм\хв	23	152,5	1,0	3922Е 1,7 кВт	1,4 мм\хв	22,1	150
070	Центрошліфувальна Шліфувати фаску центрального отвору в торці 1.	0,05	1,4 мм\хв	23	152,5	1,1	3922Е 1,7 кВт	1,4 мм\хв	21,4	150

Продовження таблиці 2.8

№ операції	Назва і зміст операції	Розрахункові значення					Верстат	Прийняті значення		
		t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, хв. ⁻¹	N, кВт		S, мм/об	V, м/хв	n, хв. ⁻¹
075	Алмазно-розточувальна. Розточити отв. 29.	0,05	0,10	107,1	687,3	1,9	2706 2,8 кВт	0,105	100,4	650
080	Круглошліфувальна. Шліфувати пов. 5, пов. 3 з торцем 4 врізанням попередньо.	0,08	1,2 мм/хв	29	159,4	5,46	3М152 10,0 кВт	1,25 мм/хв	29,1	160
085	Круглошліфувальна. Шліфувати пов. 5, пов. 3 з торцем 4 врізанням кінцево.	0,03	1,0 мм/хв	35	216,4	3,01	3М152 10,0 кВт	0,198 мм/хв	33,4	200
090	Круглошліфувальна. Шліфувати пов. 8' і торець 9 врізанням попередньо.	0,08	1,2 мм/хв	29	161,4	5,59	3М152 10,0 кВт	1,25 мм/хв	28,9	160
095	Круглошліфувальна. Шліфувати пов. 8' і торець 9 врізанням кінцево.	0,03	1,0 мм/хв	35	218,4	3,05	3М152 10,0 кВт	0,198 мм/хв	34,0	200
100	Шліцешліфувальна. Шліфувати вінець 35.	0,09	–	45	115	4,3	3В451В-2 7,5 кВт	–	44,7	112
105	Шліцешліфувальна. Шліфувати вінець 34.	0,09	–	45	118	4,5	3В451В-2 7,5 кВт	–	44,9	112
110	Шліцешліфувальна. Шліфувати вінець 36.	0,09	–	45	117	4,4	3В451В-2 7,5 кВт	–	44,8	112

Сумарний час для обслуговування робочого місця та для відпочинку і природних потреб, згідно додатку 5 [7], приймаємо рівним 9% від T_{on} .

$$T_{об} + T_{е} = 0,09T_{on},$$

де операційний час дорівнює: $T_{on} = T_{осн} + T_{доп}$.

Покажемо на прикладі операції 010 нормування технологічного процесу.

Операція 010 – токарно-багаторіздева. Поздовжній супорт. Точити пов. 3.

Визначимо основний час обробки, за табл. 1. ст. 610 [8]:

$$T_{осн} = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{45 \cdot 1}{0,385 \cdot 630} = 0,19 \text{ (хв.)}.$$

Визначимо допоміжний час $T_{доп}$:

$$T_{доп} = T_{в.з} + T_{з.в.} + T_{к} + T_{вим} = 1,08 \text{ (хв.)},$$

де: $T_{в.з} = 0,52$ хв.; $T_{з.в.} = 0,10$ хв.; $T_{к} = 0,34$ хв.; $T_{вим} = 0,12$ хв.

Визначимо оперативний час:

$$T_{on} = T_{осн} + T_{доп} = 0,19 + 1,08 = 1,27 \text{ (хв.)}.$$

Час для обслуговування робочого місця та час для відпочинку і природних потреб:

$$T_{об} + T_{е} = 0,09 + 1,27 = 0,11 \text{ (хв.)}.$$

Відповідно штучний час:

$$T_{шт} = 1,27 + 0,11 = 1,38 \text{ (хв.)}.$$

Усі інші операції, згідно методики, розраховуємо аналогічно. Результати розрахунків поміщаємо в табл. 2.9.

Згідно розрахункових технічних норм часу потрібно провести уточнення типу і організаційної форми виробництва за основі методики, що приведена в параграфі 2.1. Результати розрахунків заносимо у таблицю 2.10.

Таблиця 2.9. – Норми часу для виконання технологічних операцій

№ оп.	Назва операції	Зміст переходів	$T_{осн}$, хв.	$T_{дон}$, хв.	$T_{об} + T_e$, хв.	$T_{шт}$, хв.
005	Фрезерно-центрувальна	1. Фрезерувати торці 1, 2 одночасно. 2. Центрувати торці 1, 2 одночасно.	0,89	1,27	0,19	2,45
010	Токарно-багаторізева	Поздовжній супорт. Точити пов. 7, 6, 5, 3, канавки 23 одночасно. Поперечний супорт. Точити канавки 12, 20, 21.	2,91	1,27	0,38	4,56
015	Токарно-багаторізева	Поздовжній супорт. Точити канавки 23. Поперечний супорт. Точити фаски 11, 13, торець 21.	1,72	1,12	0,26	3,10
020	Токарно-багаторізева	Поздовжній супорт. Точити пов. 8, 8', 10. Поперечний супорт. Точити канавки 26, 24, 25.	2,12	1,12	0,29	3,53
025	Токарно-напівавтоматна	Поздовжній супорт. Нарізати різь 7. Поперечний супорт. Точити фаски 11, 13, 14, торець 21.	0,89	1,36	0,20	2,45
030	Вертикально-свердлильна	1. Свердлити отв. 28. 2. Зенкувати отв. 44. 3. Розвернути отв. 44 попередньо. 4. Розвернути отв. 44 кінцево. 5. Зенкувати фаску 33.	5,95	1,56	0,68	8,19
035	Горизонтально-розточувальна	1. Розточити отв. 29 попередньо. 2. Розточити отв. 30. 3. Розточити канавку 31. 4. Розточити фаску 32.	2,25	1,27	0,32	3,84
040	Вертикально-свердлильна	1. Свердлити 2 отв. 39. Зенкувати 4 фаски 42.	0,69	2,54	0,29	3,52
045	Вертикально-свердлильна	1. Свердлити отв. 37, 38, 40 одночасно. 2. Свердлити 2 отв. 43 одночасно. 3. Свердлити отв. 41.	0,93	1,96	0,26	3,15
050	Шліцефрезерна	Фрезерувати вінець 35.	8,42	1,27	0,87	10,56
055	Шліцефрезерна	Фрезерувати вінець 34.	4,12	1,27	0,49	5,88
060	Шліцефрезерна	Фрезерувати вінець 36.	7,01	1,27	0,75	9,03
065	Центрошліфувальна	Шліфувати фаску 33.	0,70	1,05	0,16	1,91
070	Центрошліфувальна	Шліфувати фаску центрального отвору в торці 1.	0,65	1,05	0,15	1,85
075	Алмазно-розточувальна	Розточити отв. 29.	1,18	1,27	0,22	2,67

Продовження таблиці 2.9

№ оп.	Назва операції	Зміст переходів	$T_{осн}$, хв.	$T_{дон}$, хв.	$T_{об} + T_e$, хв.	$T_{ит}$, хв.
080	Круглошліфувальна	Шліфувати пов. 5, пов. 3 з торцем 4 врізанням попередньо.	2,64	1,27	0,35	4,26
085	Круглошліфувальна	Шліфувати пов. 5, пов. 3 з торцем 4 врізанням кінцево.	2,09	1,29	0,30	3,68
090	Круглошліфувальна	Шліфувати пов. 8' і торець 9 врізанням попередньо.	3,57	1,27	0,44	5,28
095	Круглошліфувальна	Шліфувати пов. 8' і торець 9 врізанням кінцево.	3,01	1,29	0,39	4,69
100	Шліцешліфувальна	Шліфувати вінець 35.	2,58	1,37	0,36	4,31
105	Шліцешліфувальна	Шліфувати вінець 34.	3,29	1,37	0,42	5,08
110	Шліцешліфувальна	Шліфувати вінець 36.	4,15	1,37	0,50	6,02
	Всього по технологічному процесі		61,84	29,88	8,25	99,97

Таблиця 2.10. – Уточнене визначення типу виробництва за механічної обробки деталі
«вал вторинний коробки передач 21.1701105»

Операція	$T_{шт},$ хв.	$P_{розр}$	$P_{пр}$	$\eta_{з.факт}$	O
1	2	3	4	5	6
Фрезерно-центрувальна.	2,45	0,19	1	0,19	4,2
Токарно-багаторізева.	4,56	0,35	1	0,35	2,3
Токарно-багаторізева.	3,10	0,24	1	0,24	3,3
Токарно-багаторізева.	3,53	0,27	1	0,27	3,0
Токарно-багаторізева.	2,45	0,19	1	0,19	4,2
Вертикально-свердлильна.	8,19	0,64	1	0,64	1,3
Горизонтально-розточувальна.	3,84	0,3	1	0,3	2,7
Вертикально-свердлильна.	3,52	0,27	1	0,27	3,0
Вертикально-свердлильна.	3,15	0,25	1	0,25	3,2
Шліцефрезерна.	10,56	0,8	1	0,8	1,0
Шліцефрезерна.	5,88	0,46	1	0,46	1,7
Шліцефрезерна.	9,03	0,7	1	0,7	1,1
Центрошліфувальна.	1,91	0,1	1	0,1	8,0
Центрошліфувальна.	1,85	0,15	1	0,15	5,3
Алмазно-розточувальна.	2,67	0,21	1	0,21	3,8
Круглошліфувальна.	4,26	0,33	1	0,33	2,4
Круглошліфувальна.	3,68	0,29	1	0,29	2,8
Круглошліфувальна.	5,28	0,41	1	0,41	2,0
Круглошліфувальна.	4,69	0,37	1	0,37	2,2
Шліцешліфувальна.	4,31	0,34	1	0,34	2,4
Шліцешліфувальна.	5,08	0,4	1	0,4	2,0
Шліцешліфувальна.	6,02	0,47	1	0,47	1,7
Всього	99,97		22		71,6

Згідно з (2.1):

$$K_{з.о} = \frac{71,6}{22} = 3,25.$$

Згідно умови $1 \leq K_{з.о} < 10$, отримуємо великосерійне виробництво.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Проектування пристрою для обробки отворів $\varnothing 5\text{мм}$

3.1.1. Вибір і обґрунтування принципу дії пристрою, структурної схеми.

Оскільки тип виробництва – великосерійний (див. п. 2.1.), то виникає потреба у проектуванні спеціальної верстатної оснастки. Дана верстатна оснастка використовується для виконання вертикально-свердлильної операції при обробленні отворів 39 ($\varnothing 5$) та їх фасок 42 ($2 \times 45^\circ$).

Як силовий привід використовується пневмокамера, що вмонтована у корпус пристрою; це дає змогу зменшити габарити і масу самого оснащення. Пневмокамера має просту конструкцію; вона є нескладною у виготовленні і має невисоку собівартість – це значно здешевлює процес виготовлення оснастки.

Переваги даної оснастки:

- просто і зручно виконується базування заготовки;
- скорочується штучний час за рахунок зменшення допоміжного;
- виконується постійність силового затиску – це забезпечує мінімальну похибку встановлення;
- зменшується собівартість отримання деталі.

Недоліки даної оснастки:

- є необхідність у спорядженні робочого місця пневмомережею;
- є необхідність у використанні допоміжного робітника – налагоджувальника.

Точність, що забезпечується даною оснасткою, повинна бути не нижча, ніж допуск на розмір від базової до оброблювальної поверхні – 1,0 мм (за виконавчих розмірів $171,5 \pm 0,5$ мм).

Для вибору схеми компоновки пристрою потрібно забезпечити такі умови:

- 1) заготовка має займати стійке положення рівноваги під час прикладання сили затиску;

- 2) при закріпленні заготовки не повинно бути порушене положення, що надається їй при встановленні;
- 3) сили, що виникають при різанні не повинні зміщувати заготовку.

При виборі раціональної компоновки розглядаємо кілька схем (рис. 3.1).

Виконуємо аналіз компоновання конструктивних схем згідно сумарних коефіцієнтів ваг:

$$K_{\Sigma n} = K_1 \cdot 0,5 + K_2 \cdot 0,35 + K_3 \cdot (-0,1) + K_4 \cdot (-0,1) + K_5 \cdot 0,5,$$

де: $K_1 \dots K_5$ – коефіцієнти критеріїв.

Критерій для оцінки компоновальних схем наведемо в табл. 3.1.

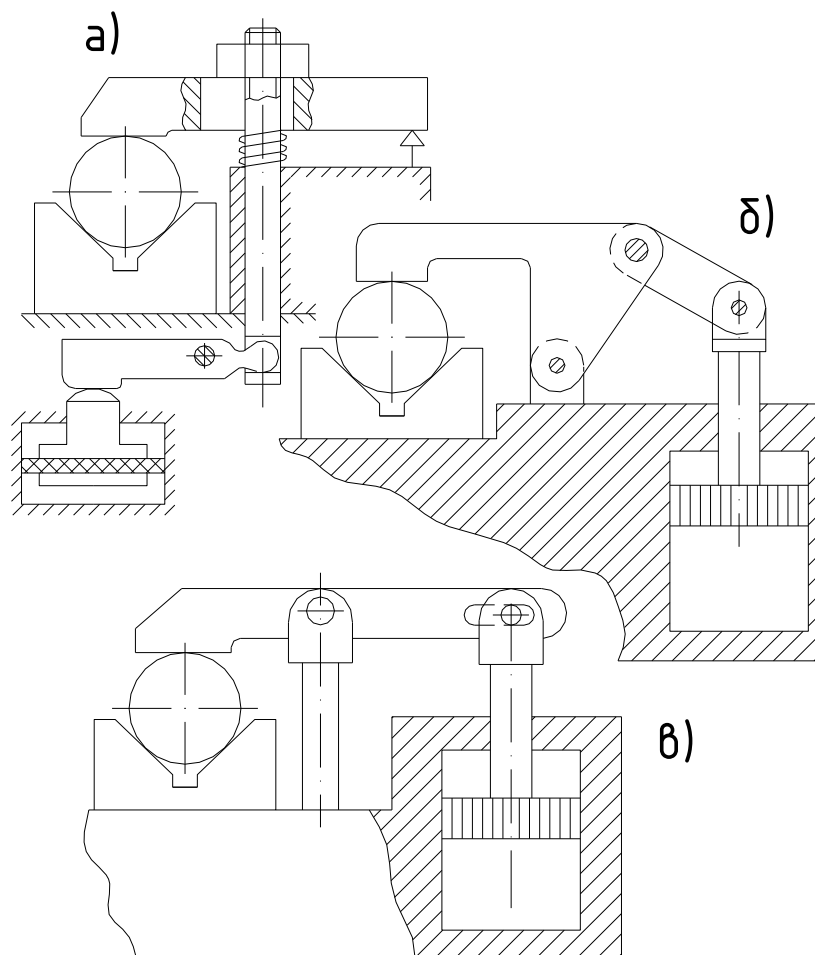


Рисунок 3.1 Варіанти компоновок розроблюваного пристрою

Таблиця 3.1. – Критерії для оцінки компоновальних схем пристрою

Критерій оцінки	Оптимальний коефіцієнт підсилення	Наявність властивості самогальмування	Кількість передавальних механізмів	Наявність проміжної ланки	Компактність	Критерій оцінки компоновальних схем за коефіцієнтом ваги
Номер схем	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	$K_{\Sigma n}$
1	3	0	2	1	3	2,7
2	2	0	2	2	1	1,1
3	1	0	1	1	2	1,3
Вага критерію	+0,5	+0,35	-0,1	-0,1	+0,5	

Розраховуємо сумарний коефіцієнт ваги K_{Σ} для кожної із схем.

– для схеми а):

$$K_{\Sigma 1} = 3 \cdot 0,5 + 0 \cdot 0,35 + 2 \cdot (-0,1) + 1 \cdot (-0,1) + 3 \cdot 0,5 = 2,7.$$

– для схеми б):

$$K_{\Sigma 2} = 2 \cdot 0,5 + 0 \cdot 0,35 + 2 \cdot (-0,1) + 2 \cdot (-0,1) + 1 \cdot 0,5 = 1,1.$$

– для схеми в):

$$K_{\Sigma 3} = 1 \cdot 0,5 + 0 \cdot 0,35 + 1 \cdot (-0,1) + 1 \cdot (-0,1) + 1 \cdot 0,5 = 1,3.$$

Максимальний коефіцієнт ваги отримуємо при схемі а), тому її приймаємо для подальшого розроблення.

3.1.2. Силевий розрахунок параметрів приводу.

Визначаємо необхідне зусилля затиску Q як функцію від сили різання P_p :

$$Q = f(P_p).$$

Також потрібно визначити розрахункову силу різання:

$$P_p = P_o \cdot K,$$

де: P_o - осьова сила, що виникає при свердлінні;

K - коефіцієнт, що враховує умови під час різання.

Згідно з [3]:

$$K = K_o \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5,$$

де: K_0 – гарантований коефіцієнт запасу;

K_1 – коефіцієнт, що враховує випадкові нерівності на поверхні заготовки;

K_2 – коефіцієнт, що залежить від наростаючого затуплення різального інструменту;

K_3 – коефіцієнт, який враховує зростання сили різання при переривчастому різанні;

K_4 – коефіцієнт, що характеризує затискний пристрій за постійності сил, які він розвиває;

K_5 – коефіцієнт, що враховує дію моментів, які намагаються повернути заготовку.

Тому згідно з [3] приймаємо коефіцієнти:

$$\begin{array}{lll} K_0 = 1,5 & K_1 = 1,2 & K_2 = 1,0 \\ K_3 = 1,0 & K_4 = 1,0 & K_5 = 1,5 \end{array}$$

Загальний коефіцієнт K дорівнює:

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,7.$$

За [7] осьова сила P_0 при свердлінні визначається з рівняння:

$$P_0 = 10C_p D^q S^y K_p,$$

де: D – діаметр оброблювального отвору, в мм;

S – подача, в мм/об;

K_p – коефіцієнт, що враховує дійсні умови обробки і залежить від матеріалу оброблювальної заготовки;

C_p, q, y – коефіцієнти приведення.

Згідно табл. 10, 32 [3] отримуємо:

$$K_p = K_{m.p} = \left(\frac{1000}{750} \right)^{0,75} = 1,24;$$

$$C_p = 68 \quad q = 1,0 \quad y = 0,7.$$

$$P_0 = 10 \cdot 68 \cdot 5^{1,0} \cdot 0,1^{0,7} \cdot 1,24 = 841 \text{ Н.}$$

Визначимо розрахункову силу різання:

$$P_p = 841 \cdot 2,7 = 2270 \text{ Н.}$$

Для розрахунку сили затиску Q , що необхідна для закріплення заготовки, складемо рівняння рівноваги моментів дії усіх сил на заготовку відносно точки O (рис. 3.2).

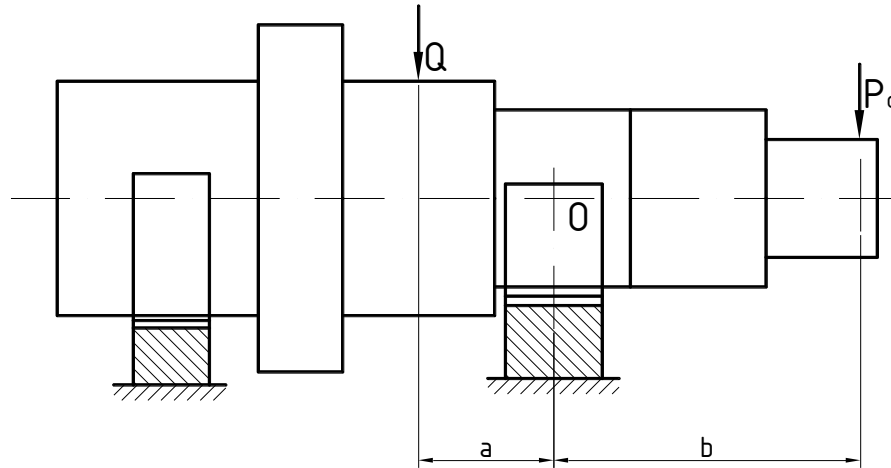


Рисунок 3.2 Схема визначення необхідної сили затиску

$$\sum M_o = 0: \quad Q \cdot a - kP_o \cdot b = 0$$

$$Q = \frac{kP_o \cdot b}{a} = P_p \cdot \frac{b}{a}$$

$$Q = 2270 \cdot \frac{145}{45} = 7315 \text{ Н.}$$

Як силовий привід вибираємо пневмокамеру з односторонньою дією, яка вмонтована у корпус пристрою.

Зусилля на штоці пневмокамери визначаємо з рівняння (рис. 3.3):

$$W \cdot \frac{c}{d} = Q \frac{a+b}{b}.$$

З (3.7) маємо:

$$W = Q \cdot \frac{a+b}{b} \cdot \frac{d}{c} = 7315 \cdot \frac{60+60}{60} \cdot \frac{30}{50} = 8778 \text{ Н.}$$

Визначимо діаметр діафрагми пневмокамери за формулою:

$$W = c \cdot p \cdot D^2,$$

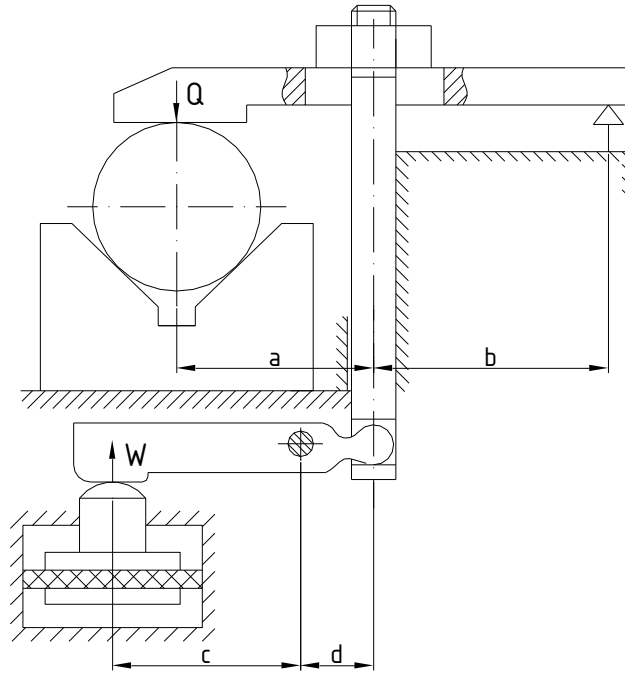


Рисунок 3.3 Схема для визначення зусилля на штоці камери

З цієї формули:

$$D = \sqrt{\frac{W}{c \cdot p}},$$

де: c – коефіцієнт, що залежить від співвідношення D/d ;

p – тиск повітря, що у мережі, МПа.

$$D = \sqrt{\frac{8778}{0,65 \cdot 0,6}} = 150 \text{ мм.}$$

3.1.3. Розрахунки пристрою на точність.

Сумарна похибка виготовлення ε_{Σ} не повинна перевищувати встановленого для даного розміру допуску T_A :

$$\varepsilon_{\Sigma} \leq T_A$$

Сумарна похибка визначається за похибкою:

$$\varepsilon_{\Sigma} = K \cdot \sqrt{\varepsilon_{\theta}^2 + \varepsilon_{p.n}^2 + \varepsilon_{p.y}^2 + \varepsilon_{\theta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{p.n.c}^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_{p.z}^2 + \varepsilon_{n.d}^2 + \varepsilon_i^2 + \varepsilon_{3.n.}^2 + \varepsilon_{p.i}^2 + \varepsilon_t^2}$$

де: $K = 1 \dots 1,2$ - коефіцієнт, що враховує закон розподілу похибок;

ε_{θ} - похибка верстата в ненавантаженому стані;

$\varepsilon_{p.n}$ - похибка розташування пристрою на верстаті;

ε_{δ} - похибка базування;

ε_3 - похибка закріплення;

$\varepsilon_{p.n.c}$ - похибка розташування напрямних елементів;

ε_n - похибка налагодження пристрою;

$\varepsilon_{p.z}$ - похибка розмірного зношення;

$\varepsilon_{n.d}$ - похибка пружних деформацій;

ε_i - похибка інструменту;

$\varepsilon_{z.n}$ - похибка, що виникає внаслідок зношення установчих елементів;

$\varepsilon_{p.i}$ - похибка розташування інструмента на верстаті;

ε_t - похибка, що виникає внаслідок температурних впливів.

- 1) Похибка верстата в ненавантаженому стані. Згідно з табл. 28 [7] для верстата:

$$\varepsilon_{\delta} = 18 \text{ мкм.}$$

- 2) Похибка розташування пристрою у верстаті.

Приймаємо, що похибка розташування пристрою у верстаті не перевищуватиме 20 мкм.

$$\varepsilon_{p.n} = 20 \text{ мкм}$$

- 3) Похибка розташування установчих елементів стосовно поверхонь пристрою.

Згідно з [5]

$$\varepsilon_{p.y} = 10 \text{ мкм}$$

для призм, які прийняті в якості уставної бази.

- 4) Похибка базування.

- 5) Згідно з наведеною схемою:

$$б) \varepsilon_{\delta.A} = 0 \text{ мкм}$$

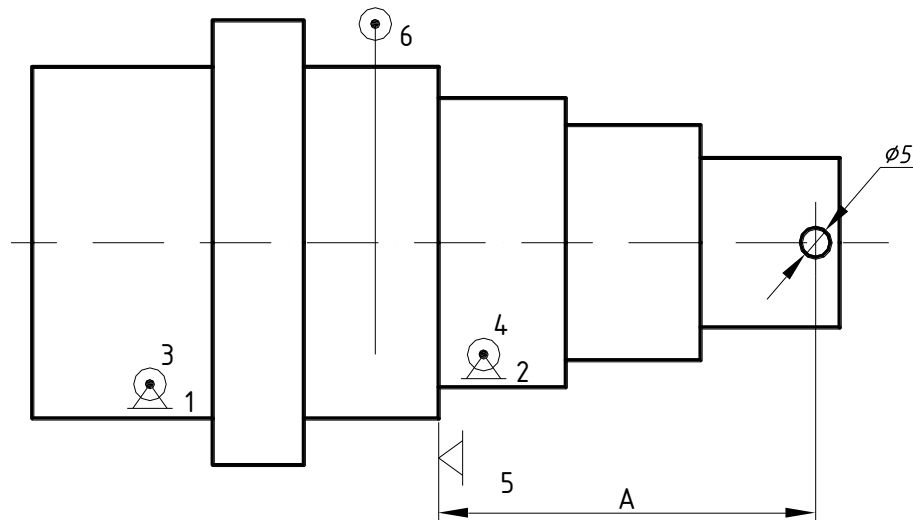


Рисунок 3.4 Схема базування для обробки отворів 39 ($\varnothing 5$)

Похибка закріплення ε_3 .

Похибка закріплення визначається із залежності:

$$\varepsilon_3 = (y_{\max} - y_{\min}) \cos \alpha,$$

де: y_{\max} , y_{\min} - відповідно максимальне і мінімальне зміщення заготовки при її закріпленні;

α - кут, під яким знаходиться оброблювана площина.

Так, як $\alpha = 90^\circ$, то $\cos \alpha = 0$.

$$\varepsilon_3 = 0$$

7) Похибка розташування напрямних елементів $\varepsilon_{p.n.c}$. Ця похибка рівна:

$$\varepsilon_{p.n.c} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_{np},$$

де: ε_1 - похибка чи допуск на відстань від опори до осі кондукторної втулки;

ε_2 - максимальний зазор між проміжною та кондукторною втулками;

ε_3 - похибка биття проміжної і кондукторної втулок (приймаємо рівною 0 мкм);

ε_{np} - похибка перекошення інструменту:

$$\varepsilon_{np} = \frac{S_{\max}}{2l} (l + 2e),$$

де: S_{\max} - максимальний зазор між кондукторною втулкою та інструментом;

l - довжина кондукторної втулки;

e - коефіцієнт, який залежить від матеріалу заготовки і діаметра обробки.

а) Приймаємо, що $\varepsilon_1 = 0$;

б) Для $\varnothing 12 \frac{H7}{h6}$

$$\varnothing 12 \frac{H7}{h6}$$

$$\varepsilon_{2\max} = 0,006 \text{ мм} = 6 \text{ мкм.}$$

в) Приймаємо $\varepsilon_3 = 0$ мкм.

г) Згідно з [4], допуск на внутрішній діаметр кондукторної втулки

приймаємо рівний $\varnothing 0,5 \frac{H7}{h6}$

$$\varnothing 5H7 = \varnothing 5^{+0,012}$$

$$\varnothing 5h6 = \varnothing 5^{+0,016}_{+0,018}$$

Таким чином, максимальний зазор між втулкою і свердлом буде рівний

$$S_{\max} = 12 - 8 = 4 \text{ мкм.}$$

Довжина кондукторної втулки згідно з ДСТУ 18430-93:

$$l = 25 \text{ мм} \quad e = 5 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{np} = \frac{4}{2 \cdot 25} (25 + 2 \cdot 5) = 2,8 \approx 3 \text{ мкм.}$$

$$\varepsilon_{p.n.c} = 0 + 6 + 0 + 3 = 9 \text{ мкм.}$$

8) Похибка налагодження пристрою.

Цю похибку приймаємо як максимальний зазор між зовнішнім діаметром свердла і внутрішнім діаметром кондукторної втулки, тобто

$$\varepsilon_n = S_{\max}$$

$$\varepsilon_n = 4,0 \text{ мкм.}$$

9) Похибка пружних деформацій $\varepsilon_{n.d}$.

Згідно з табл. 11 [7].

$$\varepsilon_{n.d} = 75,0$$

10) Похибка інструменту ε_i визначається допуском на його виготовлення

для $\varnothing 5n6$ допуск буде рівний $\varnothing 5^{+0,016}_{+0,008}$

$$\varepsilon_i = 8 \text{ мкм.}$$

11) Похибка, що виникає внаслідок зношення установчих елементів ε_{zn} .

$$\varepsilon_{zn} = \beta N^n$$

де: β - коефіцієнт, який залежить від виду установчих елементів;

N - кількість установлень деталі;

$$n = 0,5.$$

$$\varepsilon_{zn} = 0,3 \cdot 15000^{0,5} = 30 \text{ мкм}$$

12) Похибка розташування інструмента на верстаті $\varepsilon_{p.i}$.

Цю похибку приймаємо рівною згідно з табл. 26 [15]: $\varepsilon_{p.i} = 20 \text{ мкм.}$

13) Температурна похибка ε_t .

Цю похибку приймаємо рівною 0,1 від сумарної похибки, без врахування температурної похибки:

$$\varepsilon_t = 0,1 \varepsilon_{\Sigma}$$

Сумарна похибка (без врахування температурної похибки ε_t) ε_{Σ} :

$$\varepsilon_{\Sigma} = 1 \cdot \sqrt{18^2 + 20^2 + 10^2 + 0^2 + 9^2 + 4^2 + 75^2 + 8^2 + 30^2 + 20^2} = 89 \text{ мкм.}$$

Температурна похибка:

$$\varepsilon_t = 0,1 \cdot 89 \approx 9 \text{ мкм.}$$

Сумарна похибка виготовлення: $\varepsilon_{\Sigma} = \sqrt{89^2 + 9^2} \approx 20 \text{ мкм.}$

Допуск на виготовлення, згідно з кресленням становить 1000 мкм. Таким чином, умова $\varepsilon_{\Sigma} \leq \tau_A$ виконується.

3.1.4. Загальний опис конструкції, принципу дії, економічне обґрунтування.

Пристрій, призначений для свердління двох отворів $\varnothing 5$ і зенкування 4-х фасок $2 \times 45^\circ$. Заготовка вала встановлюється на опорні призми з базуванням по торцю $\varnothing 68$. В якості затискного елемента служить прихват 7. Зусилля затиску на

прихват передається через тягу 6 і важіль 5 від діафрагми 1 пневмокамери, вмонтованої в плиту пристрою.

Для напрямлення інструменту (свердла) служить кондукторна втулка 28, запресована у відкидну кондукторну плиту 11. Після свердління отвору кондукторна плита відкидається і після цього зенкується фаска. В робочому положенні кондукторна плита затискається фіксатором 15. Після обробки першого отвору $\varnothing 5$, заготовка відкріплюється, повертається на 90° . Повертаючи ексцентрик 14 в положення “рухайся вниз” вводимо зрізаний палець 12 в оброблений перший отвір. Затискаємо заготовку, кондукторну плиту ставимо в робоче положення і обробляємо другий отвір. Відкріплення заготовки проводиться у зворотному порядку.

Для визначення економічної доцільності використання робочого пристрою, розрахуємо собівартість обробленого пристрою, розрахуємо собівартість оброблення заготовки без вказаного пристрою (варіант а) і за допомогою цього пристрою (варіант б):

$$C_a = Z_a \left(1 + \frac{H}{100} \right) + \frac{S_a}{N} \left(\frac{1}{A} + \frac{q}{100} \right)$$

$$C_b = Z_b \left(1 + \frac{H}{100} \right) + \frac{S_b}{N} \left(\frac{1}{A} + \frac{q}{100} \right)$$

де: Z_a, Z_b - штучна заробітна плата верстатника варіантами а) і б), грн.;

H - цехові накладні видатки в % зарплати працюючих;

S_b - затрати на виготовлення пристрою (за варіантом б)), грн.;

A - термін амортизації пристрою;

q - видатки, пов'язані з експлуатацією пристрою (ремонт, утримання, регулювання) у % від вартості пристрою.

Приблизні затрати на виготовлення пристрою:

$$S = c \cdot N,$$

де: N - кількість деталей в пристрої;

c - постійна, яка залежить від складності пристрою і його габаритних розмірів.

Згідно з [4] для пристроїв середньої складності

$$C = 3 \text{ грн.}$$

Термін A – амортизації пристрою, протягом якого його використовують для випуску заданих деталей рівний $3r$. для пристроїв середньої складності.

Річні затрати q , пов'язані з експлуатацією пристрою, рівні 30% від затрат на його виготовлення.

Штучна заробітна плата $З$ залежить від штучного часу t_{um} шт. обробки деталі і хвилину ставку $З_{xв}$ робітника-верстатника. За діючою тарифною сіткою, хвилинна зарплата верстатника з розряду при нормальних умовах праці складає 0,538 грн./год.

$$З = З_{xв} \cdot t_{um} = 0,538 \cdot t_{um}$$

$$З = 0,538 \cdot \frac{1,56}{60} = 0,014 \text{ грн.}$$

$$З = 0,538 \cdot \frac{0,96}{60} = 0,0086 \text{ грн.}$$

Затрати на виготовлення пристрою складають:

$$S_{\delta} = 35 \cdot 3 = 105 \text{ грн.}$$

Собівартість обробки по обох варіантах становить:

$$C_a = 0,014 \left(1 + \frac{250}{100} \right) + \frac{10}{10000} \left(\frac{1}{2} + \frac{30}{100} \right) = 0,0498 \text{ грн.}$$

$$C_b = 0,0086 \left(1 + \frac{250}{100} \right) + \frac{105}{10000} \left(\frac{1}{2} + \frac{30}{100} \right) = 0,0385 \text{ грн.}$$

Таким чином, собівартість обробки за варіантом б) нижча за собівартість обробки за варіантом а) на величину

$$\Delta C = C_a - C_b$$

$$\Delta C = 0,0498 - 0,0385 = 0,0113 \text{ грн.}$$

Термін окупності (у роках) визначиться за формулою:

$$T = \frac{S \left(1 + \frac{q}{100} \right)}{\Delta C \cdot N};$$

$$T = \frac{105 \left(1 + \frac{30}{100} \right)}{0,0113 \cdot 10000} = 1,2$$

Таким чином даний пристрій повністю окупить витрати на його виготовлення за 1,2 роки.

3.2. Проектування пристрою для розточування

Даний пристрій використовується на операції 075 – алмазно-розточувальній для викінчувального оброблення отвору 29. В якості силового елемента використовується пневмоциліндр.

Необхідна сила затиску визначиться зі схеми:

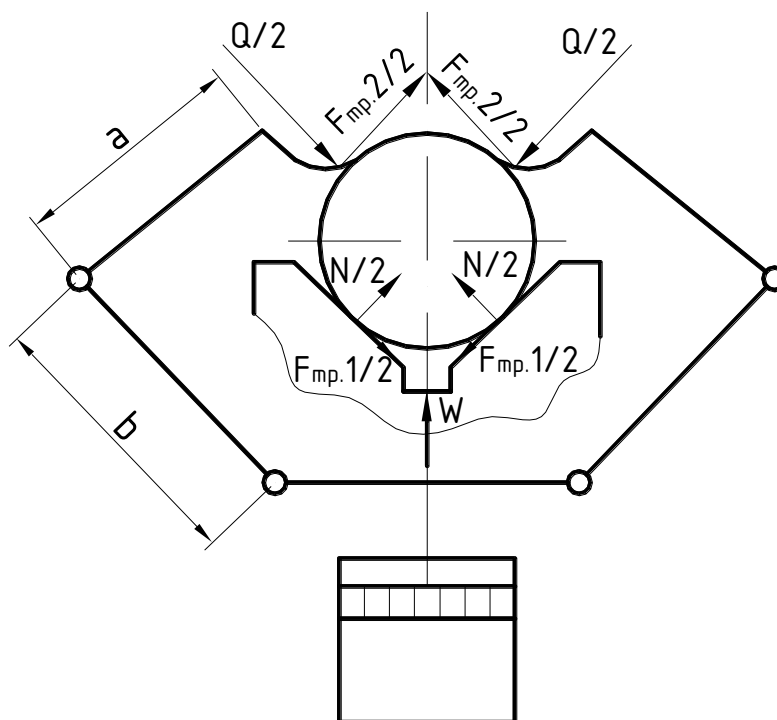


Рисунок 3.5 Розрахункова схема для визначення необхідної сили затиску

Необхідна сила затиску визначиться з умови: заготовка не повинна зсуватися вздовж своєї осі під дією сили затиску.

У відповідності з рис. 3.5:

$$K P_z = \frac{F_{мп1}}{2} - \frac{F_{мп1}}{2} - \frac{F_{мп2}}{2} - \frac{F_{мп2}}{2} = 0$$

$$K P_z - F_{мп1} - F_{мп2} = 0$$

Сили тертя F_{mp1} і F_{mp2} відповідно:

$$F_{mp1} = Qf_1$$

$$F_{mp2} = Nf_2$$

де: f_1, f_2 - коефіцієнти тертя по відповідних поверхнях.

Враховуючи, що $N = Q$, отримаємо:

$$KP_z = Q \cdot f_1 + Q \cdot f_2 = Q(f_1 + f_2),$$

звідки

$$Q = \frac{KP_z}{f_1 + f_2}$$

$$Q = \frac{2,15 \cdot 149,8}{0,15 + 0,15} = 1073,6 \text{ Н.}$$

Сила, яку необхідно розвинути на штоці пневмоциліндра:

$$W = Q \cdot \frac{a}{b}$$

$$W = 1073,6 \cdot \frac{90}{40} = 2415,5 \text{ Н.}$$

$$D = \sqrt{\frac{2415,5}{0,65 \cdot 0,6}} = 78,7 \text{ мм.}$$

Заготовка базується на опорних призмах 20, 21 і циліндричному кільці 17. Затиск заготовки здійснюється від пневмоциліндра 19. Зусилля затиску передається через важіль 4 на прихвати 3, які притискають заготовку до опорних призм. Наявність на при хватах пазів і достатній хід штоку (при застосуванні пневмоциліндру) дає змогу розвернути прихвати майже на 45° , що дозволяє легко встановити заготовку і зняти оброблену деталь.

3.3. Проектування пристрою для комплексного контролю шліців

На плиті пристрою вмонтовано бабку 1, стійку 3 з поворотною планшайбою 4 і витяжним фіксатором, а також стійка 6 із пальцем 7, на якому встановлено кронштейн 8 з індикаторною головкою 25.

Встановлюємо контрольний вал в планшайбу і підпираємо центром бабки. Притискаючи однією рукою вал до центра бабки, гайковим ключем повертаємо гайку 14 на планшайбі. Планшайба повинна бути зафіксована фіксатором. Гайка закручуючись тисне на шайбу 13, а та в свою чергу на тарілчасті пружини 26, які відцентровують і затискають вал. Умова – вал треба встановити так, щоб бокова поверхня шліца, яка буде контролюватися, була приблизно паралельна до поверхні плити пристрою. В такому положенні один кінець важеля 9 буде впирається в контрольовану поверхню шліца, а інший в ніжку індикаторної головки. Важіль 9 притискається до контрольованої поверхні пружиною 11. Переміщуючи кронштейн 8 вздовж пальця 7, визначаємо величину відхилення від паралельності до осі вала. Планшайбу можна фіксувати в десяти положеннях, що дає змогу проконтролювати кожен шліц.

Відкріплення і зняття деталі відбувається у зворотному порядку.

Розрахунок пристрою на точність.

Похибка вимірювання являється результатом сумарного впливу ряду випадкових похибок. Для випадкових незалежних похибок середня квадратична похибка методу вимірювання визначиться з формули:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2},$$

де: ε_1 - похибка недотримання температурного режиму;

ε_2 - похибка відхилення розміру кінцевої міри;

ε_3 - похибка приладу.

$$1) \varepsilon_1 = l[\alpha_1(t_1^o - 20) - \alpha_2(t_2^o - 20)],$$

де: l - номінальний розмір;

α_1 і α_2 - коефіцієнти лінійного розширення матеріалів вимірюваного об'єкта і вимірювального приладу;

t_1^o і t_2^o - температура вимірюваного об'єкта і вимірювального приладу.

Приймаємо $t_1 = t_2 = 20$.

2) $\varepsilon_1 = \pm 0,3$ мкм (для $h = 102$ мм і для нульового 0 класу міри).

3) Похибка приладу для багато обробного індикатора 1 МИГ в межах одного оберту стрілки становить:

$$\varepsilon_3 = 0,002 \text{ мм} = 2 \text{ мкм.}$$

$$\varepsilon_1 = 75[\alpha_1(20 - 20) - \alpha_2(20 - 20)] \approx 0$$

$$\varepsilon_\Sigma = \sqrt{0 + 0,6^2 + 2^2} = 2,1 \text{ мкм.}$$

Отже $\varepsilon_\Sigma = 2,1 \text{ мкм} < T_{\text{вим}} = 0,012$, то спроектований пристрій забезпечить необхідну точність на операції по контролю шліців (січ. Н-Н).

3.4. Проектування пристрою для контролю радіального биття

Даний пристрій використовується для контролю радіального биття ступенів вала 8 ($\varnothing 75_{-0,105}^{-0,065}$), 3 ($\varnothing 68_{-0,060}^{-0,030}$), 5 ($\varnothing 60_{-0,032}^{-0,012}$).

Допустиме радіальне биття, згідно з кресленням складає 25 мкм.

Робота пристрою полягає в наступному. Контрольована деталь встановлюється у центри 12 і 13. Центр 12 є нерухомим. Центр 13 має можливість осьового переміщення за рахунок того, що він розміщений у рухомому кронштейні 5, який приводиться у рух гвинтом 19. За допомогою гвинта 19 деталь затискається, чим забезпечується базування деталі на її осі. Деталь має можливість обертання за рахунок наявності у конструкції пристрою підшипників 31. Контроль радіального биття проводиться індикатором годинникового типу ИЧТ 100-0,005 з ціною поділки 0,005 мм. Індикатор закріплюється на необхідній висоті, в залежності від ступені валу, що контролюється, на стійці 8.

Стойка має можливість переміщення вздовж корпусу за рахунок наявності напрямної та штанги 7. Після виставлення індикатора на контроль необхідної ступені, стойка фіксується від можливого переміщення по штанзі за допомогою гвинта 6.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

В кваліфікаційній магістерській роботі згідно із завданням розроблено технологічний процес механічного оброблення деталі валу вторинного коробки передач 21.1701105 з елементами комп'ютерного проектування.

Проведено характеристику службового призначення і технічних вимог на деталь та вузол, проаналізовано базові технологічні процеси механічного оброблення та складання.

Встановлено типи та організаційні форми виробництв, вибрано і економічно обґрунтовано спосіб отримання заготовки, проведено структурний аналіз і синтез кількох варіантів технологічних процесів механічного оброблення та складання і встановлено оптимальні.

При детальному розробленні встановлено припуски та міжопераційні розміри, проведено розмірний аналіз, визначено режими різання та технологічне оснащення, встановлено контрольні, допоміжні та транспортні операції, проведено нормування.

Розроблено пристрої для: оброблення отворів $\varnothing 5$; розточування центрального отвору, комплексного контролю шліців, контролю радіального биття.

Розроблений технологічний процес та оснастка може бути впроваджено на машинобудівних підприємствах відповідного профілю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кваліфікаційна робота: методичні вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх освітніх програм денної та заочної форм навчання / уклад. Н.В. Ковальчук, Ю.Г. Фесіна, І.Л.Заблоцька Луцьк : ЛНТУ, 2023. 46 с.
2. Nataliya Zubovetska, Yurii Fedorus', Volodymyr Shvabyuk, Rostyslav Redko; To the problem of developing a methodology for the frequency analysis of spindle runout. AIP Conf. Proc. 1 November 2023; 2840 (1): 040007. <https://doi.org/10.1063/5.0169334>.
3. Технологія машинобудування: навчальний посібник для студ. спец.: 133 «Галузеве машинобудування», 015 «Професійна освіта (машинобудування)» та 131 «Прикладна механіка» / І. І. Назаренко, М. М. Ручинський, О. П. Дєдов, Є. О. Мішук. - Київ : Ямчинський О. В., 2024. - 164 с.
4. Редько Р.Г. Дослідження та вдосконалення конструкції виконавчих вузлів багатошпиндельного токарного напівавтомату для обробки шестерень / Р.Г.Редько, П.М. Цюпа, Р.П. Приступа // Студентський науковий вісник. Серія «Технічні науки». Науковий збірник. Випуск 47. – Луцьк: ІВВ ЛНТУ, 2022. - С. 266-272.
5. Редько Р.Г. Оптимізація параметрів шпиндельного вузла / Редько Р.Г., Цюпа П.М. // Тези II студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії “Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії”. Луцьк: ЛНТУ – 2022 р. – С. 24-27.
6. Технологічна оснастка: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / Укл. В. С. Медведєв, В. І. Тулупов, С. Г. Онищук – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 108 с.
7. Кушніров, П. В. Технологічна оснастка [Електронний ресурс] : навч. посіб. / П. В. Кушніров, А. В. Євтухов, І. М. Дегтярьов. — Суми : СумДУ, 2020. — 140 с.
8. Технологічна оснастка: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / Укл. В. С. Медведєв, В. І. Тулупов, С. Г. Онищук –

Краматорськ : ДДМА, 2021. – 108 с.

9. Joaquim Augusto Guerra Hamuyela, Kuznetsov Yu.N., Hamuyela T.O. Sintese Genetico-Morfologica de Porta-Mandris de Fixacao. Lushik: Veja-Imprensa, 2019. – 320 p.
10. Кузнєцов Ю. М., Придальний Б. І. Приводи затискних механізмів металообробних верстатів. – Луцьк: Вежа-Друк, 2016. – 358 с.
11. Кузнєцов Ю. М., Придальний Б. І. Проектування цільових механізмів маніпулювання верстатів нового покоління; 2-е видання– Луцьк: Вежа-Друк, 2014. — 428 с.
12. Joaquim Augusto Guerra Hamuyela, Kuznetsov Yu.N., Hamuyela T.O. Sintese Genetico-Morfologica de Porta-Mandris de Fixacao. Lushik: Veja-Imprensa, 2019. – 320 p.
13. Розробка технологічного процесу на прикладі виготовлення ступінчастого вала редуктора: Навчально-методичний посібник для виконання конструкторсько-технологічних розділів дипломного проекту бакалавра студентами спеціальності «Прикладна механіка» (спеціалізація «Інтегровані технології машинобудування») денної, заочної та дистанційної форм навчання / І.М. Пижов. – Х.: НТУ «ХП», 2018. – 91 с.