

## Пояснювальна записка

до дипломної роботи

*бакалавра*

Освітньо-кваліфікаційний рівень

Галузь знань **13 Механічна інженерія**

Шифр і назва галузі знань

Напрямок підготовки (спеціальність): **132 «Матеріалознавство.  
Відновлення та технічний сервіс автомобілів»**

Шифр і назва напряму підготовки (спеціальності)

на тему: «Зміцнення шестерні заднього ходу коробки перемикач  
передач»

Шифр **ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ**

Виконав: студент 4-го курсу,  
група *МТВА-20-1*

  
Підпис

Максим БІЛОУС  
Ім'я, прізвище

Керівник: *к.т.н., доц. каф ТАМ.*

  
Підпис

Олександр РУДИК  
Ім'я, прізвище

До захисту допускаю:  
*зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.*

  
Підпис

Олександр ДИХА  
Ім'я, прізвище

5 06 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: спеціаліст  
Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»  
Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»  
Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Зав. кафедрою ТАМ  
Диха О.В.  
" 04 " березня 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Білоусу Максиму Анатолійовичу

**1. Тема проєкту (роботи):** «Зміцнення шестерні заднього ходу коробки перемикання передач»

Керівник роботи: Рудик Олександр Юхимович, к.т.н., доц. каф. ТАМ.

Затверджено наказом університету від 15 лютого 2024 р. № 8 (Д 16).

**2. Строк подання студентом проєкту (роботи) на кафедру:** 20.06.2024 р.

**3. Вихідні дані до проєкту (роботи):** *матеріали переддипломної практики.*

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

1). *Службове призначення, принцип роботи, характеристика коробки перемикання передач.*

2). *Призначення і термічна обробка шестерні заднього ходу КПП ЯМЗ-2381.*

3). *Розробка ТП виготовлення шестерні заднього ходу КПП ЯМЗ-2381.*

**5. Перелік графічного матеріалу (презентація):**

*Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.*



## 6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання: 4 березня 2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Службове призначення, принцип роботи, характеристика коробки перемикачів передач.	15.04.2024	вик.
2	Призначення і термічна обробка шестерні заднього ходу КПП ЯМЗ-2381.	25.04.2024	вик.
3	Аналіз базового ТП виготовлення шестерні	15.05.2024	вик.
4	Вибір вихідної заготовки шестерні та метод її отримання	25.05.2024	вик.
5	Розробка технологічного маршруту обробки шестерні	10.06.2024	вик.
6	Оформлення роботи	20.06.2024	вик.
7	Захист роботи	22.06.2024	

Студент



Максим БІЛОУС

Керівник роботи



Олександр РУДИК



## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 84 сторінки, кількість рисунків – 11, таблиць – 5, додатків – 1, кількість джерел згідно із переліком посилань – 20.

Студент гр. МТВА-20-1 Білоус Максим Анатолійович





Тема: «Зміцнення шестерні заднього ходу коробки перемикання передач».

Розглянуте службове призначення, принцип роботи, характеристика, технічне обслуговування, можливі несправності КПП ЯМЗ-2381. Для її шестерні заднього ходу вибраний матеріал (сталь 20Х2Н2М) з хіміко-термічною обробкою у вигляді цементації та гартування, що забезпечує необхідну міцність на вигин зубів шестерень і шліцьового з'єднання. Насичення вуглецем виконується сумішшю вуглеводнів (піробензолу і синтину) у безмуфельній шахтній печі СШЦ-9.6/10. Розроблений технологічний виготовлення шестерні (вибрана вихідна заготовка та метод її отримання; розроблений технологічний маршрут обробки, вибрані бази і методи механічної обробки; розраховані припуски і міжперехідні розміри, режими різання і норми часу для токарної обробки).

**Перелік ключових слів:** ЯМЗ-2381, КПП, ШЕСТЕРНЯ, СТАЛЬ 20Х2Н2М, ХТО, ЦЕМЕНТАЦІЯ, ГАРТУВАННЯ, МЕХАНІЧНА ОБРОБКА.

## Зміст

Анотація .....	6
Abstract .....	7
Перелік скорочень.....	8
Вступ .....	9
<b>1 Службове призначення, принцип роботи, характеристика коробки перемикання передач .....</b>	<b>10</b>
1.1 Призначення та принцип роботи КПП ЯМЗ-2381.....	10
1.2 Характеристика КПП ЯМЗ-2381 .....	11
1.3 Експлуатація КПП ЯМЗ-2381 .....	11
1.4 Технічне обслуговування КПП ЯМЗ-2381 після обкатки автомобіля .....	12
1.5 Можливі несправності КПП ЯМЗ-2381 .....	13
<b>2 Призначення і термічна обробка шестерні заднього ходу КПП ЯМЗ-2381.....</b>	<b>15</b>
<b>3 Розробка ТП виготовлення шестерні заднього ходу КПП ЯМЗ-2381.....</b>	<b>23</b>
3.1 Аналіз базового ТП виготовлення шестерні .....	25
3.2 Вибір вихідної заготовки шестерні та метод її отримання.....	26
3.3 Розробка технологічного маршруту обробки шестерні.....	28
3.3.1 Вибір баз обробки шестерні .....	28
3.3.2 Вибір методів обробки шестерні .....	29
3.3.3 Розрахунок припусків і міжперехідних розмірів шестерні.....	30

ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ									
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Зміцнення шестерні заднього ходу коробки перемикання передач	Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Білоус						4	63
Перевір.		Рудик							
Н. Контр.		Маковкін							
Затверд.		Диха							
						ХНУ, гр.МТВА-20-1			

## Зміст

<b>Анотація .....</b>	<b>6</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>7</b>
<b>Перелік скорочень.....</b>	<b>8</b>
<b>Вступ .....</b>	<b>9</b>
<b>1 Службове призначення, принцип роботи, характеристика коробки перемикавання передач .....</b>	<b>10</b>
1.1 Призначення та принцип роботи КПП ЯМЗ-2381.....	10
1.2 Характеристика КПП ЯМЗ-2381 .....	11
1.3 Експлуатація КПП ЯМЗ-2381 .....	11
1.4 Технічне обслуговування КПП ЯМЗ-2381 після обкатки автомобіля .....	12
1.5 Можливі несправності КПП ЯМЗ-2381.....	13
<b>2 Призначення і термічна обробка шестерні заднього ходу КПП ЯМЗ-2381.....</b>	<b>15</b>
<b>3 Розробка ТП виготовлення шестерні заднього ходу КПП ЯМЗ-2381.....</b>	<b>23</b>
3.1 Аналіз базового ТП виготовлення шестерні .....	25
3.2 Вибір вихідної заготовки шестерні та метод її отримання.....	26
3.3 Розробка технологічного маршруту обробки шестерні.....	28
3.3.1 Вибір баз обробки шестерні .....	28
3.3.2 Вибір методів обробки шестерні .....	29
3.3.3 Розрахунок припусків і міжперехідних розмірів шестерні.....	30

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Білоус				Зміцнення шестерні заднього ходу коробки перемикавання передач	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Рудик					4	63	
Н. Контр.	Маковкін					ХНУ, гр.МТВА-20-1		
Затверд.	Диха							

3.3.4 Розрахунок розмірів заготовки шестерні за переходами .....	33
3.3.5 Розрахунки режимів різання і норм часу для токарної обробки шестерні.....	41
<b>Висновки.....</b>	<b>53</b>
<b>Список використаних джерел .....</b>	<b>55</b>
<b>Додатки .....</b>	<b>57</b>

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## Анотація

Розглянуте службове призначення, принцип роботи, характеристика, технічне обслуговування, можливі несправності КПП ЯМЗ-2381. Для її шестерні заднього ходу вибраний матеріал (сталь 20Х2Н2М) з хіміко-термічною обробкою у вигляді цементації та гартування, що забезпечує необхідну міцність на вигин зубів шестерень і шліцьового з'єднання. Насичення вуглецем виконується сумішшю вуглеводнів (піробензолу і синтину) у безмуфельній шахтній печі СШЦ-9.6/10. Розроблений технологічний процес виготовлення шестерні (вибрана вихідна заготовка та метод її отримання; розроблений технологічний маршрут обробки, вибрані бази і методи обробки; розраховані припуски і міжперехідні розміри, режими різання і норми часу для токарної обробки).

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Abstract

The official purpose, principle of operation, characteristics, maintenance, possible malfunctions of the YAMZ-2381 checkpoint were considered. For its reverse gear, the material (steel 20X2H2M) with chemical-thermal treatment in the form of cementation and hardening was selected, which provides the necessary strength against the bending of the gear teeth and splined connection. Carbon saturation is carried out with a mixture of hydrocarbons (pyrobenzene and syntin) in a muffleless mine furnace SSHTS-9.6/10. The technological process of gear manufacturing has been developed (the initial blank and the method of its production were selected; the technological route of processing was developed, the bases and methods of processing were selected; allowances and intermediate dimensions were calculated, cutting modes and time standards for turning).

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Перелік скорочень

КПП – коробка перемикачів передач.

ТО – технічне обслуговування.

ТО-1 – перше технічне обслуговування.

ТО-2 – друге технічне обслуговування.

АСБНД – автоматична система блокування ввімкнення нижчого діапазону.

C – вуглець.

Cr – хром.

Ni – нікель.

Mo – молібден

S – сірка.

P – фосфор.

H<sub>2</sub> – водень.

A<sub>c3</sub> – критична точка кінця розчинення фериту в аустеніті.

A<sub>c1</sub> – критична точка перетворення перліту в аустеніт.

t – температура.

HRC – твердість за Роквеллом [МПа].

ВТК – відділ технічного контролю.

ХТО – хіміко-термічна обробка.

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вступ

**Актуальність теми.** Експлуатація автомобіля з несправною коробкою перемикачів передач може призвести до серйозних ушкоджень привода і трансмісії. Тому наведено службове призначення, принцип роботи, характеристика, технічне обслуговування і можливі несправності КПП ЯМЗ-2381. Для однієї з її деталей (шестерні заднього ходу) вибраний матеріал, описана технологія хіміко-термічної обробки і розроблений технологічний процес виготовлення.

**Новизна роботи.** Розроблений технологічний процес хіміко-термічної обробки шестерні заднього ходу, яка забезпечує необхідну міцність на вигин зубів шестерень і шліцьового з'єднання.

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 Службове призначення, принцип роботи, характеристика коробки перемикачів передач

## 1.1 Призначення та принцип роботи КПП ЯМЗ-2381

Силові установки автомобілів потребують спеціального складового механізму, який, для здійснення руху, збільшує крутний момент і прискорення. Ці функції забезпечують КПП.

Сучасні КПП ЯМЗ-2381 прийшли на зміну застарілим моделям. Їх основна відмінність – удосконалення планетарного демультіплікатора (в народі називають: "короткий ділител"). КПП мають вісім передач вперед та одну назад. Для плавності та безшумності включення передач у КПП встановлені синхронізатори на всіх передачах переднього ходу [1].

Технічні дані КПП ЯМЗ-2381 наведені у табл. 1.1 [2, 3].

Таблиця 1.1 – Технічні дані КПП ЯМЗ-2381

Найбільший допустимий крутний момент на первинному валу, Нм	1274
Максимальне число обертів первинного валу, об/хв.	2100
Найбільший допустимий крутний момент на первинному валу, Нм	1274
Заправний об'єм системи змащення, л	7,50
Габаритні розміри (довжина × ширина × висота), мм	1075×562×606
Маса коробки передач, не заправленої мастилом, у комплекті з картером зчеплення, кг	близько 355

## 1.2 Характеристика КПП ЯМЗ-2381

КПП ЯМЗ-2381 механічна 8-ступінчаста, складається з основної 4-ступінчастої КПП і 2-діапазонного планетарного демультиплікатора. Вона призначена для встановлення спільно з діафрагмовим зчепленням [4, 5].

Механізм перемикання діапазонів демультиплікатора оснащений АСБНД, яка дозволяє увімкнути нижчий діапазон за частоти обертання вихідного валу КПП не > 920 об/хв., що відповідає швидкості руху авто (25,0-35,0) км/год.

Передаточні числа КПП наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Передаточні числа КПП

Передача	Передача в основній коробці	Діапазон в демультиплікаторі	Передаточне число
1	1	нижчий	7,30
2	2		4,86
3	3		3,50
4	4		2,40
5	1	вищий	2,09
6	2		1,39
7	3		1,00
8	4		0,71
Задній хід	Задній хід	нижчий	10,46
		вищий	2,99

## 1.3 Експлуатація КПП ЯМЗ-2381

Перемикання передач потрібно проводити тільки при вимкненому зчепленні: – з 1-ї по 4-у і з 5-ї по 8-у переміщенням важеля перемикання у відповідне положення. Для увімкнення 5-ї передачі потрібно перемістити кнопку перемикання демультиплікатора на увімкнення вищого діапазону за увімкненої 4-

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ї передачі. 5-а передача вмикається переведенням важеля перемикавання основної КПП в положення 1-ї передачі. При переході через нейтральне положення автоматично вмикається вищий діапазон у демультіплікаторі. Тому важіль потрібно затримати у нейтральному положенні доти, поки не згасне лампа сигналізатора перемикавання демультіплікатора. При переході з 5-ї на 4-у передачу переміщують кнопку перемикавання демультіплікатора на вмикання найнижчого діапазону за ввімкненої 5-ї передачі (при цьому швидкість автомобіля не повинна бути  $> 35,0$  км/год.). Потім важіль перемикавання передач потрібно перевести у нейтральне положення і затримати його до згасання лампи сигналізатора. Потім потрібно увімкнути 4-у передачу в основній КПП.

Рух автомобіля з місця здійснюється на 1-й передачі, а на 2-й – допускається тільки на дорогах з твердим покриттям. Рух заднім ходом здійснюється тільки при ввімкненому нижчому діапазоні в демультіплікаторі. При переведенні важеля перемикавання передач із нейтрального в положення для увімкнення заднього ходу, відчувається опір пружинного механізму. Задній хід потрібно вмикати тільки після повної зупинки авто за частоти обертання колінчастого валу, яка відповідає оборотам холостого ходу (із затримкою  $> 5$  с після витискання педалі зчеплення).

#### **1.4 Технічне обслуговування КПП ЯМЗ-2381 після обкатки автомобіля**

Після обкатки автомобіля замінюється мастило у картері КПП, очищається від продуктів припрацювання сітка мастилозабірника і магніт зливної пробки. ТО після закінчення періоду обкатки проводять після 1-х 50 год. роботи КПП.

ТО-1 проводять через кожні 250 год. роботи КПП: перевіряється рівень мастила в картері.

ТО-2 проводять через кожні 1000 год. роботи КПП:

- виконують усі операції 1-го ТО;
- змащують вал вилки вимикання зчеплення через 2 прес-маслянки, зробивши шприцом по два ходи;

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– перевіряють і за необхідності регулюють задню опору КПП.

Додатково через 1-е ТО-2:

– замінюють мастило у КПП з промиванням сітки, картера, та магніту;

– за відсутності регламентованої системи ТО заміна мастила проводиться залежно від умов експлуатації за такою схемою:

– авто з річним пробігом 80 000 км і > – через 50 000 км;

– авто з річним пробігом < 80 000 км і за важких умов експлуатації (гориста або спекотно-пустельна місцевість, ґрунтова дорога тощо) – через 30 000-40 000 км.

– проводять очищення і змащування робочої поверхні циліндра і поршня перемикання демультиплікатора.

### 1.5 Можливі несправності КПП ЯМЗ-2381

Можливі несправності КПП і методи їх усунення наведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Можливі несправності КПП і методи їх усунення

Можливі несправності	Методи усунення
<b>Ускладнене вмикання передач</b>	
неповне вимкнення зчеплення (зчеплення "веде")  зношування або пошкодження синхронізатора, пошкоджені зубці зубчастих муфт	відрегулювати вільний хід педалі якщо дефект є наслідком несправності деталей зчеплення, замінити їх  замінити несправний синхронізатор, замінити пошкоджені шестерні
<b>Підвищений шум під час роботи КПП</b>	
недостатньо мастила в КПП	залити мастило до рівня контрольного отвору

зношування підшипників валів КПП підвищене зношування або скол зубів	замінити пошкоджені підшипники замінити зношені шестерні
<b>Мимовільне вимкнення передач під час руху авто</b>	
нерівномірне зношування зубчастих муфт несправності штоків і вилок механізму перемикання передач підвищене зношування підшипників КПП	замінити несправні шестерні  замінити несправні шестерні  замінити несправні підшипники
<b>Мимовільне вимикання передач у демультиплікаторі</b>	
несправність розподільника повітря зношування підшипників вилки перемикання діапазонів	замінити розподільника повітря замінити зношені шестерні, відрегулювати положення штока циліндра демультиплікатора
<b>Неввімкнення або уповільнене ввімкнення передач у демультиплікаторі за нейтрального положення важеля в основній коробці. Лампа сигналізації довго не гасне, повітря виходить через сапун розподільника повітря</b>	
зношування або втрата еластичності кілець ущільнювачів штока циліндра перемикання демультиплікатора	замінити пошкоджені кільця
<b>Пропускання повітря через сапун розподільника повітря за увімкненої передачі в основній КПП</b>	
несправність розподільника повітря	замінити розподільника повітря

## 2 Призначення і термічна обробка шестерні заднього ходу КПП ЯМЗ-2381

Шестерня служить для увімкнення заднього ходу. Вона встановлюється на вторинному валу евольвентними шліцями, якими передається крутний момент із шестерні на вал і забезпечується її осьове переміщення.

При переміщенні вперед її зуби входять у зачеплення з проміжним валом – таким чином вмикається 1-а передача. Під час переміщення назад відбувається зачеплення зубів шестерні з блоком проміжних шестерень, забезпечуючи цим самим увімкнення заднього ходу (щоб ввести зубці у зачеплення, вони мають спеціальну заправку торців). Шестерню переміщують по валу вилкою, яка входить лапками у паз на маточині шестерні.

Щоб забезпечити рівномірне навантаження на обидві лапки вилки, допустиме биття стінок і дна паза обмежене щодо посадкового  $\varnothing$  шліцьового отвору. Заготовка шестерні – поковка зі сталі марки 20X2H2M [6] з термообробкою у вигляді цементації та гартування, що забезпечує необхідну міцність на вигин зубів шестерень і шліцьового з'єднання.

Сталь 20X2H2M – легована цементована конструкційна сталь, яку застосовують для виготовлення різних деталей машин [7]. Склад сталі: 0,20% С; 2% Cr ;2% Ni; до 1% Мо. Сталь якісна,  $S \leq 0,035\%$ ;  $P \leq 0,035\%$ . Деталі з легованих цементованих сталей повинні мати в'язку, досить міцну і пластичну серцевину, а поверхневі шари повинні бути твердими і зносостійкими. Зазвичай з цієї сталі виготовляють деталі, для яких важлива хороша прожарюваність – відповідальні шестерні, ролики, вали, поршневі пальці. Сталь поставляють у відпаленому стані поковками. Шестерня механічно обробляється повністю, з невеликими (0,05-0,10 мм) припусками на шліфування. За заданої товщини стінки шестерні 40 мм і вмісту у ній  $C > 0,17\%$  рекомендують глибину цементованого шару (4-5)% від найменшої товщини шестерні, тобто (1,60-2,00) мм. У цю величину цементованого шару включається суму заевтектоїдної, евтектоїдної і половина перехідної (доевтектоїдної) зон.

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Насичення С виконують сумішшю вуглеводнів – піробензолу і синтину – у безмуфельній шахтній печі [9-16] до концентрації С у цементованому шарі (0,80-0,90)%.

Безмуфельні шахтні печі виготовляють для газової цементації при  $t = (1050-1100) \text{ } ^\circ\text{C}$  серії С1ПЦ. Цей процес підвищує продуктивність цементації деталей. Застосування безмуфельних шахтних печей має наступні переваги:

- відпадає необхідність у дорогих і вимагаючих періодичної заміни жаротривких муфельів;
- знижуються габаритні розміри і вага печей;
- зменшується питома витрата електроенергії;
- зростає продуктивність.

Негативні сторони – підвищена витрата жаростійких пристосувань і ріст зерна у сталі.

Нагрівачі стрічкового типу розміром встановлені у печі вертикально ребром до стінки печі. Щоб підвищити продуктивність безмуфельної печі, для швидкої циркуляції газу-карбюратора встановлюють збоку печі вентилятор, яким перемішується атмосфера печі і газ.

Для цементації будемо використовувати піробензол (рідка суміш бензолу та його гомологів) і синтин (синтетичний бензин, який отримують з оксиду вуглецю та водню; отримується шляхом каталітичної реакції синтезу з окислу С і  $\text{H}_2$ ): для цементації має велике значення сажоутворююча здатність її атмосфери (це газ, які містять вуглець), так як при появі сажі на шестернях утруднюється цементація, а накопичення сажі у робочому просторі печі зменшує опір нагрівачів. Суміш піробензолу і синтину має дуже малий показник сажоутворення.

Для нормальної роботи печі необхідно мати щільне зварювання кожуха (забезпечує повну герметичність) і непроникні для газів затвори. Шахтна безмуфельна піч для газової цементації типу СШЦ-9.6/10, яка використовується у даному дослідженні, представлена на рис. 2.1.

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



по 3-х стояках, а відбирання відпрацьованого газу проводиться знизу. Частина відпрацьованого газу виводиться через кришку печі і спалюється.

Найрівномірніша цементация виходить при 70-кратному обміні за годину. Випробування печей показало, що цементуючі гази руйнують хромель-алюмелеві термопари, навіть якщо вони знаходяться у захисних металевих і керамічних чохлах. В якості чохлів кращі результати показали трубки із сплаву 0X27Ю5, покриті жаростійкою емаллю зі сплаву Х23Н18.

Тривалість цементации на глибину шару 1,70 мм при  $t = 940\text{ }^{\circ}\text{C}$  складає 9 год. (упродовж 5-х год. нагрівається садка). Щоб садка після цементации не окислювалося, її поміщають у розташований поряд з піччю бак, через який пропускається відпрацьований газ-карбюратор.

Шахтні безмуфельні печі порівняно з муфельними серії Ц при однаковому завантаженні мають в (2,5-3,0) рази більшу продуктивність, у (2,0-2,5) раз меншу питома витрату електроенергії, у (2-3) рази скорочений цикл цементации. І ще – перевага печей СШЦ полягає у:

- скороченні потреби жаротривких матеріалів у 2 рази;
- відсутності реторти, що забезпечує швидке підігрівання садки;
- циркуляції цементуючого газу, що дає можливість отримувати рівномірнішу глибину цементованого шару на шестернях.

Шахтні безмуфельні печі для газової цементации типу СШЦ вимагають ретельної підготовки і дотримання режиму обробки:

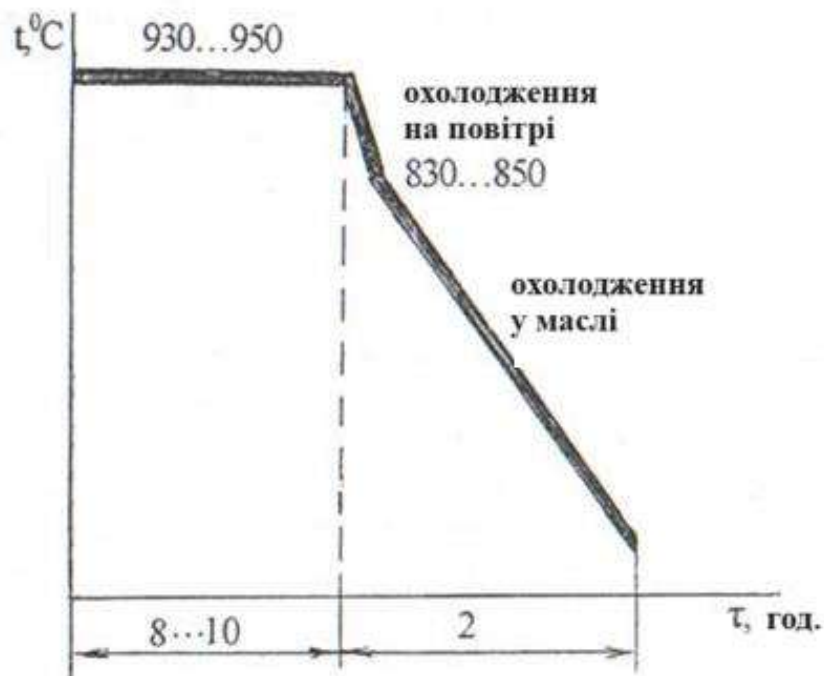
- розвантаження деталей проводять після відведення кришки;
- увесь газ виходить з робочого простору печі і, перш ніж приступити до обробки наступної партії деталей, має бути підготовлений газовий режим.

Легувальні елементи, присутні у сталі, впливають на швидкість дифузії. Сг зменшує коефіцієнт дифузії С в аустеніті, а Ni – збільшує. Вища  $t$  цементации, яка переводить аустеніт у стійкий стан з великим вмістом С, сприятиме прискоренню дифузійного процесу насичення поверхневих шарів атомами С. Тому приймається швидкість науглецьовування 0,3 мм/год. Тоді тривалість науглецьовування

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шестерні від моменту досягнення  $t$  цементації до отримання потрібного шару становитиме 9 год..

Після цементації скористаємося однією із її основних переваг – можливістю використання тепла цементації для подальшого гартування (рис. 2.2).



**Рисунок 2.2 – Графік технології газової цементації та гартування шестерні зі сталі 20X2H2M**

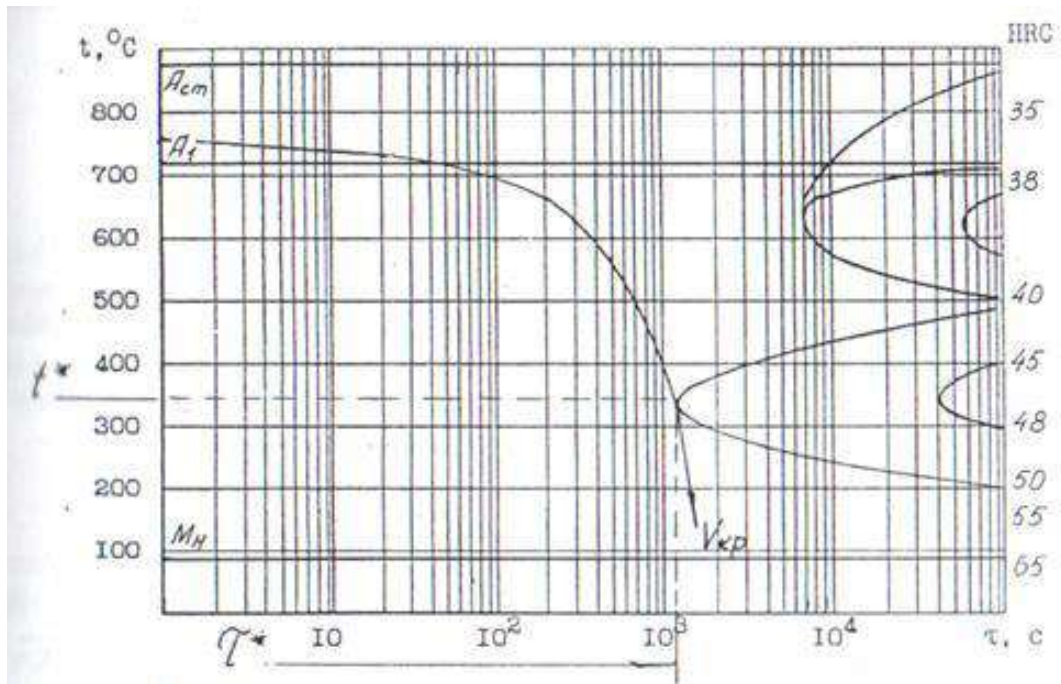
Після підстужування і витримки для вирівнювання  $t$  за перерізом шестерні до  $t$  гартування нецементованої сталі 20X2H2M:

$$t_{\text{гарт}} = A_{c3} + (20-30) \text{ } ^\circ\text{C} = 820 + (10-30) \text{ } ^\circ\text{C} = (830-850) \text{ } ^\circ\text{C},$$

шестерню охолоджуємо у маслі МЗМ-26. При цьому швидкість охолодження буде вищою за критичну, оскільки для цієї сталі за даними діаграми розпаду аустеніту (рис. 2.3):

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{кр1} = \frac{t_N - t^*}{\tau^*} = \frac{850 - 430}{18} = 23,3 \text{ м/с.}$$



**Рисунок 2.3 – Діаграма ізотермічного розпаду аустеніту сталі 20Х2Н2М (після цементації)**

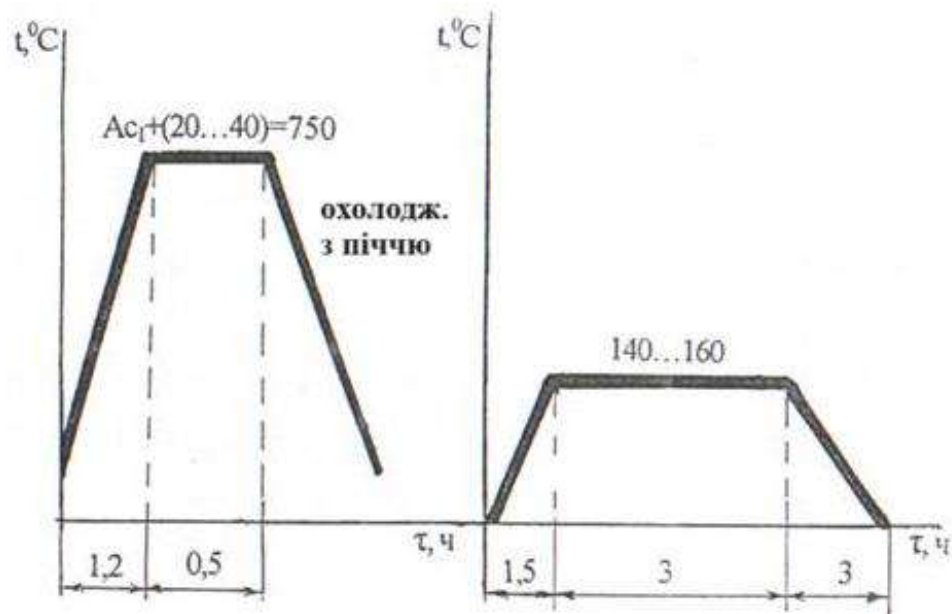
Після 1-го такого гартування серцевинні шари шестерні отримують структуру маловуглецевого мартенситу; він забезпечує високу міцність і достатню в'язкість серцевини після подальшого відпуску. Але для отримання високої твердості цементованого шару при усуненні карбідної сітки у поверхневих перенасичених С шарах, необхідно виконати 2-ге гартування після цементації та низькотемпературного відпуску.

Критична швидкість гартування поверхневих цементованих шарів шестерні після цементації (див. рис. 2.3):

$$V_{кр2} = \frac{(Ac_1 + 30^0 C) - t^*}{\tau^*} = \frac{750 - 340}{1300} = 0,3 \text{ м/с.}$$

Приймаємо середовище охолодження – разом із піччю. Ця операція термічної обробки є основною зміцнювальною. Температура нагрівання має бути, як для заевтектоїдних сталей, вищою за  $A_{c1}$ , але нижчою за  $A_{c3}$ , щоб не усі карбіди розчинилися в аустеніті. Після охолодження під час гартування вони забезпечать високу твердість і зносостійкість поверхні деталі.

Отже, критична швидкість  $V_{кр2}$  дуже мала завдяки легуючим елементам Cr, Ni і Mo, які підвищують стійкість переохолодженого аустеніту (див. рис. 2.3). Тому шестерню можна охолоджувати повільно, що унеможливить її деформацію і викривлення (рис. 2.4).



**Рисунок 2.4 – Графік технології гартування (поверхневих шарів) шестерні з цементованої сталі 20X2H2M і низькотемпературного відпуску**

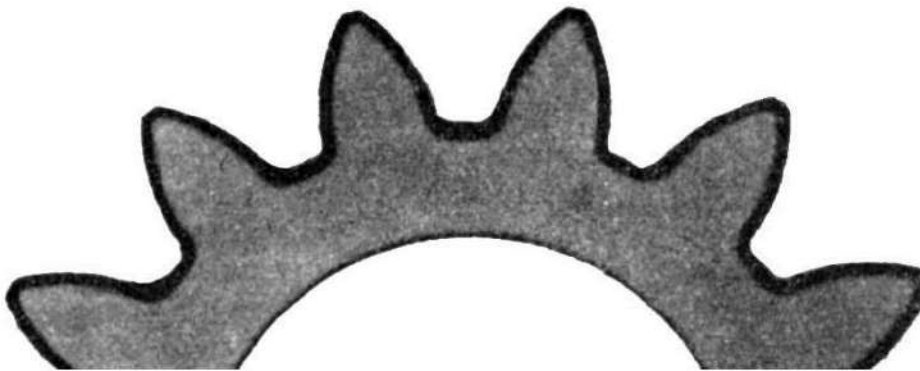
Після виконання 2-го гартування і низькотемпературного відпуску у поверхневих шарах буде структура відпущеного мартенситу з дрібними зернами карбідів. У серцевинних шарах – структура відпущеного низьковуглецевого мартенситу (рис. 2.5, а і б). Твердість поверхневих шарів (60-62) HRC, а серцевини – (25-35) HRC.

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



**Рисунок 2.5 – Структура відпущених мартенситу (а) і низьковуглецевого мартенситу (б)**

Переріз шестерні зі сталі 20Х2Н2М після цементації наведено на рис. 2.6.



**Рисунок 2.6 – Переріз шестерні зі сталі 20Х2Н2М після цементації, x5 [8].**

### 3 Розробка ТП виготовлення шестерні заднього ходу КПП ЯМЗ-2381

Річна програма випуску шестерень:  $N = 45\ 500$  шт. Кількість деталей на виріб  $m = 1$  шт. Режим роботи підприємства – 2 зміни. Дійсний річний фонд часу роботи обладнання  $F_d = 4065,0$  год. Такт випуску – інтервал часу, через який періодично здійснюється випуск виробів одного найменування, типорозміру і виконання:

$$t_b = (60 * F_d) / N, \quad (3.1)$$

де  $F_d$  – дійсний річний фонд часу роботи 1-ці обладнання;

$N$  – річна програма випуску деталей, шт.

Тому:

$$t_b = (60 * 4065,0) / 45\ 500 = 5,35 \text{ шт.}$$

Тип виробництва залежить від 2-х чинників: заданої програми і трудомісткості виготовлення шестерні, яка визначається штучним часом ТП. Відношення цих величин – коефіцієнт серійності:

$$K_c = t_b / T_{шт}. \quad (3.2)$$

$T_{шт}$  – штучний середній час, хв.

Тому:

$$T_{шт} = 1,0 + 1,1 + 0,75 + 1,12 + 0,32 + 0,458 + 1,0 + 0,1 + 9,5 + 3,64 + 3,47 + 0,60 + 0,50 + 1,45 + 1,48 + 1,9 / 15,0 = 1,78 \text{ хв.}$$

$$K_c = 5,35 / 1,78 = 3,01.$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тип виробництва – великосерійний, оскільки для нього  $K_c = (2-10)$ . К-ть деталей у партії для одночасного запуску:

$$n = N * a / 252, \quad (3.3)$$

де  $a = 2$  дні – періодичність запуску у днях;

252 – кількість робочих днів у році.

Тоді:

$$n = 45\,500 * 2 / 252 = 357,20 \text{ шт.}$$

Розрахункове число змін на обробку усієї партії шестерень на основних робочих місцях:

$$c = T_{шт} * n / 476 * 0,80, \quad (3.4)$$

де  $T_{шт}$  – середній штучний час;

476 – дійсний фонд часу роботи обладнання за зміну, хв.;

0,80 – нормативний коефіцієнт завантаження верстатів;

$$c = 1,77 * 357,10 / (476 * 0,80) = 1,66.$$

приймаємо число змін  $c = 2,0$ .

Тоді число шестерень у партії, необхідних для завантаження обладнання на основних операціях протягом цілого числа змін:

$$n_{сер.} = 476 * 0,80 * c / T_{шт}. \quad (3.5)$$

$$n_{сер.} = 476 * 0,80 * 2,0 / 1,77 = 430,30 \text{ шт.}$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.1 Аналіз базового ТП виготовлення шестерні

Проведемо аналіз наявного ТП виготовлення шестерні, відзначимо його переваги і недоліки і внесемо пропозиції для удосконалення.

На перших 2-х операціях використовуються 8-ми шпindelьні напівавтомати 1К283. Їх застосування призводить до скорочення обладнання на 1-х чорнових операціях і скорочення часу на обробку.

Отвір і торці обробляють закріпленою заготовкою. Цим забезпечується точність їхнього взаємного розташування та зменшення припусків на обробку. Оскільки на наступних операціях базування здійснюють за торцем й отвором, то це підвищує точність виготовлення шестерні. Використання на наступних операціях багаторазових напівавтоматів так само скорочує трудомісткість виготовлення шестерні.

Обробку шліца в отворі здійснюють на горизонтально-протяжному верстаті моделі 7555. Протягування – найпродуктивніший метод обробки, а застосування дорогого інструменту в умовах масового виробництва виправдовує себе.

Зубофрезерування проводять на зубофрезерному верстаті моделі 5К32А. Базування – за внутрішнім  $\varnothing$  шліцьового отвору і торцем. На верстат одночасно встановлюються 2 заготовки. Зубофрезерування порівняно з іншими операціями охоплює найбільший обсяг за часом обробки. Цей недолік компенсується установкою великої к-ті додаткових верстатів. Тому, щоб зменшити їхню кількість, встановлюємо верстати з автоматичним завантажувальним пристроєм. Це скорочує штучний час на обробку, так як час на встановлення, зняття, закріплення шестірень перекриватиметься машинним часом.

При зубонарізанні на торцях зубів зубчастих коліс формуються гострі кромки і задирки, що погіршує якість зачеплення. При цьому знижується термін служби коліс унаслідок відколу гострих кромки зубів. Тому після зубофрезерування використовують зубозаокруглення. А щоб підвищити точність зубчастого зачеплення, зменшити параметр шорсткості на профілях зубів, знизити

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівень шуму тощо застосовують зубошевінгування. Це найекономічніший метод чистової обробки незагартованих зубів.

Після термічної обробки шестерні внаслідок викривлення розміри отвору порушуються. Тому шліфують внутрішній  $\varnothing$  шліца, базуючи шестерню за торцем і ділильним  $\varnothing$  зубів.

Для чистової обробки зубів загартованих коліс застосовується зубохонінгування. Але перед цим зубчасті колеса, які мають задири і забоїни, обкочують. Тому після термічної обробки проводять зубообкочування шестерень.

У результаті аналізу ТП виготовлення шестерні робимо висновок, що загалом процес технологічний. Більшість операцій виконують на напівавтоматичному устаткуванні. Це дозволяє застосовувати багатостатне обслуговування з робітниками нижчої кваліфікації. Тому замінюємо зубофрезерувальні верстаті 5K32A на зубофрезерувальні напівавтомати ВСБ12-1165А, конструктивною відмінністю яких є 6-позиційний завантажувальний пристрій. Це скорочує штучний час на обробку, парк верстатів і число виробничих робітників.

Крім цього, використаємо при зубофрезеруванні черв'ячні фрези з прогресивною схемою різання, Це підвищить стійкість інструменту, знизить силу різання і підвищить продуктивність праці в (1,7-2,0) рази, так як подачу можна збільшити у (1,5-2,0) рази порівняно з подачами, які допускають нормальні фрези.

### 3.2 Вибір вихідної заготовки шестерні та метод її отримання

При крупносерійному виробництва тип заготовки повинен забезпечувати міні припуски на подальшу механічну обробку, щоб забезпечити одержання на готовій шестерні потрібної точності поверхонь, їхньої форми та взаємного розташування. При мінімальних коливаннях припусків на перших чорнових операціях використовують високопродуктивні автомати і напівавтомати з багатоінструментальним налагодженням. Цим скорочуються витрати матеріалів і трудомісткість обробки.

Розглянемо 2 види отримання заготовки:

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- штампуванням на пресах у закритих штампах;
- штампуванням на молотах.

Отримання заготовки на пресі, порівняно зі штампуванням на молотах, у (2-3) рази продуктивніший: припуски і допуски зменшуються на (20-30 %), тому витрата металу знижується на (10-20) %.

Коефіцієнт використання металу при виготовленні заготовки шестерні на пресі:

$$K_e = \frac{M}{M_m} \quad (3.6)$$

де  $M$  – маса готової шестерні, кг;

$M_m$  – маса матеріалу, витраченого на виготовлення шестерні, кг.

$$K_e = \frac{8,124}{11,650} = 0,70.$$

Шорсткість заготовки – Rz 85. Разом з обрізанням облою прошивають отвір шестерні, тому не потрібно обробляти отвір на свердлильному верстаті.

Коефіцієнт використання металу при виготовленні заготовки шестерні на молотах:

$$K_e = \frac{8,124}{12,850} = 0,63.$$

Шорсткість заготовки – Rz 250. При порівнянні цих 2-х методів, вибираємо виготовлення заготовки шестерні штампуванням на пресах у закритих штампах, що знизить шорсткість шестерні, зекономить метал і знизить витрати на механічну обробку. Тому заготовку отримуємо наступним чином:

- різання заготовки прес-ножицями;
- нагрів у методичних печах до  $t = (1200 \pm 50)^\circ\text{C}$ ;

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- осадка в торець на висоту 60,0 мм (штамбування здійснюється на пресах);
- обрізка облою з одночасною правкою і прошивкою отвору;
- контроль ВТК відповідно до креслення поковки;
- термообробка - нормалізація;
- очищення від окалини дробом у дробометальних барабанах (завантаження у барабан – 30 шт., час очищення – 20 хв.);
- контроль ВТК остаточний.

Вимоги до заготовки:

- допускаються зовнішні дефекти на оброблюваних поверхнях, глибина яких не > 50% фактичного одностороннього припуску, а на необроблюваних поверхнях – не > 1,5 мм;
- зміщення по лінії роз'єму штампа не > 1,20 мм/

### 3.3 Розробка технологічного маршруту обробки шестерні

#### 3.3.1 Вибір баз обробки шестерні

За технологічну базу для шестерні приймаємо необроблену поверхню торця, оскільки ця поверхня має міні припуски. Під час вибору баз для подальшої обробки за технологічні та вимірювальні бази приймаємо поверхні центрального отвору, відносно якого обробляються інші поверхні. Таким чином, зберігається принцип єдності баз: технологічної, конструкторської та вимірювальної. Тому знижується похибка обробки, підвищується точність замикаючої ланки. Основні положення маршруту обробки шестерні: основні базові поверхні обробки є внутрішні поверхні і торець шестерні. Але під час установа загальної послідовності обробки будемо враховувати:

- кожна наступна операція повинна зменшувати похибки і покращувати якість поверхні;
- насамперед обробляють поверхні, які слугуватимуть базою для подальших операцій;

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- потім обробляють поверхні, з яких знімається тах шар матеріалу, що своєчасно виявляє можливі внутрішні дефекти заготовки шестерні;
- обробка інших поверхонь ведеться у послідовності, зворотній ступеню їхньої точності: що точнішою має бути поверхня, то пізніше вона обробляється;
- закінчують обробку тією поверхнею, яка є найточнішою і має тах значення для експлуатації шестерні; якщо її обробили раніше, може виникнути необхідність її повторної обробки;
- не рекомендують поєднання чорнової та чистової обробок 1-м і тим самим інструментом на 1-му і тому ж верстаті;
- якщо шестерня піддається термічній обробці під час ТО, то механічну обробку ділять на 2 частини: до термічної обробки і після неї;
- технічний контроль планують після тих етапів обробки, де ймовірна підвищена кількість браку (перед складними і дорогими операціями, після закінченого циклу обробки, наприкінці обробки шестерні).

### 3.3.2 Вибір методів обробки шестерні

Вибір методів обробки залежить від конструкції та конфігурації шестерні, її розмірів, якості оброблюваних поверхонь, точності, видів прийнятої заготовки. Тому висновок щодо вибору методів і конкретних видів обробки вирішується на основі робочого креслення шестерні (рис. А2).

Наводимо послідовність механічної обробки:

- транспортування заготовки шестерні зі складу;
- спеціальна токарна;
- спеціальна токарна;
- маркування;
- токарна;
- токарна;
- фрезерна;
- горизонтально-протяжна;

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- шліцефасочна;
- пресова;
- зубофрезерна;
- зубозаокруглювальна;
- зубошевінгувальна;
- зубоконтрольна;
- контроль операційний.

Послідовність механічної обробки для загартованої шестерні:

- зубообкатна;
- внутрішньошліфувальна;
- круглошліфувальна;
- зубохонінгувальна;
- контроль приймальний.

### 3.3.3 Розрахунок припусків і міжперехідних розмірів шестерні

Розраховуємо припуски на механічну обробку шестерні на  $\varnothing$  отвору і на поверхню одного торця (використовуємо розрахунково-аналітичний метод). Розраховуємо припуски і міжперехідні розміри на обробку поверхні отвору. Обробку проводимо за 4 переходи:

- розточування чорнове;
- розточування чистове;
- розточування тонке;
- шліфування чистове.

Сумарне просторове відхилення заготовки шестерні складається зі зміщення частин штампів [17-20], які формують заготовку по обидва боки роз'єму, викривлення та похибки центрування:

$$\rho_u = 0,25 * T_d = 0,25 * 3500,0 = 880,0 \text{ мкм} \quad (3.7)$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Невизначеність положення у просторі векторів похибок визначає сумарне просторове відхилення геометричним складанням:

$$\rho = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{см}^2 + \rho_{ц}^2} \quad (3.8)$$

$$\rho = \sqrt{147^2 + 900^2 + 800^2} = 1267,0 \text{ мкм}$$

Залишкові просторові відхилення:

$$\rho_{зал} = K_y * \rho_{заг}, \quad (3.9)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення.

$$\rho_{черн} = 0,06 * 1267 = 76,0 \text{ мкм};$$

$$\rho_{черн} = 0,05 * 1267 = 63,0 \text{ мкм};$$

$$\rho_{черн} = 0,04 * 1267 = 51,0 \text{ мкм}.$$

Похибка установки під час чорнового точіння:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_B^2 + \varepsilon_3^2} \quad (3.10)$$

де  $\varepsilon_B$  – похибка базування ( $\varepsilon_B = 0$ , оскільки технологічна база збігається з вимірювальною);

$\varepsilon_3$  – похибка закріплення ( $\varepsilon_3 = 110$  мкм) [17-20].

$$\varepsilon_{y1} = \sqrt{110^2 + 0^2} = 110 \text{ мкм}.$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Залишкова похибка установки при чистовому розточуванні [17-20]:

$\varepsilon_{y2} = 0$ , оскільки чорнове і чистове розточування проводиться в одній установці.

Залишкова похибка установки під час тонкого точіння:

$$\varepsilon_{y3} = 0,04 * 110 = 4,0 \text{ мкм.}$$

Залишкова похибка установки при чистовому шліфуванні:

$$\varepsilon_{y4} = 0,02 * 110 = 2,0 \text{ мкм.}$$

Мінімальні значення припусків:

$$2Zi \text{ min} = 2 * (Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{ycti}^2}) \quad (3.11)$$

де  $Rz_{i-1}$  – величина нерівностей, отримана на попередньому переході;

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

$\rho_{i-1}$  – сумарне просторове відхилення оброблюваних поверхонь щодо вихідних базових поверхонь;

$\varepsilon_{ycti}$  – похибка установки на виконуваному переході.

Для поковок, які виготовляють штампуванням під час дробоструминної обробки, незалежно від маси поковки приймають:  $Rz = 150,0$  мкм,  $T = 250,0$  мкм [17-20].

Розточування чорнове:

$$2Zi \text{ min} = 2 * (150,0 + 250,0 + \sqrt{1267^2 + 110^2}) = 2 * 1672,0 \text{ мкм.}$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розточування чистове:

$$2Zi_{min} = 2 * (80,0 + 50,0 + \sqrt{76^2 + 0^2}) = 2 * 206,0 \text{ мкм.}$$

Розточування тонке:

$$2Zi_{min} = 2 * (40,0 + 25,0 + \sqrt{63^2 + 4^2}) = 2 * 128,0 \text{ мкм.}$$

Шліфування чистове:

$$2Zi_{min} = 2 * (20,0 + 10,0 + \sqrt{51^2 + 2^2}) = 2 * 81,0 \text{ мкм.}$$

### 3.3.4 Розрахунок розмірів заготовки шестерні за переходами

Розрахункові розміри max:

$$d_{max_4} = 81,735 \text{ мм.}$$

$$d_{max_3} = d_{max_4} - 2Zi_{min_4} = 81,735 - 2 \cdot 0,081 = 81,573 \text{ мм.} \quad (3.12)$$

$$d_{max_2} = d_{max_3} - 2Zi_{min_3} = 81,573 - 2 \cdot 0,128 = 81,317 \text{ мм.}$$

$$d_{max_1} = d_{max_2} - 2Zi_{min_2} = 81,317 - 2 \cdot 0,206 = 80,905 \text{ мм.}$$

$$d_{max_3} = d_{max_1} - 2Zi_{min_1} = 80,905 - 2 \cdot 1,672 = 77,561 \text{ мм.}$$

Граничні розміри min:

$$d_{min} = d_{max} - \delta. \quad (3.13)$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d \min_4 = 81,735 - 0,035 = 81,7 \text{ мм.}$$

$$d \min_3 = 81,573 - 0,035 = 81,54 \text{ мм.}$$

$$d \min_2 = 81,32 - 0,2 = 81,12 \text{ мм.}$$

$$d \min_1 = 80,91 - 0,4 = 80,51 \text{ мм.}$$

$$d \min_3 = 77,56 - 3,0 = 47,56 \text{ мм.}$$

Граничні розміри припусків:

$$2Zi \min^{IP} = d \max_1 - d \max_{i-1}. \quad (3.14)$$

$$2Zi \min_1^{IP} = 80,91 - 77,56 = 3,35 \text{ мм.}$$

$$2Zi \min_2^{IP} = 81,32 - 80,91 = 0,41 \text{ мм.}$$

$$2Zi \min_3^{IP} = 81,57 - 81,32 = 0,25 \text{ мм.}$$

$$2Zi \min_4^{IP} = 81,74 - 81,57 = 0,17 \text{ мм.}$$

$$2Zi \max^{IP} = d \min_1 - d \min_{i-1}. \quad (3.15)$$

$$2Zi \max_1^{IP} = 80,51 - 74,56 = 5,95 \text{ мм.}$$

$$2Zi \max_2^{IP} = 81,12 - 80,51 = 0,61 \text{ мм.}$$

$$2Zi \max_3^{IP} = 81,54 - 81,12 = 0,42 \text{ мм.}$$

$$2Zi \max_4^{IP} = 81,7 - 81,54 = 0,16 \text{ мм.}$$

Загальні припуски:

$$2Z_o \min = \sum_4^1 2Z \min_1. \quad (3.16)$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$2Z_o \min = 3,35 + 0,41 + 0,25 + 0,17 = 4,18$$

$$2Z_o \max = \sum_4^1 2Z \max_1 \quad (3.17)$$

$$2Z_o \min = 5,95 + 0,61 + 0,42 + 0,16 = 7,14$$

Загальний номінальний припуск і номінальний  $\varnothing$  отворів заготовки шестерні:

$$2Z_{o,ном} = 2Z_o \min + B_{заг} - B_d, \quad (3.18)$$

де  $B_{заг} = 1,1$  мм – верхнє відхилення розміру заготовки шестерні;

$B_d = 0,035$  мм – верхнє відхилення розміру шестерні.

$$2Z_{o,ном} = 4,18 + 1,1 - 0,035 = 5,245 \quad \text{мм.}$$

$$d_{ном.заг} = d_{ном.д} - Z_{o,ном}, \quad (3.19)$$

де  $d_{ном.д} = 81,7$  мм – номінальний  $\varnothing$  шестерні.

$$d_{ном.заг} = 81,7 - 5,245 = 76,46 \quad \text{мм.}$$

Перевірка:

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_o \max - Z_o \min = T_{3AG} - T_d, \quad (3.20)$$

Так як  $7,14 - 4,18 = 3,0 - 0,035$ , то умова виконана.

Результати розрахунків зведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок припусків і граничних розмірів на обробку отвору  $\varnothing 81,7^{+0,03}$  шестерні

Маршрут обробки	Елементи припуску, мкм				Розрахункові величини, мкм		Допуск, мкм	Розміри заготовок за переходами, мм		Граничний припуск, мкм		
	$R_z$	T	$\rho$	$\varepsilon$	Zi	max Ш, мм		min	max	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$	
Штапування	150,0	250,0	1267,0	–	–	77,560	3000,0	74,560	77,560	–	–	
Розточування чорнове	80,0	50,0	76,0	110,0	1672,0	80,910	400,0	80,510	80,910	595,0	335,0	
Розточування чистове	40,0	25,0	63,0	–	206,0	81,320	200,0	81,120	81,320	61,0	41,0	
Розточування тонке	20,0	10,0	51,0	–	128,0	81,570	35,0	81,540	81,570	42,0	25,0	
Шліфування чистове	5,0	–	–	2,0	81,0	81,735	35,0	81,700	81,735	16,0	16,0	
$\sum Z_o$											714,0	418,0

Проводимо розрахунок припусків і міжперехідних розмірів для обробки поверхні торця шестерні  $53_{-0,2}$  (точіння чорнове, чистове і тонке).

Сумарне просторове відхилення заготовки шестерні:

$$\rho_{\Sigma \text{заг}} = \rho_{\text{випр.}} \quad (3.21)$$

де  $\rho_{\text{випр.}}$  – викривлення поверхні заготовки шестерні.

$$\rho_{\text{випр.}} = \rho_K * D \quad (3.22)$$

де  $\rho_K$  – питома кривизна заготовки  $\rho_K = 1,5$  мкм/мм;

$D$  – діаметр торця (120,0 мм).

$$\rho_{\text{випр.}} = 1,5 * 120,0 = 180,0 \text{ мкм.}$$

Просторові відхилення залишкові:

$$\Delta \varepsilon_i = K_y * \Delta \Sigma_i, \quad (3.23)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення.

Чорнове точіння:

$$\Delta \varepsilon_1 = 0,06 * 180,0 = 10,80 \text{ мкм.}$$

Чистове точіння:

$$\Delta \varepsilon_2 = 0,05 * 180,0 = 9,0 \text{ мкм.}$$

Тонке точіння:

$$\Delta \varepsilon_3 = 0,04 * 180,0 = 7,20 \text{ мкм.}$$

Похибка установки при чорновому точінні:

$$\varepsilon_{y1} = \sqrt{\varepsilon_B^2 + \varepsilon_3^2} \quad (3.24)$$

де  $\varepsilon_B = 0$  – похибка базування (технологічна база збігається з вимірювальною);

$\varepsilon_3 = 500$  – похибка закріплення, мкм.

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varepsilon_{y1} = \varepsilon_3 = 500 \text{ мкм}$$

Залишкова похибка установки при чистовому точінні  $\varepsilon_{y2} = 0$ , оскільки чорнове і чистове точіння здійснюють за одну установку.

Залишкова похибка установки при тонкому точінні:

$$\varepsilon_{y3} = K_y * \varepsilon_{y1} \quad (3.25)$$

$$\varepsilon_{y3} = 0,04 * 500 = 20,0 \text{ мкм.}$$

Мінімальні значення припусків:

$$Z_{\min i} = Rz_i + T_{i-1} + \Delta_{\sum i-1} + \varepsilon_i \quad (3.26)$$

Чорнове точіння:

$$Z_{\min 1} = 150,0 + 250,0 + 180,0 + 500,0 = 1080,0 \text{ мкм.}$$

Чистове точіння:

$$Z_{\min 2} = 80,0 + 50,0 + 9,0 = 139,0 \text{ мкм.}$$

Тонке точіння:

$$Z_{\min 3} = 40,0 + 25,0 + 7,2,0 = 72,2,0 \text{ мкм.}$$

Розрахункові розміри min:

$$H_{\min 3} = 52,80 \text{ мм.}$$

$$H_{\min 2} = H_{\min 3} + Z_{\min 3} = 52,80 + 0,072 = 52,870 \text{ мм.}$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_{min1} = H_{min2} + Z_{min2} = 52,870 + 0,139 = 53,010 \text{ мм.}$$

$$H_{min заг.} = H_{min1} + Z_{min1} = 53,010 + 1,080 = 54,090 \text{ мм.}$$

Граничні розміри max:

$$H_{max} = H_{min} + \delta \quad (3.27)$$

$$H_{max3} = 52,8 + 0,20 = 53,0 \text{ мм,}$$

$$H_{max2} = 52,87 + 0,20 = 53,07 \text{ мм,}$$

$$H_{max1} = 53,01 + 0,90 = 53,91 \text{ мм,}$$

$$H_{max заг.} = 54,09 + 3,00 = 57,09 \text{ мм.}$$

Граничні розмір припусків:

$$Z_{maxi}^{np} = H_{maxi-1} - H_{maxi}; \quad Z_{mini}^{np} = H_{mini-1} - H_{mini} \quad (3.28)$$

$$Z_{max1}^{np} = 57,09 - 53,81 = 3,18 \text{ мм,}$$

$$Z_{max2}^{np} = 53,81 - 53,07 = 0,74 \text{ мм,}$$

$$Z_{max3}^{np} = 53,07 - 53 = 0,7 \text{ мм,}$$

$$Z_{min1}^{np} = 54,09 - 53,01 = 1,18 \text{ мм,}$$

$$Z_{min2}^{np} = 53,01 - 52,87 = 0,14 \text{ мм,}$$

$$Z_{min3}^{np} = 52,87 - 52,8 = 0,07 \text{ мм.}$$

Загальні припуски:

$$Z_{0min} = \sum_1^3 Z_{min} = 1,08 + 0,14 + 0,07 = 1,39 \text{ мм}$$

$$Z_{0max} = \sum_1^3 Z_{max} = 3,18 + 0,74 + 0,7 = 4,19 \text{ мм}$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номінальний припуск і розмір заготовки шестерні загальний:

$$Z_{0НОМ.} = Z_{0min} + H_{ЗАГ.} - H_{Д} \quad (3.29)$$

де  $H_{ЗАГ.} = 1,1$  – відхилення розміру заготовки нижнє, мм;

$H_{Д} = 0,2$  – відхилення розміру шестерні нижнє, мм.

$$Z_{0НОМ.} = 1,39 + 1,1 - 0,2 = 2,29 \text{ мм,}$$

$$H_{ном.заг.} = H_{ном.Д} + Z_{0ном.} = 53 + 2,29 = 55,29 \text{ мм.}$$

Перевірка:

$$Z_{0max} - Z_{0min} = T_3 - T_{Д} \quad (3.30)$$

Так як  $4,19 - 1,39 = 3 - 0,2$ , то умова виконана.

Результати розрахунків – табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунки припусків і граничних розмірів на обробку торця  $\varnothing 53_{-0,2}$  шестерні

Маршрут обробки	Елементи припуску, мкм				Розрахункові величини, мкм		Допуск, мкм	Розміри заготовок за переходами, мм		Граничний припуск, мкм		
	$R_z$	T	$\rho$	$\varepsilon$	$Z_i$	max Ш, мм		min	шах	$2Z_{max}$	$2Z_{min}$	
Штапування	150,0	250,0	180,0	–		54,09	3000,0	57,09	54,09	–	–	
Точіння чорнове	80,0	50,0	10,80	500,0	1080,0	53,01	800,0	53,81	53,01	318,0	118,0	
Точіння чистове	40,0	25,0	9,0	–	139,0	52,87	200,0	53,07	52,87	74,0	14,0	
Точіння тонке	20,0	10,0	7,20	20,0	72,20	52,80	200,0	53,0	52,80	7,0	7,0	
$\sum Z_0$									419,0	139,0		

### 3.3.5 Розрахунки режимів різання і норм часу для токарної обробки шестерні

Налагодження 1.

Розточити отвір, витримуючи розмір  $\varnothing 75^{+0,7}$  (рис. А3). Приймається токарний вертикальний восьмишпindelний напівавтомат 1К283. Призначаються режими різання:

– глибина різання (припуск знімається за 1 прохід; отже,  $t = 1,50$  мм, подача  $S = 0,310$  мм/об. [17].

– швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^{m*}t^{x*S^y}} * K_v \quad (3.31)$$

де  $C_v$  і показники ступеня [17];

$$C_v = 315 ;$$

$$x = 0,15 ;$$

$$y = 0,35 ;$$

$$m = 0,2 ;$$

$T = 60$  – стійкість інструменту, хв. [18];

$t$  – глибина різання;

$S$  – подача;

$K_v$  – коефіцієнт швидкості різання:

$$K_v = K_{mv} * K_{nv} * K_{uv}, \quad (3.32)$$

де  $K_{mv}$  – коефіцієнт, яким враховується якість оброблюваного матеріалу.

$$K_{mv} = K_{\Gamma} * \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{nv} \quad (3.33)$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $K_r = 0,8$  – коефіцієнт, який характеризує групу сталі за оброблюваністю, [19];

$nv = 1$  – показник ступені [19];

$\sigma_B = 980$  – межа міцності матеріалу заготовки, МПа;

$$K_{mv} = 0,80 * \left(\frac{750}{980}\right)^1 = 0,60,$$

$K_{nv} = 0,5$  – коефіцієнт, яким враховують стан поверхні заготовки [19];

$K_{iv} = 0,65$  – коефіцієнт, яким враховують матеріал інструменту [19].

Отже:

$$K_v = 0,60 * 0,50 * 0,65 = 0,195.$$

$$V = \frac{315}{60^{0,2} * 1,5^{0,15} * 0,31^{0,35}} * 0,195 = 38,40 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя верстата:

$$n = \frac{10 * v}{\pi * D} = \frac{1000 * 38,40}{3,14 * 75} = 187,0 \text{ об/хв.} \quad (3.34)$$

Дійсна частота обертання (за параметрами верстату):

$$n_D = 188,0 \text{ об/хв.}$$

Дійсна швидкість різання:

$$V_D = \frac{\pi * D * n_D}{1000} = \frac{3,14 * 75,0 * 188,0}{1000} = 38,60 \text{ м/хв.}$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сила різання:

$$P_Z = 10 * C_p * t^x * S^y * V^n * K_p, \quad (3.35)$$

де  $C_p = 300$  – коефіцієнт, яким враховують невраховані раніше умови та показники ступенів  $x, y, n$  [17];

$$x = 1;$$

$$y = 0,75;$$

$$n = 0,15;$$

$K_p$  – загальний поправний коефіцієнт.

$$K_p = K_{mp} * K_{\phi p} * K_{\gamma p} * K_{\lambda p} * K_{rp} \quad (3.36)$$

де  $K_{mp}$  – коефіцієнт, яким враховують матеріал заготовки.

$$K_{mp} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^{0,75} = \left( \frac{980}{750} \right)^{0,75} = 1,2; \quad (3.37)$$

$K_{\phi p}, K_{\gamma p}, K_{\lambda p}, K_{rp}$  – коефіцієнти, якими враховують геометрію інструменту [17].

$$K_{\phi p} = 0,9;$$

$$K_{\gamma p} = 1,1;$$

$$K_{\lambda p} = 1;$$

$$K_{rp} = 1.$$

$$K_p = 1,20 * 0,90 * 1,10 * 1,00 * 1,00 = 1,19.$$

$$P_Z = 10 * 300 * 1,50^1 * 0,31^{0,75} * 38,60^{0,15} * 1,19 = 1286,0 \text{ Н.}$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність різання:

$$N_{PI3} = \frac{P_Z * v_s}{60 * 1020} = \frac{1286 * 38,60}{60 * 1020} = 0,810 \text{ кВт.} \quad (3.38)$$

Визначаємо норми часу на механічну обробку шестерні.

Основний час:

$$T_0 = \frac{L}{S_M} \quad (3.39)$$

де  $L = l + y + \Delta$  мм.

Врізання під час розточування:

$$y = 0,5 * (D - \sqrt{D^2 - B^2}) = 0,5 * (268 - \sqrt{268^2 - 15^2}) = 0,21 \text{ мм.} \quad (3.40)$$

Приймаємо  $\Delta = 3$  мм.

Тоді:

$$L = 268 + 0,21 + 3 = 271 \text{ мм;}$$

$$T_0 = \frac{271}{451,6} = 0,6$$

Приймаємо  $T_{y.c.} + T_{з.о.} = 0,156$  хв. [17].

Час на увімкнення верстата становить 0,01 хв.

Час на встановлення інструменту становить 0,08 хв.

Підведення/відведення інструменту до шестерні в поперечному напрямку становить  $0,04 * 2 = 0,08$  хв., у поздовжньому напрямку –  $0,03 * 2 = 0,06$  хв.

Тоді:

$$T_{ym} = 0,01 + 0,08 + 0,08 + 0,06 = 0,23 \text{ хв.}$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Час для вимірювання шестерні двосторонньою скобою  $T_{из} = 1,5$  хв. [19].

Допоміжний час:

$$T_B = 0,156 + 0,23 + 0,15 = 0,536 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{оп} = 0,06 + 0,536 = 0,596 \text{ хв.}$$

Час на технічне обслуговування робочого місця:

$$T_{техн} = \frac{T_0 * t_{зм}}{T}, \quad (3.41)$$

де  $T_0$  – основний час, хв.;

$t_{зм} = 4$  хв. – час для зміни інструментів і підналагодження верстата [17];

$T$  – період стійкості інструменту, хв.

$$T_{тех} = \frac{0,64 * 4}{60} = 0,04 \text{ хв.}$$

Час для організаційного обслуговування робочого місця – 1,2 % оперативного часу [17]:

$$T_{орг} = 0,12 * 0,596 = 0,072 \text{ хв.}$$

Час для обслуговування робочого місця:

$$T_{об} = 0,04 * 0,072 = 0,112 \text{ хв.}$$

Час для відпочинку –9 % від  $T_{оп}$  [17]:

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{on} = 0,09 * 0,596 = 0,054 \text{ хв.}$$

Штучний час:

$$T_{um} = 0,6 + 0,536 + 0,112 + 0,054 = 1,302 \text{ хв.}$$

Налагодження 2.

На токарно-вертикальному 8-мишпindelьному напівавтоматі 1К283 підрізати торці маточини і вінця шестерні (рис. А4).

Призначаються наступні режими різання [17]:

– глибина різання  $t = 0,90$  мм;

– подача  $S = 0,24$  мм/об..

Тоді швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^m * t^x * S^y} * K_v. \quad (3.42)$$

Коефіцієнт і показники ступеня:

$$C_v = 420.$$

$$x = 0,15.$$

$$y = 0,2.$$

$$m = 0,2.$$

Загальний поправочний коефіцієнт:

$$K_v = 0,6 * 0,65 * 0,8 = 0,312$$

$$V = \frac{420}{60^{0,2} * 0,9^{0,15} * 0,24^{0,2}} * 0,312 = 98,40 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя:

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n = \frac{1000 * v}{\pi * D} = \frac{1000 * 98,40}{3,14 * 177,30} = 182,0 \text{ об/хв.}$$

Коригування частоти обертання шпинделя за верстатом і встановлення дійсної частоти обертання:

$$n_D = 188,0 \text{ об/хв.}$$

Тоді дійсна швидкість різання:

$$V_D = \frac{\pi * D * n_D}{1000} = \frac{3,14 * 173,3 * 188,0}{1000} = 104,70 \text{ м/хв.}$$

Сила різання:

$$\begin{aligned} P_Z &= 10 * C_p * t^x * S^y * V^n * = \\ &= 10 * 300 * 0,9^1 * 0,24^{0,75} * 104,70^{0,15} * 1,19 = 548,0 \text{ Н.} \end{aligned} \quad (3.43)$$

Потужність різання:

$$N_{PIЗ} = \frac{P_Z * v_\delta}{60 * 1020} = \frac{548 * 104,70}{60 * 1020} = 0,94 \text{ кВт.} \quad (3.44)$$

Визначаємо норми часу [17]:

– штучний час

$$T_{шт} = T_O + T_{Доп} + T_{Обс} + T_{Відп} \quad (3.45)$$

де  $T_O$  – основний час, хв.;

$T_{Доп}$  – допоміжний час (хв.), який складається з витрат часу на окремі прийоми:

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{Доп} = T_{B-3} + T_{3-B} + T_{Упр} + T_{Вим},$$

$T_{B-3}$  – час на встановлення-зняття шестерні, хв.;

$T_{3-B}$  – час на закріплення-відкріплення шестерні, хв.;

$T_{Упр}$  – час на прийоми управління, хв.;

$T_{Вим}$  – час на вимірювання шестерні, хв.;

$T_{Обс}$  – час на обслуговування робочого місця, хв., який у масовому виробництві складається з часу на організаційне обслуговування  $T_{ОРГ}$  і часу на технічне обслуговування робочого місця:

$$T_{Обс} = T_{ТЕХ} + T_{ОРГ}; \quad (3.46)$$

$T_{Відп}$  – час перерв на відпочинок та особисті потреби, хв.

Основний час:

$$T_0 = \frac{L}{S_M} \quad (3.47)$$

де  $L = l + y + \Delta$  мм.

Під час розточування-врізання:

$$y = 0,5 * (D - \sqrt{D^2 - B^2}) = 0,5 * (75 - \sqrt{75^2 - 15^2}) = 7,60 \text{ мм.} \quad (3.48)$$

Приймається  $\Delta = 3$  мм.

Тоді:

$$L = 54 + 7,60 + 3 = 64,60 \text{ мм};$$

$$T_0 = \frac{64,60}{57,97} = 1,12 \text{ мм.}$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо  $T_{B-3} + T_{3-B} = 0,156$  хв. [17].

Час на увімкнення верстата – 0,01 хв.

Час на встановлення інструменту – 0,08 хв.

Час на підведення-відведення інструменту до шестерні в поперечному напрямку:  $0,04 * 2 = 0,08$  хв., у поздовжньому –  $0,03 * 2 = 0,06$  хв.

Тоді:

$$T_{\text{впр}} = 0,01 + 0,08 + 0,08 + 0,06 = 0,23 \text{ хв.}$$

Час на вимірювання шестерні двосторонньою скобою  $T_{\text{вим}} = 0,15$  хв.

Тоді допоміжний час:

$$T_{\text{дон}} = 0,156 + 0,230 + 0,150 = 0,536 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{\text{оп}} = 1,12 + 0,536 = 1,656 \text{ хв.}$$

Час на технічне обслуговування робочого місяця:

$$T_{\text{тех}} = \frac{T_0 * t_{3м}}{T} \quad (3.49)$$

де  $T_0$  – основний час, хв.;

$t_{3м} = 4$  хв. – час на зміну інструментів і підналагодження верстату [17];

$T$  – період стійкості інструменту.

Тоді:

$$T_{\text{тех}} = \frac{1,12 * 4}{60} = 0,074 \text{ хв.}$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Час на організаційне обслуговування робочого місця – 1,2 % оперативного часу [17, 18]:

$$T_{орг} = 0,12 * 1,656 = 0,190 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця:

$$T_{обс} = 0,074 * 0,112 = 0,185 \text{ хв.}$$

Час перерв на відпочинок – 9 % від  $T_{он}$  [17]:

$$T_{відп} = 0,09 * 1,656 = 0,15 \text{ хв.}$$

Штучний час:

$$T_{шт} = 1,12 + 0,536 + 0,185 + 0,15 = 1,99 \text{ хв.}$$

Налагодження 3.

Розточити отвір, витримуючи розмір  $\varnothing 78^{+0,8}$  (рис. А5).

Приймається верстат токарний вісьмимишпіндельний напівавтомат 1К283.

Призначаються режими різання [17]:

- глибина різання  $t = 0,75$  мм;
- подача  $S = 0,24$  мм/об.
- період стійкості інструменту  $T = 60$  хв.

Тоді швидкість різання.

$$V = \frac{C_v}{T^{m*} t^{x*} S^y} * K_v \quad (3.50)$$

Коефіцієнт і показники ступеня [17]:

$$C_v = 420,$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x = 0,15;$$

$$y = 0,2;$$

$$m = 0,2.$$

Загальний поправочний коефіцієнт:

$$K_v = 0,60 * 0,65 * 1,0 = 0,35;$$

$$V = \frac{376}{60^{0,2} * 0,75^{0,15} * 0,24^{0,2}} * 0,35 = 80,6 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 * v}{\pi * D} = \frac{1000 * 80,6}{3,14 * 78} = 182 \text{ об/хв.}$$

Коригується частота обертання шпинделя верстату і встановлюється дійсна частота обертання:  $n_D = 188$  об/хв.

Тоді дійсна швидкість різання:

$$V_D = \frac{\pi * D * n_D}{1000} = \frac{3,14 * 78 * 188}{1000} = 39,60 \text{ м/хв.}$$

Силу різання:

$$\begin{aligned} P_Z &= 10 * C_P * t^x * S^y * V^n * K_P = \\ &= 10 * 300 * 0,75^1 * 0,24^{0,75} * 39,6^{0,15} * 1,19 = 529 \text{ Н.} \quad (3.51) \end{aligned}$$

Потужність різання:

$$N_{PIZ} = \frac{P_Z * v_\delta}{60 * 1020} = \frac{529 * 39,6}{60 * 1020} = 0,34 \text{ кВт.}$$

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевіряється потужність приводу верстату:

$$N_{\text{верс}} \geq N_P * K, \quad (3.52)$$

де  $N_{\text{верс}} = 31$  кВт – потужність верстата;

$N_P$  – потужність різання на кожній позиції;

$K$  – число інструментів на позиції;

$$0,81 * 4 + 0,94 * 4 + 0,34 * 2 + 2,05 * 2 = 11,78 \text{ кВт}$$

Умова виконується:  $31 \text{ кВт} > 11,78 \text{ кВт}$ .

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки

Наведене службове призначення, принцип роботи, характеристика, технічне обслуговування, можливі несправності КПП ЯМЗ-2381.

Для шестерні заднього ходу КПП ЯМЗ-2381 вибраний матеріал – сталь 20Х2Н2М з хіміко-термічною обробкою у вигляді цементації та гартування, що забезпечує необхідну міцність на вигин зубів шестерень і шліцьового з'єднання.

Насичення вуглецем виконують сумішшю вуглеводнів – піробензолу і синтину – у безмуфельній шахтній печі СШЦ-9.6/10 до концентрації вуглецю у цементованому шарі (0,80-0,90)%.

Тривалість цементації на глибину шару 1,70 мм при  $t = 940\text{ }^{\circ}\text{C}$  і швидкості науглецьовування 0,3 мм/год. складає 9 год. (упродовж п'яти год. нагрівається садка). Щоб садка після цементації не окислювалося, її поміщають у розташований поряд з піччю бак, через який пропускається відпрацьований газ-карбюризатор.

Після підстужування і витримки шестерні для вирівнювання температури за перерізом її охолоджують у маслі МЗМ-26.

Після 1-го такого гартування серцевинні шари шестерні отримують структуру маловуглецевого мартенситу; він забезпечує високу міцність і достатню в'язкість серцевини після подальшого відпуску. Але для отримання високої твердості цементованого шару при усуненні карбідної сітки у поверхневих перенасичених вуглецем шарах виконується 2-ге гартування після цементації та низькотемпературного відпуску; середовище охолодження – разом із піччю протягом 3-х год.

Після виконання 2-го гартування і низькотемпературного відпуску при температурі  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом 3-х год. у поверхневих шарах буде структура відпущеного мартенситу з дрібними зернами карбідів.

Розроблений ТП виготовлення шестерні заднього ходу КПП ЯМЗ-2381 (проаналізований базовий ТП виготовлення шестерні; вибрана вихідна заготовка шестерні та метод її отримання; розроблений технологічний маршрут обробки,

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вибрані бази і методи обробки; розраховані припуски і міжперехідні розміри, режими різання і норми часу для токарної обробки).

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список використаних джерел

1. КПП с демультіплікатором ЯМЗ 2381 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://yarturbo.ru/catalog/yamz/gearbox/238/>
2. ЯМЗ-2381 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ymzmotor.ru/catalog/korobki-peredach/8-stupenchatye/ymz-2381/>
3. КПП ЯМЗ-2381 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.paotmz.ru/catalog/engines.html?cat\\_cpu=korobki\\_peredach&item\\_cpu=kpp\\_yamz-2381](https://www.paotmz.ru/catalog/engines.html?cat_cpu=korobki_peredach&item_cpu=kpp_yamz-2381)
4. ЯМЗ-2381 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.astradizel.ru/dvignyamz/korobka/2381.php>
5. Коробка передач ЯМЗ-2381 та її модифікації. Керівництво з експлуатації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.paotmz.ru/content/files/Katalogi/kpp\\_2017/rukovodstvo\\_po\\_ekspluatacii\\_2381-3902150\\_re.pdf](https://www.paotmz.ru/content/files/Katalogi/kpp_2017/rukovodstvo_po_ekspluatacii_2381-3902150_re.pdf)
6. Характеристика матеріалу 20ХН2М [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=188](https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=188)
7. Сталь 20Х2Н2М [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vikidalka.ru/2-154207.html>
8. Михайлов В. М. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. Лабораторний практикум : навч. Посібник / В. М. Михайлов, І. В. Лебединець. – Х: ХДУХТ, 2016. – 196 с. – Режим доступу: [https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/4519/1/lab\\_practice\\_TKM\\_16.pdf](https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/4519/1/lab_practice_TKM_16.pdf)
9. Шахтні печі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dmoc.ru/shakhtnye-pechi/>
10. Печі із захисною атмосферою шахтного типу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nakal.ru/catalog/elektropechi/termoobrabotka-chernykh-metallov/s-zashchitnoy-atmosferoy/shakhtnogo-tipa/>
11. Обладнання для газової цементації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://delta-grup.ru/bibliot/100/49.htm>

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Безмуфельні шахтні печі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://helpiks.org/9-17760.html>

13. Шахтні печі для хіміко-термічної обробки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://helpiks.org/9-17759.html>

14. Нагрівальне обладнання термічних цехів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://gate.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU\\_METHOD&key=000570748&dtype=F&etype=.pdf](http://gate.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000570748&dtype=F&etype=.pdf)

15. Цементация, нітроцементация та азотування сталей виробів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/100297/1/978-5-7996-3199-4\\_2021.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/100297/1/978-5-7996-3199-4_2021.pdf)

16. Безмуфельна піч [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ngpedia.ru/id255852p2.html>

17. Горбатюк С. О. Технологія машинобудування: Навчальний посібник / С. О. Горбатюк, М. П. Мазур, А. С. Зенкін, В. Д. Каразей. – Львів : «Новий світ – 2000», 2009. – 358 с.

18. Технологія обробки циліндричних зубчатих коліс [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib\\_upload/посібник%20Божко%20Тетяна%20Євгенівна%20готовий/page12.html](https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/посібник%20Божко%20Тетяна%20Євгенівна%20готовий/page12.html)

19. Дідик Р. П. Розрахункові операції режимів механічної обробки матеріалів: точіння, свердління, зенкерування, розгортання: навч. посібн. / Р. П. Дідик, В. В. Зіль, С. Т. Пацера. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 196 с.

20. Механічна обробка зубчастих коліс – Частина 1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.guanludrilling.com/news/machining-of-shaft-gears-part-46428520.html>

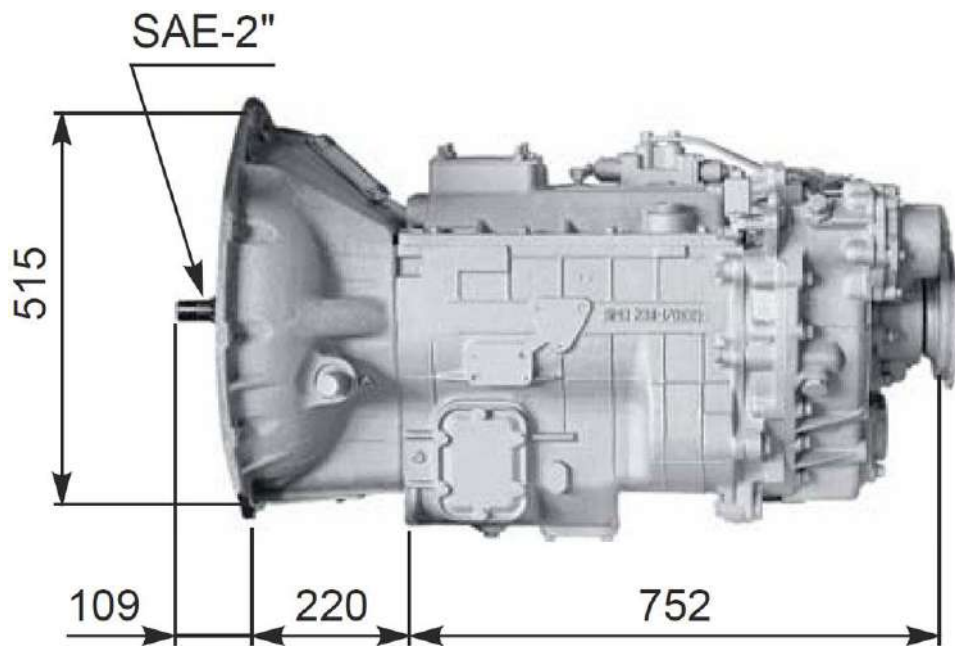
					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Додатки

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

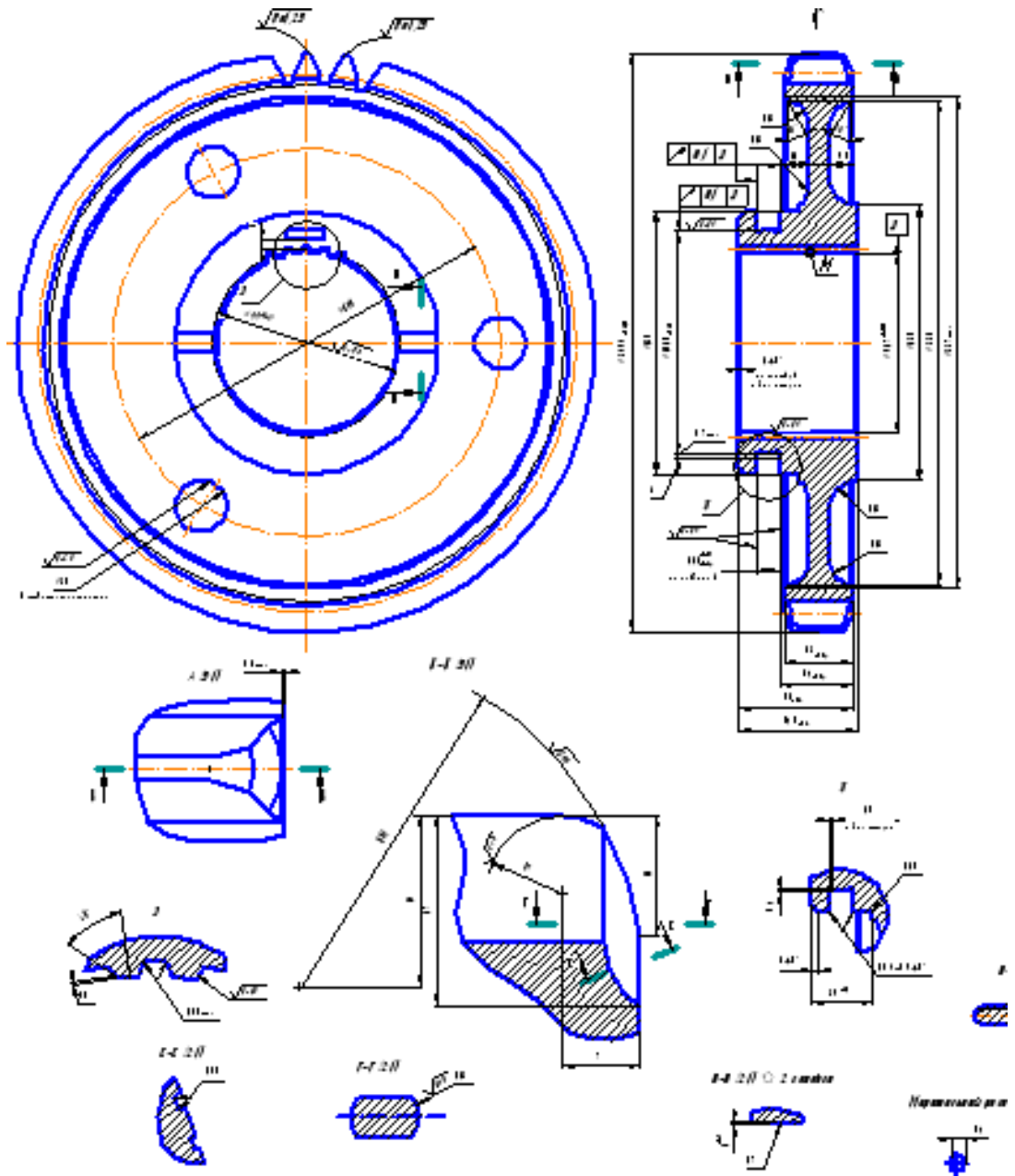
**Графічне забезпечення дипломної роботи**

					ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



**Рисунок А1 – Зовнішній вигляд КПП ЯМЗ-2381 [1-3]**

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



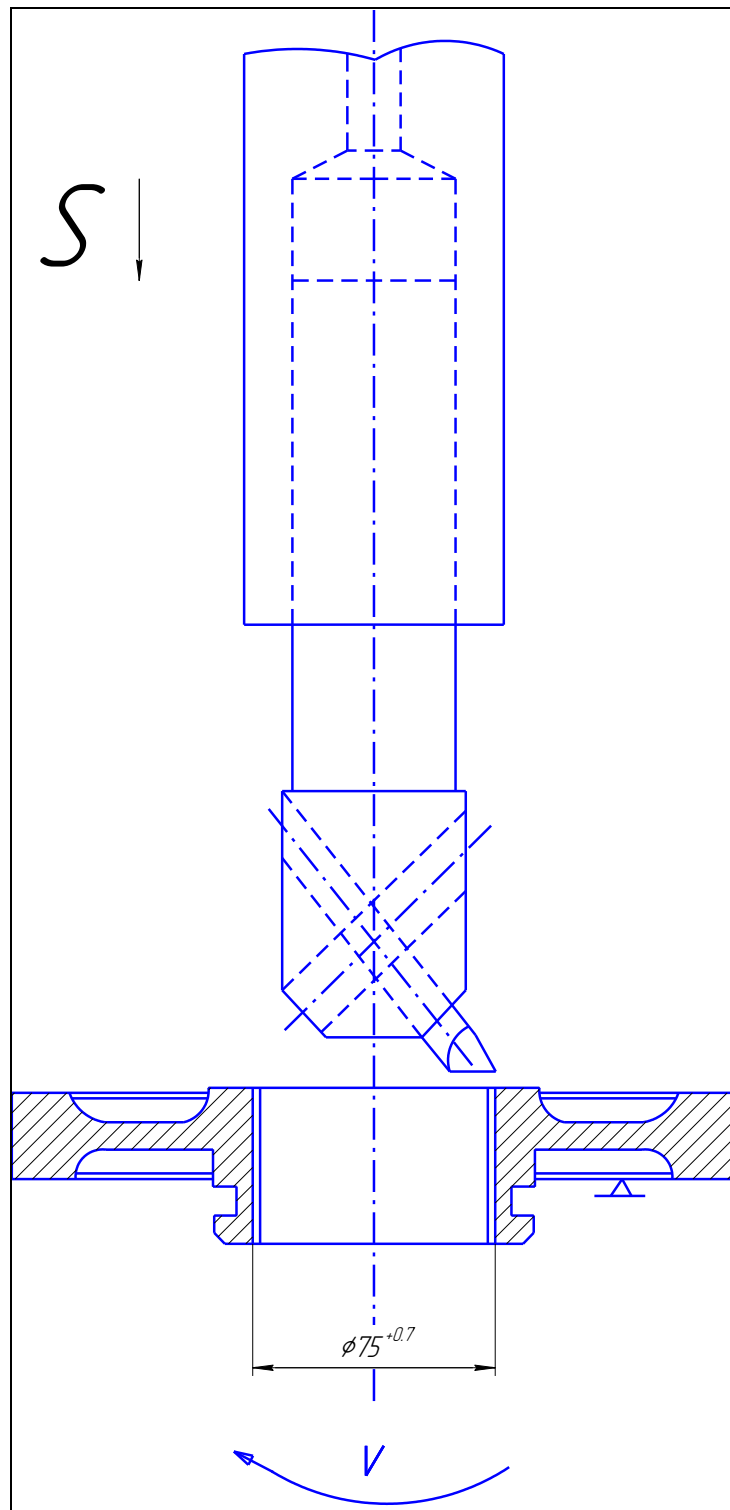
$\sqrt{Ra\ 12,5}$  (✓)

Зубчастий вінець		<i>B</i>
Модуль	<i>m</i>	4
Число зубів	<i>z</i>	52
Нормальний вихідний контур		ДСТУ 13755-81
Коефіцієнт зміщення	<i>x</i>	0
Ступінь точності по ДСТУ 1643-81		7-B
Д-на загальної нормалі	<i>W</i>	$45,28^{+0,16}_{-0,32}$

Зубчастий вінець		<i>B</i>
Модуль	<i>m</i>	3
Число зубів	<i>z</i>	62
Кут профілю	$\alpha$	$30^\circ$
Коефіцієнт висоти головки	$f_0$	0,5
Розмір по роликам	<i>M</i>	$122,4^{+0,25}_{-0,48}$
Діаметр ролика	$d_p$	7,8

Рисунок А2 – Шестерня

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------



**Рисунок А3 – Налагодження 1**

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ

Арк.

61

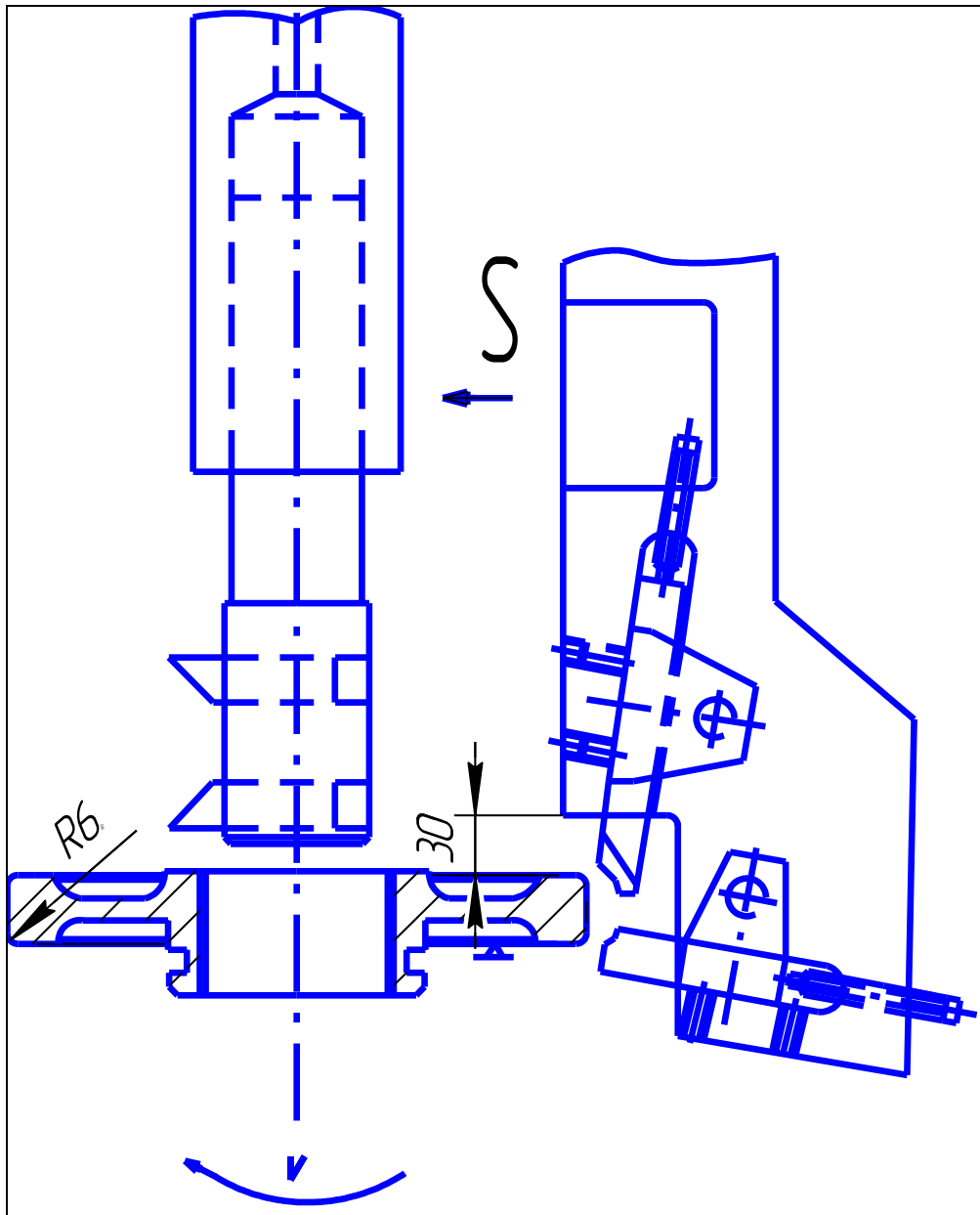


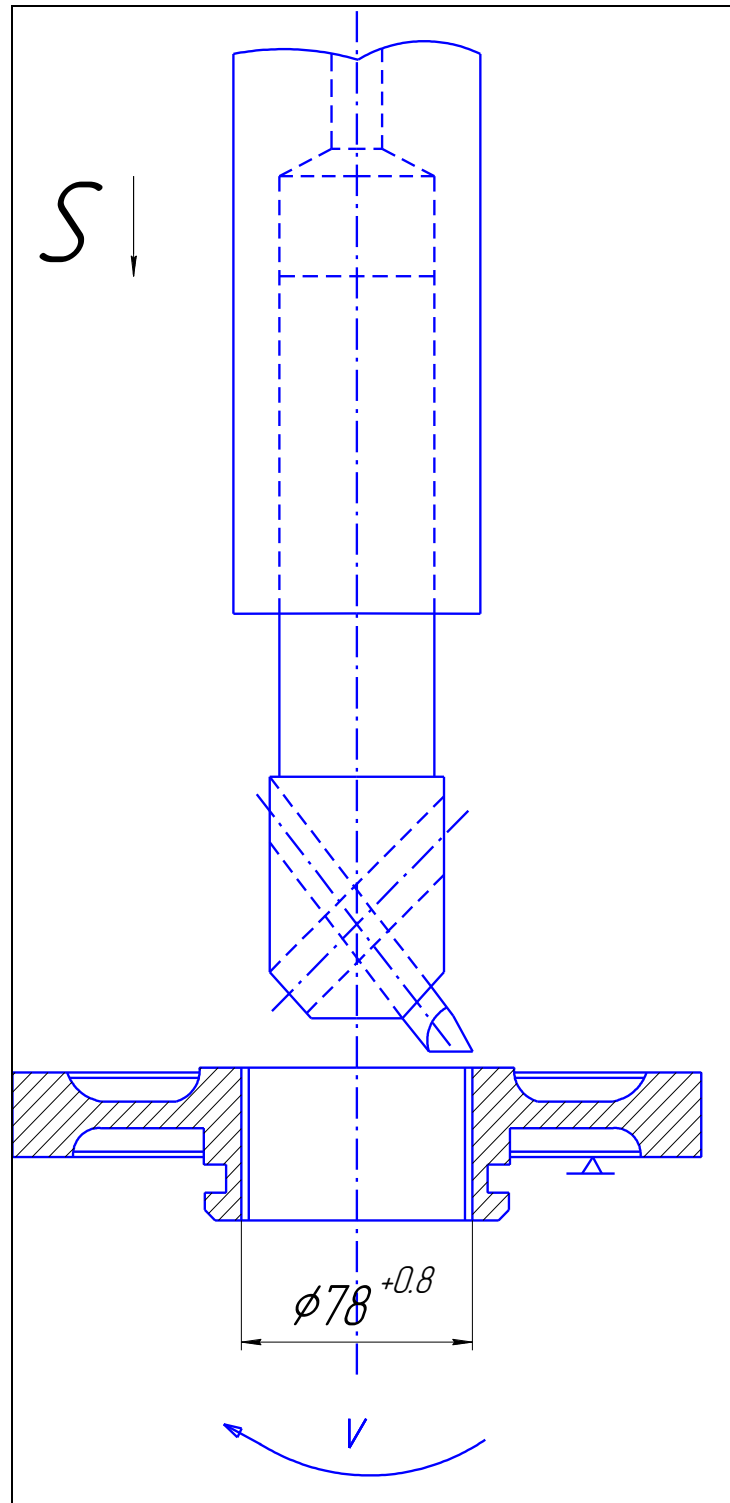
Рисунок А4 – Налагодження 2

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ

Арк.

62



**Рисунок А5 – Налагодження 3**

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДРМТВА 24.20121.000 ПЗ

Арк.

63