

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
бакалавра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розрахунок та конструювання приводу головного руху токарного верстата для обробки деталей діаметром до 63 мм і довжиною до 200 мм.

Виконав: студент	4	курсу групи	МВ-41
спеціальності	133 «Галузеве машинобудування»		
	(шифр і назва спеціальності)		
		(підпис)	Данильченко В.Р.
			(прізвище та ініціали)
Керівник		(підпис)	Лещук Р.Я.
			(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль		(підпис)	Кобельник В.Р.
			(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри		(підпис)	Крупа В.В.
			(прізвище та ініціали)
Рецензент		(підпис)	Сташків М.Я.
			(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Крупа В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Данильченку Віталію Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок та конструювання приводу головного руху токарного верстата для обробки деталей діаметром до 63 мм і довжиною до 200 мм.

Керівник роботи Лещук Роман Ярославович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 21 » 01 2026 року № 4/7-45

2. Термін подання студентом завершеної роботи 10.06.2026

3. Вихідні дані до роботи Технічне креслення деталі «Вал-шестерня»

Характеристики верстатів-аналогів

Річна програма випуску N=1000 шт.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. ОГЛЯДОВО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ 1. Характеристика токарних верстатів-аналогів

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ Технологічний розрахунок

Розробка маршрутного та операційного технологічного процесу обробки

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ Кінематичний розрахунок верстату

Конструювання вузла верстату

Розробка конструкції пристрою для механічної обробки

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Інструментальні налагодження – 1 ф.А1

Виконавчі механізми верстата – 2 ф.А1.

Пристосування верстатне – 1 ф.А1.

Контрольне пристосування – 1 ф.А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	к.т.н., доцент Окіпний І.Б.		
Нормоконтроль	к.т.н., доцент Кобельник В.Р.		

7. Дата видачі завдання 21.01.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Данильченко В.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Лещук Р.Я.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу.....	2
ВСТУП.....	4
1. ОГЛЯДОВО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	
1.1 Аналіз конструкцій верстатів-аналогів для токарних операцій.....	5
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
2.1 Призначення й технічна характеристика деталі	
Аналіз конструкції на технологічність.....	15
2.2 Вибір й обґрунтування типу виробництва.....	21
2.3 Проектування маршрутного технологічного процесу.....	22
2.4 Розрахунок припусків.....	26
2.5 Розрахунок режимів різання.....	35
2.6 Визначення трудомісткості виготовлення виробу.....	40
2.7 Проектування операційного технологічного процесу.....	42
2.8 Вибір засобів і методів контролю виробу.....	42
2.9 Проектування контрольного пристосування.....	43
2.10 Проектування затискного пристосування.....	45
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Розрахунок даних для проектування.....	51
3.2 Вибір електродвигуна.....	54
3.3 Розрахунок прямозубої циліндричної передачі 1-2.....	56
3.4 Розрахунок прямозубої циліндричної передачі 3-4.....	62
3.5 Розрахунок клинопасової передачі.....	70
3.6 Проектувальний розрахунок валів.....	73
3.7 Перевірочний розрахунок підшипників.....	83
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	88
ВИСНОВКИ.....	94
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	95
ДОДАТКИ.....	99

					КРБ 22-037.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ		
Розроб.		Данильченко					
Перевір.		Лещук					
Консульт.							
Н. Контр.		Кобельник					
Зав.каф.		Крупа					
					Літ.	Арк.	Акресів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

ВСТУП

На сьогодні токарні верстати широко застосовуються в різних галузях промислового виробництва. Під час проектування обладнання токарної групи особлива увага приділяється підвищенню його продуктивності, точності та універсальності.

У більшості виробничих процесів одні й ті самі верстати використовуються як для чорнової, так і для чистової обробки деталей. Це пояснюється особливостями експлуатації обладнання, його значною вартістю та економічною недоцільністю використання окремих верстатів для кожного виду обробки. За таких умов зростають вимоги до точності, ефективності та багатофункціональності верстатного обладнання.

Серед основних завдань сучасного верстатобудування є суттєве підвищення продуктивності праці, розширення рівня автоматизації виробничих процесів у машинобудуванні, забезпечення високої точності обробки деталей та підвищення надійності роботи верстатів.

До ключових напрямів розвитку верстатів із числовим програмним керуванням належать: об'єднання кількох технологічних операцій в одному встановленні заготовки, автоматизація зміни інструменту, зменшення кількості розточувального інструменту завдяки впровадженню поперечних переміщень супортів і перетворенню верстатів на контурні, використання систем керування на базі інтегральних схем, розширення можливостей коригування програм щодо радіуса та довжини інструменту, режимів швидкості й подачі без необхідності перепрограмування, а також впровадження централізованих систем керування групами верстатів.

					КРБ 22-037.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Данильченко			ВСТУП		
Перевір.		Лещук					
Консульт.							
Н. Контр.		Кобельник					
Зав.каф.		Крупа					
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

1. ОГЛЯДОВО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз конструкцій верстатів-аналогів для токарних операцій

Токарний верстат з ЧПК HAAS CL-1

Компактний токарний верстат HAAS CL-1 - ідеальне рішення для виробництва різних невеликих деталей з високою точністю. Інноваційний верстат CL-1 - це ультракомпактний патронний токарний верстат з ЧПК, який в стандартній комплектації оснащується 8-позиційною автоматичною revolverної головкою, що робить його ідеальним рішенням для спеціалізованого виробництва невеликих деталей, вторинних деталей або невеликих партій, а також розробки прототипів невеликих деталей, наприклад, таких, які використовуються в комунікаційній, авіакосмічній, медичної та стоматологічної галузях. CL-1 досить компактний і поміщається в більшість вантажних ліфтів. Його також можна з легкістю переміщати за допомогою вилочного навантажувача або візки для перевезення обладнання.

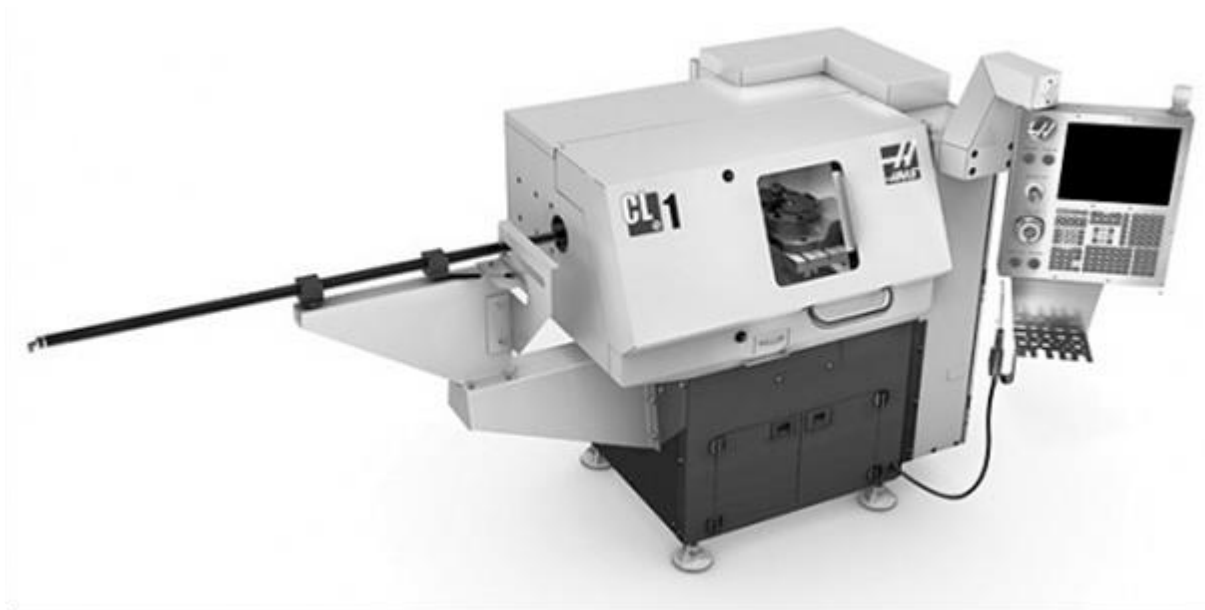


Рисунок 1.1 – Верстат HAAS CL-1

					КРБ 22-037.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОГЛЯДОВО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.		Данильченко					
Перевір.		Лещук					
Консульт.							
Н. Контр.		Кобельник					
Зав.каф.		Крупа					
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, гр. МВ-41		

Особливості конструкції:

- чавунна станина, яка повністю лита
- закрите герметичне захисне огородження
- наявність серводвигунів для переміщень по осях з прямою передачею обертового моменту
- підшипникові блоки направляючих – сталеві загартовані
- ШГП з подвійним кріпленням і попередньо натягнутою гайкою
- система автоматичного змащення напрямних і ШГП
- у ШГП наявність системи компенсації теплових розширень

Таблиця 1.1 – Характеристики верстата

Характеристика	Значення
Макс. встановлюваний діаметр над станиною, мм	279
Макс. діаметр	125
Макс. довжина обробки, мм	203
Діаметр 3-х кулачкового патрона, мм	102
Макс. частота обертання шпинделя, об / хв	6000
Максимальний крутний момент, Нм	8,8
Максимальна потужність шпинделя, кВт	3,7
Макс. осьове зусилля, кН	5,1
Обсяг бака СОЖ, л	49
Маса верстата, кг	900

Універсальний токарно-гвинторізний верстат 16K20

Верстат 16K20 є класичним представником універсального токарного

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання. Його основою є масивна чавунна станина, на якій змонтовані передня бабка з коробкою швидкостей, задня бабка для підтискання довгих деталей, супорт з різцетримачем та коробка подач. Головний рух (обертання шпинделя) передається від асинхронного електродвигуна через клинопасову передачу на первинний вал коробки швидкостей. Завдяки перемиканню блоків зубчастих коліс оператор може ступінчасто змінювати частоту обертання шпинделя. Рух подачі передається від шпинделя через гітару змінних коліс до коробки подач, яка обертає ходовий вал або ходовий гвинт.



Рисунок 1.2 – Універсальний токарно-гвинторізний верстат 16K20

Основні технічні характеристики

- Найбільший діаметр оброблюваної деталі над станиною: 400 мм
- Найбільший діаметр оброблюваної деталі над супортом: 220 мм
- Максимальна довжина деталі (відстань між центрами): 710, 1000, 1400 або 2000 мм (залежно від модифікації станини)
- Діаметр наскрізного отвору в шпинделі: 52 мм
- Кількість ступенів частот обертання шпинделя: 22
- Діапазон частот обертання шпинделя: від 12,5 до 1600 об/хв.
- Потужність головного електродвигуна: 10 кВт
- Габаритні розміри (для РМЦ 1000 мм): 2505 x 1190 x 1500 мм

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Маса верстата: близько 3000 кг

Інструментальне оснащення та безпека

Для базування заготовок використовуються ручні трикулачкові або чотирикулачкові патрони, а також центри у задній бабці. Різці кріпляться у чотирипозиційному поворотному різцетримачі. Верстат оснащується відкидними екранами з ударостійкого матеріалу над патроном і супортом для захисту від стружки та бризок мастильно-охолоджувальної рідини (МОР). Обов'язковим є надійне заземлення станини та електрошафи.

Переваги та недоліки

- Переваги: Висока жорсткість конструкції, вібростійкість, здатність нарізати широкий спектр різьб (метричні, дюймові, модульні, пітчеві) без заміни шестерень у гитарі.
- Недоліки: Низька продуктивність, висока частка ручної праці, якість деталі стовідсотково залежить від кваліфікації токаря.

Універсальний токарний верстат DMTG CDS6250

Верстат DMTG CDS6250 — це сучасний аналог традиційного токарного обладнання. Його характерною рисою є наявність виїмки в станині (ГАПу), що дозволяє тимчасово збільшити робочу зону для габаритних деталей. Кінематична схема подібна до класичних моделей, проте особливістю є використання високоточних прецизійних роликів підшипників у шпиндельному вузлі, що підвищує плавність ходу та точність обробки.

Основні технічні характеристики

- Найбільший діаметр обробки над станиною: 500 мм
- Найбільший діаметр обробки над виїмкою в станині: 710 мм
- Найбільший діаметр обробки над супортом: 300 мм
- Максимальна довжина деталі (РМЦ): 1000, 1500 або 2000 мм
- Діаметр наскрізного отвору в шпинделі: 82 мм
- Діапазон частот обертання шпинделя: від 24 до 1600 обертів на

хвилину

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Потужність головного електродвигуна: 7,5 кВт
- Габаритні розміри (для РМЦ 1500 мм): 2740 x 970 x 1300 мм
- Маса верстата: близько 2200 кг



Рисунок 1.3 – Універсальний токарний верстат DMTG CDS6250

Інструментальне оснащення та безпека

Оснащення є стандартним: механічні патрони, люнети для довгих валів. Верстат має підвищений рівень безпеки (стандарти РЄ): електрошафа обладнана надійними системами захисту, а на кожусі патрона встановлені кінцеві вимикачі, які унеможливають запуск шпинделя у відкритому стані.

Переваги та недоліки

- Переваги: Універсальність завдяки виїмці у станині, можливість роботи з трубами великого діаметра (через 82-мм отвір шпинделя), високий рівень безпеки оператора.
- Недоліки: Порівняно з радянськими аналогами, має меншу масу станини, що знижує його здатність гасити вібрації при важкій чорновій обробці поковок або лиття.

Токарний верстат з ЧПК 16A20Ф3

Верстат 16A20Ф3 є базовою платформою автоматизованого токарного обладнання. Замість ручного супорта встановлено хрестовий супорт, рух

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

якого по осях X та Z підпорядковується системі ЧПК через кульково-гвинтові передачі (КГП) та серводвигуни. Головний рух забезпечується двигуном, що дозволяє плавно змінювати швидкість шпинделя без перемикання шестерень.



Рисунок 1.4 – Токарний верстат з ЧПК 16A20Ф3

Основні технічні характеристики

- Найбільший діаметр виробу над станиною: 400 мм
- Найбільший діаметр обробки над супортом: 220 мм
- Максимальна довжина обробки: 1000 мм
- Діаметр отвору в шпинделі: 55 мм
- Кількість позицій інструменту в револьверній головці: 6 або 8 позицій
- Точність позиціонування по осях: 0,01 мм
- Швидкість холостих переміщень (швидкі ходи): до 15 м/хв (залежить від модернізації)
- Потужність головного електродвигуна: 11 кВт
- Маса верстата: близько 4150 кг

Інструментальне оснащення та безпека

Деталі закріплюються у гідравлічних або пневматичних патронах, що забезпечує рівномірне зусилля затиску. Інструмент кріпиться в автоматичній

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

револьверній головці. Зона обробки закривається розсувними дверцятами з оглядовими вікнами, що мінімізує контакт оператора із зоною різання.

Переваги та недоліки

- Переваги: Масивна та надзвичайно жорстка станина, висока придатність до модернізації (встановлення нових систем Siemens чи Fanuc), стабільна якість серійних деталей.
- Недоліки: Значні габарити, високе енергоспоживання, застарілі гідравлічні системи (якщо верстат не проходив глибокий ретрофіт).

Сучасний токарний центр з ЧПК HAAS ST-20

HAAS ST-20 — це високопродуктивний токарний центр. Його головною особливістю є суцільнолита похила станина (кут 45°). Переміщення здійснюються по лінійних роликівих напрямних кочення, що забезпечує мінімальний коефіцієнт тертя. Система ЧПК автоматично розраховує постійну швидкість різання, прискорюючи оберти шпинделя при зменшенні діаметра точіння.

Основні технічні характеристики

- Максимальний діаметр обробки (точіння): 381 мм
- Максимальна довжина обробки: 533 мм
- Максимальний $\varnothing$ прутка, що проходить через шпиндель: 64 мм
- Розмір гідравлічного патрона: 210 мм
- Максимальна частота обертання шпинделя: 4000 об/хв.
- Швидкість холостих переміщень по осях X та Z: 24 м/хв..
- Кількість позицій у револьверній головці: 12 позицій (тип кріплення VDI або BOT)
- Потужність приводу шпинделя: 14,9 кВт
- Маса верстата: близько 4300 кг

Інструментальне оснащення та безпека

Використовуються гідравлічні патрони та швидкісні револьверні головки. Для налаштування інструменту застосовується контактна рука (Renishaw). Верстат має повністю закриту герметичну кабінку, дверцята якої

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

блокуються під час роботи програми. Похила станина дозволяє стружці вільно падати на автоматичний конвеєр.



Рисунок 1.5 – Сучасний токарний центр з ЧПК HAAS ST-20

Переваги та недоліки

- Переваги: Чудова ергономіка, блискавична швидкість холостих ходів, зручна власна система ЧПК Haas, швидке відведення стружки.
- Недоліки: Напрямні кочення чутливі до вібрацій при здиранні великих шарів металу з ливарною кіркою; необхідність використання дорогого фірмового сервісу.

Токарно-фрезерний обробний центр DMG MORI CTX beta 800

DMG MORI CTX beta 800 — верстат преміум-сегмента, що реалізує концепцію «Done-in-One» (готова деталь за одне встановлення). Окрім класичних осей X та Z, верстат має вісь C (високоточне позиціонування шпинделя на кут) та вісь Y (поперечне переміщення супорта поза центром обертання). Шпиндель виконаний як інтегрований мотор-шпиндель без пасових передач.

Основні технічні характеристики

- Максимальний діаметр обробки (точіння): 410 мм
- Максимальна довжина обробки: 800 мм

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Максимальний діаметр прутка: 76 мм
- Максимальна частота обертання головного шпинделя: 5000 обертів на хвилину
- Хід по осі Y: ± 60 мм (загалом 120 мм)
- Максимальна частота обертання приводного інструменту: 4000 обертів на хвилину
- Кількість позицій у револьверній головці: 12 (усі позиції можуть мати привід для обертання фрез/свердел)
- Точність позиціювання (завдяки оптичним лінійкам): 0,001 мм
- Система керування: CELOS (на базі Siemens 840D sl або FANUC 31i)



Рисунок 1.6 – Токарно-фрезерний обробний центр DMG MORI CTX beta 800

Інструментальне оснащення та безпека

Кожна з 12 позицій револьверної головки може приймати приводний інструмент. Верстат оснащений інтелектуальними датчиками вібрації, які миттєво зупиняють приводи у разі поломки інструменту або загрози зіткнення, повністю захищаючи механіку верстата та оператора.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Переваги: Здатність виконувати токарні, фрезерні та свердлильні операції за один цикл; мікронна точність; повна інтеграція в цифрові системи моніторингу виробництва.

- Недоліки: Дуже висока капітальна вартість обладнання та оснащення; вимагає термостабілізованого приміщення та програмістів-інженерів найвищої кваліфікації.

Провівши аналіз, можна зробити висновок, що технологічний уклад машинобудівних виробництв переріс з універсальних верстатів, пройшовши етапи спеціальних, з числовим програмним керуванням (ЧПК) і нині ґрунтується на обробних центрах та технологічних комплексах, а обладнання стає більш спеціалізованим з високими показниками якості.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Призначення й технічна характеристика деталі. Аналіз конструкції на технологічність.

Деталь – вал-шестерня, є основною частиною автоматичної коробки швидкостей, призначеної для передачі обертового руху. Основною робочою частиною є бочка деталі із зубами $m=3\text{мм}$ $z=23$. Найбільший діаметр вала 75 мм, довжина 170 мм, шорсткість зовнішнього діаметра 0,8мкм. Із двох сторін вала є опорні шийки $\varnothing 40\text{К6}$, із шорсткістю 0,8мкм, призначені для установки підшипників. На шийці, яка виконана по 8-му класу шорсткості є закритий шпонковий паз шириною 8мм, призначений для установки призматичної шпонки, через яку буде передаватися обертовий момент. Для виходу шліфувального кола передбачені технологічні канавки.

За своєю формою, конструкцією і технологічним ознакам задана деталь вал-шестерня відноситься до класу 40 - деталі загальномашинобудівного застосування - тіла обертання. По конструкції має східчасту форму із двостороннім розташуванням щаблів. Ескіз деталі наведений на рисунку 2.1.

Деталь виготовляється з конструкційної легованої сталі 40Х ДСТУ 4543-71. Хімічний склад і механічні властивості стали наведені відповідно в таблицях 2.1, 2.2.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад сталі 40Х ДСТУ 4543-71

Марка стали	Хімічний склад в %					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	S
Сталь 40Х	0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	0,8-1,1	$\leq 0,3$	≤ 0.035

					КРБ 22-037.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ		
Розроб.	Данильченко						
Перевір.	Лещук						
Консульт.							
Н. Контр.	Кобельник						
Зав.каф.	Крупа						
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

Таблиця 2.2 - Механічні властивості 40Х ДСТУ 4543-71

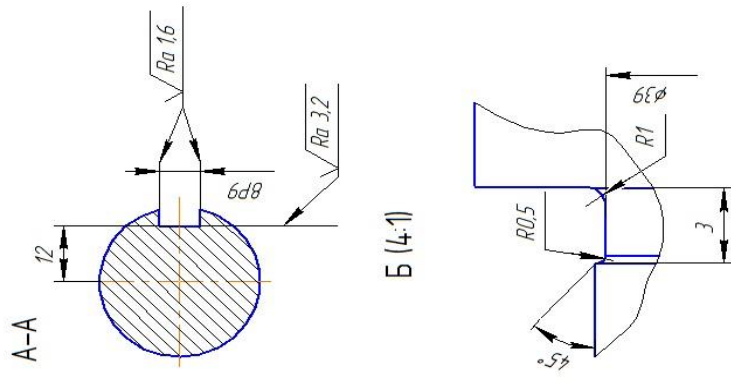
Марка матеріалу	Механічні властивості				
	Межа міцності МПА	Межа текучості	Відносне подовження, %	Відносне звуження, ψ , %	НВ
Сталь 40Х	980	785	45	10	217

Принцип технологічності конструкції складається в найбільш повній відповідності експлуатаційних вимог найбільш раціонального й економічного виготовлення машин. Основними критеріями оцінки технологічності конструкції є трудомісткість і собівартість їхнього виготовлення. Чим менше трудомісткість і собівартість виготовлення, тим вони більш технологічні. Прийнята для проектування деталей задовольняє вимогам технологічності. Деталь досить міцна і жорстка, що дозволяє не знижувати режими різання при механообробці. Твердість конструкції буде перешкоджати появі деформацій у процесі обробки. Базові поверхні деталі мають достатню довжину, що дозволяє швидко й надійно встановлювати деталь при механообробці і монтажі.

Деталь конструктивно не складна, має зручні базові поверхні й не викликає особливих технологічних труднощів при обробці. Є досить жорсткою, тому що $L_{\max}/D_{\max}=170/75=2,3<10$, отже, її обробка може здійснюватись без застосування додаткових пристосувань. Конфігурація деталі забезпечує зручне підведення і вивід різального інструменту. Найбільш відповідальні поверхні $\varnothing 40k6$ виконуються по 6 квалітету, однак вони не виходять за межі економічної точності при обробці шліфуванням. Шорсткість призначена не більше економічно обґрунтованої $Ra=25$ мкм за ДСТУ 2784 - 73.

Якість виготовлення виробу (точність, надійність, довговічність) визначається технічними умовами на виготовлення деталей.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



До деталі пред'являються наступні технічні вимоги:

- допуск радіального биття шийок ($\varnothing 40K6$ не більше 0,01 мм щодо бази Б;
- допуск торцевого биття шийок (48 не більше 0,025 мм щодо бази Б;
- допуск радіального биття зубчастого вінця не більше 0,04 мм щодо бази Б;
- допуск паралельності бічних стінок шпонкового паза не більше 0,02 мм щодо бази Б;

Ці вимоги необхідні для забезпечення точності установки деталі в складальній одиниці.

Обробка поверхонь деталі може здійснюватись при відсутності спеціального різального інструменту, що істотно підвищує технологічність деталі й дозволяє застосовувати стандартний різальний інструмент й оснащення. Якщо врахувати, що жорсткість конструкції, надійність технологічних баз, жорсткість кріплення під обробку забезпечують стабільність і точність обробки й допускають застосування високопродуктивних методів обробки, то чистову токарну операцію й фрезерну, при фрезеруванні шпонкового паза, можна робити на верстатах зі ЧПК.

Основні завдання, розв'язувані при аналізі технологічності виробу, зводяться до можливого підвищення продуктивності праці при механічній обробці, до зниження витрат і скороченню часу на технологічну підготовку виробництва при забезпеченні необхідної якості виробу.

1. Даний вал-шестерня є жорстким, тому що $\frac{l}{d} = 170 / 75 = 2 < 5$, а це є однією з умов технологічності.

2. Деталь складається зі стандартних й уніфікованих конструктивних елементів: діаметральних і лінійних розмірів, зубчастого вінця. Це сприяє використанню стандартних ріжучих і вимірювальних інструментів.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Деталь має точність і шорсткість, які можна одержати стандартним уніфікованим інструментом при стандартному технологічному процесі.

4. Матеріал заготовки відповідає вимогам технології виготовлення: при виготовленні немає необхідності застосовувати складні технологічні процеси виготовлення деталі; для зберігання матеріалу немає необхідності створювати певні умови зберігання й транспортування.

5. Шорсткість базових поверхонь задовольняє вимогам точності установки деталі, її обробки й контролю.

6. Деталь симетрична щодо своєї осі.

7. На деталі є канавки для вільного виходу різального інструменту й фаски, причому всі ці елементи є уніфікованими, що сприяє підвищенню технологічності конструкції деталі.

8. Всі оброблювані поверхні мають вільне підведення й відвід різального інструменту, за винятком шпонкового паза, що є закритим. Для його обробки можна використати тільки шпонкову фрезу.

9. Всі шорсткості, позначені на кресленні, відповідають даним квалітетам точності, а це також є однією з умов технологічності.

10. Точність деталі - середня, точними поверхнями є $\varnothing 40k6$ мм, $Ra=0,8$ мкм, $8P9$, $Ra=1,6$ мкм; $\varnothing 40k6$, $Ra=0,8$ мкм; $\varnothing 75h8$ мм, $Ra=0,8$ мкм; а також бічні й внутрішні поверхні зубів. Для досягнення високого класу точності й низкою шорсткості необхідно задіяти шліфування. Досягнення необхідної точності розмірів, а також необхідної шорсткості й припустимих просторових відхилень і геометричних похибок не викликають труднощів при обробці деталі на стандартному устаткуванні.

Визначимо значення відносних показників технологічності, які повинні прийматися в межах $0 < k < 1,0$.

1) Рівень технологічності по точності обробки:

$$K_{y.T} = \frac{K_{dT}}{K_{nT}}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, $K_{дт}, K_{пт}$ - відповідно базовий і досягнутий коефіцієнти точності обробки.

Коефіцієнт точності обробки:

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{ср}} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum T n_i}$$

де, $T_{ср}$ - середній квалітет точності обробки виробу;

$$T_{ср} = \frac{\sum T n_i}{\sum n_i}$$

де, n_i - число розмірів відповідного квалітету точності;

T - квалітет точності обробки.

$$T_{ср} = \frac{14 \cdot 2 + 7 \cdot 1 + 6 \cdot 1 + 5 \cdot 2}{6} = \frac{51}{6} = 8,5$$

Тоді:

$$K_T = 1 - \frac{1}{8,5} = 0,88$$

Коефіцієнт точності обробки деталі $k_{м.д.} = 0,88 < 1$, отже, деталь є технологічною.

2) Рівень технологічності конструкції по шорсткості поверхні

$$K_{у.ш} = \frac{K_{б.ш}}{K_{пш}}$$

де, $K_{б.ш}, K_{пш}$ - відповідно базовий і досягнутий коефіцієнт шорсткості поверхні.

Коефіцієнт шорсткості поверхні:

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{ср}} = 1 - \frac{\sum n_{iш}}{\sum Ш n_{iш}}$$

де, $Ш_{ср}$ - середня шорсткість поверхні виробу;

$$Ш_{ср} = \frac{\sum Ш n_{iш}}{\sum n_{iш}}$$

де, $Ш$ - шорсткість поверхні;

$n_{iш}$ - число поверхонь відповідної шорсткості.

$$Ш_{ср} = \frac{6,3 \cdot 6 + 3,2 \cdot 1 + 2,5 \cdot 3 + 1,6 \cdot 2 + 0,8 \cdot 4}{16} = 5,31$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді:

$$K_{\text{ш}} = 1 - \frac{1}{5},31 = 0,82$$

$$D_{0_{y,\text{ш}}} = 0, \frac{82}{1} = 0,82 < 1$$

Рівень технологічності деталі по трудомісткості й технологічній собівартості остаточно визначається після розробки технологічного процесу й одержання необхідних для розрахунку даних з урахуванням зниження трудомісткості виготовлення й собівартості деталі, обумовленого тільки зміною конструкції деталі й заготовки, матеріалу й методу одержання.

2.2 Вибір й обґрунтування типу виробництва

Тип виробництва визначається річною програмою випуску N , що для спеціалізованих ділянок по випуску однотипних виробів, розраховують по формулі:

$$N = \frac{C \cdot \Phi}{\sum T_{\text{шт}}}$$

де, C - кількість верстатів (технологічного встаткування) на ділянці. Для попередніх розрахунків $C=30$;

Φ - дійсний річний фонд роботи верстата при двозмінному режимі роботи;

$\sum T_{\text{шт}}$ - трудомісткість виготовлення виробу (сумарний штучний час виготовлення виробу), хв.

Попередньо річну програму випуску виробів на ділянці визначають по базовій трудомісткості виробу, остаточно - після розробки операційного технологічного процесу.

Тип виробництва, відповідно ДСТУ14.004-83, характеризується коефіцієнтом закріплення операцій .

$$K_{30} = \frac{P_0}{C_1}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, Π_0 – число всіх технологічних операцій, які виконуються на дільниці;

c_1 – число робочих місць.

Для різних типів виробництва прийняті наступні коефіцієнти закріплення операцій:

- для масового виробництва $K_{\Sigma 0} = 1$
- для крупносерійного виробництва $1 < K_{\Sigma 0} < 10$
- для середньосерійного виробництва $10 < K_{\Sigma 0} < 20$
- для дрібносерійного виробництва $20 < K_{\Sigma 0} < 40$
- для одиничного виробництва $K_{\Sigma 0} > 40$

$$? = \frac{30 \cdot 4060}{55},44 = 2197$$

$$K_{\Sigma 0} = \frac{10}{5} = 2$$

По розрахунковому коефіцієнті закріплення операцій визначаємо тип виробництва - крупносерійний.

2.3 Проектування маршрутного технологічного процесу

Організаційна форма розробки технологічного процесу виготовлення деталі визначається типом виробництва, конструкцією деталі й технічних вимог на виготовлення деталі. Задані технічні вимоги на виготовлення деталі можуть бути забезпечені обробкою на верстатах нормальної точності при використанні принципу сталості технологічних баз.

Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі - це послідовність обробки заготовки із вказівкою номера, найменування й короткого змісту технологічних операцій.

У маршрутних технологічних картах вказується устаткування, на якому операції виконують, технологічне оснащення й вимірювальний інструмент.

Маршрутний технологічний процес виготовлення вала-шестірні представлений у таблиці 2.3.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір устаткування

- Фрезерування торців, центрування й свердління різьбових отворів робимо на фрезерно-центрувальному верстаті моделі 73C1.

Двосторонній фрезерно-центрувальний верстат 73C1 має дві позиції для кріплення деталі, на яких здійснюється послідовно фрезерування й центрування, що дозволяє скоротити трудомісткість.

Фрезерування торців виконуємо торцевою насадною фрезою із вставними ножами, оснащеними пластинами із твердого сплаву T5K10. Діаметр фрези вибираємо з розрахунку $D=(1,25 \dots 1 \dots 1,5)B=1,3 \cdot 46=63\text{мм}$, $z=6$.

Свердління центрових отворів виконуємо центрувальним свердлом $\varnothing 4$ зі швидкорізальної сталі P18.

- Точіння вала й виправлення центрових отворів робимо на токарно-гвинторізному верстаті 16K20Ф3. Висота центрів (200мм) дозволяє встановити заготовку $D-L=75-170\text{мм}$.

Верстат 16K20Ф3 патронно-центровий призначений для токарної обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей типу тіл обертання зі східчастим і криволінійним профілями в один або кілька проходів у замкнутому напіваавтоматичному циклі.

Для обробки зовнішніх поверхонь застосовуємо різець для контурного точіння T5K10, SDHRC 2525M11, що дозволяє за один прохід обточити кілька поверхонь деталі.

Виправлення центрових отворів робимо зенківкою центрувальною, Р6М5. Виконання цієї операції на даному верстаті дозволяє досягти високої точності зацентрування.

- Фрезерування шпонкового паза робимо на шпоночно-фрезерному верстаті моделі 692Д. Розміри поверхні стола (250×1000) дозволяють установити заготовку $D-L=75-170\text{мм}$.

Верстат призначений для обробки шпонкових пазів немірними кінцевими й шпонковими фрезами. Щоб забезпечити точність

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оброблюваного паза по Р9 й $Ra=1,6\text{мкм}$ обробку ведемо з маятниковою подачею двозубою шпонковою фрезою, Т15К6.

- Шліфування зовнішніх поверхонь здійснюється на круглошліфувальному верстаті моделі 3М150.

Верстат призначений для зовнішнього й внутрішнього шліфування циліндричних, конічних і торцевих поверхонь деталей при установці їх у центрах. Обробку ведемо шліфувальним кругом ПП 400×50×63, 24А40ПСМ1К. Шорсткість обробленої поверхні $Ra=0,8\text{мкм}$ можна досягти попереднім шліфуванням, що у свою чергу скорочує час на виконання круглошліфувальної операції.

- Зубофрезерування робимо на зубофрезерному верстаті моделі 5К310.

Напівавтомат призначений для фрезерування циліндричних прямозубих і косозубих коліс із чавуну, сталі, легованих сталей, легких сплавів методом обкатування. Нарізування зубів здійснюється способом обкатування цільною черв'ячною фрезою $m=3\text{мм}$, $z=11$.

- Зубошліфування робимо на зубошліфувальному верстаті моделі 5А841 конічним шліфувальним колом ЗП 300×127×20, $\alpha 30^\circ$, 24А 25НСМ18К.

Напівавтомат призначений для шліфування евольвентного профілю зубів термічно оброблених циліндричних прямо- і косозубих коліс зовнішнього зачеплення з модифікацією по довжині й висоті зуба. Для серійного й крупносерійного виробництва.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 - Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі

№ оп.	Найменування й короткий зміст операції.	Найменування устаткування
005	Фрезерно-центрувальна Підрізати торці й зацентрувати заготовку із двох сторін одночасно.	73С1
010	Токарна Точити $\varnothing 75h8$, $\varnothing 48$, $\varnothing 40k6$ із припуском під подальшу обробку.	16K20Ф3
015	Токарна Точити $\varnothing 32n7$, $\varnothing 48$, $\varnothing 40k6$ із припуском під подальшу обробку.	16K20Ф3
020	Термічна Зробити термічну обробку до 200...220 НВ.	Пекти камерна
025	Токарна Виправити цетрування отвору.	16K20Ф3
030	Токарна Точити $\varnothing 48$, а $\varnothing 75h8$ й $\varnothing 40k6$ із припуском під шліфування.	16K20Ф3
035	Токарна Точити $\varnothing 48$ й $\varnothing 32n7$, а $\varnothing 40k6$ із припуском під шліфування.	16K20Ф3
040	Шпоночно-фрезерна Фрезерувати шпонковий паз 8Р9.	692Д
045	Круглошліфувальна Шліфувати $\varnothing 40k6$ з переустановом, а $\varnothing 75h8$ під зубонарізування.	3М150
050	Зубофрезерна Фрезерувати зуби $m=3$ мм, $z=23$.	5K310

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

055	Термічна Поверхнєве загартування зубів до 47...51HRC.	Установка СВЧ
060	Зубошліфувальна Шліфувати зуби.	5A841
065	Контрольна	Контрольна плита

2.4 Розрахунок припусків

По розробленому маршрутному технологічному процесі виготовлення заданого виробу аналітичним методом розраховуємо припуски на дві поверхні Ø40к6 й Ø75h8.

Заготовка – кована штамповка, маса 2,3кг.

Обробку поверхні Ø40к6 розподіляємо на 3 етапи - попереднє точіння, чистове точіння, шліфування. Розрахунок мінімальних припусків на обробку по переходах ведемо по формулі:

$$2Z_{\min} = 2(Rz_{i-1} - 1 + h_{i-1} - 1 + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + E_i^2});$$

де, Rz_{i-1} - шорсткість отримана при попередній обробці

h_{i-1} - висота мікронерівностей на попередній обробці

E_i - похибка установки заготовки

$$2Z_{\max i} = Td_{i-1} + 2Z_{\min i}$$

Найменший граничний розмір на переході дорівнює сумі максимального розміру наступного переходу й подвійного мінімального припуску

Найменший граничний розмір $d_{\max}$ визначаємо як:

$$d_{\max} = d_{\min} + Td_i$$

План обробки Ø40к6

Визначаємо через коефіцієнт уточнення $K_{\text{ут}}$ і план обробки поверхні

Ø40_{до6}^{+0,018}_{+0,002} Ra=0,8 мкм:

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заготовка Rz 160 T = 200 мкм; $\delta_{\text{заг}} = 1,9$ мм; (штампування)

1. Обточування попереднє Rz100 T = 100мкм $\delta_{\text{ін. точ.}} = 0,12$ мм;

2. Обточування чистове Rz50 T = 50мкм $\delta_{\text{чис. точ.}} = 0,046$ мм;

3. Шліфування Rz5 T = 10мкм $\delta_{\text{шліф.}} = 0,016$ мм;

T - глибина дефектного шару, мкм.

Визначаємо допустиму похибку:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2}$$

де, $\rho_{\text{див}}$ – допустима похибка по зсуві осей;

$\rho_{\text{кор}}$ – загальна кривизна заготовки.

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta \kappa L,$$

Де L - найбільший розмір заготовки, мм;

L - 170 мм.

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{800^2 + (1,3 \cdot 170)^2} = 830 \text{ мкм.}$$

Просторові відхилення для попереднього й чистового точіння:

$$\rho_{\text{пр.точ}} = K_{y1} \cdot \rho_{\text{заг}},$$

$$\rho_{\text{ок.точ}} = K_{y2} \cdot \rho_{\text{заг}},$$

де, K_{y1} – коефіцієнт уточнення форми:

$$\rho_{\text{пр.точ}} = 0,06 \cdot 800 = 48 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{чис.точ}} = 0,04 \cdot 830 = 33,2 \text{ мкм.}$$

На операції шліфування просторове відхилення мале й воно не враховується.

На операції попереднього точіння використаємо трьохкулачковий самоцентрувальний патрон $\epsilon_{\text{упр. точ.}} = 800$ мкм.

Для чистового точіння $\epsilon_{\text{уок. точ.}} = 100$ мкм (напрямок зсуву заготовки - радіальний).

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для попереднього шліфування $\varepsilon_{\text{упр. точ.}} = 90$ мкм (із закріпленням у повідковому патроні).

Визначаємо розрахункові значення мінімальних припусків по формулі:

$$2Z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2}),$$

$$2Z_{\min. \text{пр.точ.}} = 2 \cdot (160 + 200 + \sqrt{830^2 + 800^2}) = 3025,6 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min. \text{чис.точ.}} = 2 \cdot (100 + 100 + \sqrt{48^2 + 100^2}) = 621,8 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min. \text{шліф.}} = 2 \cdot (50 + 50 + \sqrt{33,2^2 + 90^2}) = 391,9 \text{ мкм};$$

Визначаємо розрахунковий розмір (d_p):

$$d_{pi} = d_{pi-1} + 2Z_{\min i-1},$$

$$d_{p. \text{шліф}} = d_{\min} = 40,002 \text{ мм};$$

$$d_{p. \text{чис.точ}} = 40,002 + 0,392 = 40,394 \text{ мм};$$

$$d_{p. \text{пр.точ}} = 40,394 + 0,622 = 41,016 \text{ мм};$$

$$d_{p. \text{заг.}} = 41,016 + 3,026 = 44,042 \text{ мм.}$$

Визначаємо граничний максимальний розмір ($d_{\max i}^{\text{пп}}$):

$$d_{\max i} = d_{\min i} + \delta_i$$

$$d_{\max. \text{пр.точ.}}^{\text{пп}} = 44,04 + 1,9 = 45,94 \text{ мм};$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_{\text{max.пр.точ.}}^{\text{пр}} = 41,02 + 0,12 = 41,14 \text{ мм};$$

$$d_{\text{max.чис.точ.}}^{\text{пр}} = 40,39 + 0,046 = 40,436 \text{ мм};$$

$$d_{\text{max.шліф.}}^{\text{пр}} = 40,002 + 0,016 = 40,018 \text{ мм}.$$

Граничні значення припусків $2Z_{\text{max}}^{\text{пр}}$ визначаємо як різницю найбільших граничних розмірів й $2Z_{\text{min}}^{\text{пр}}$ – як різницю найменших граничних розмірів попереднього переходу й переходів які виконуються:

$$2Z_{\text{пр. max. пр. точ.}} = 45,94 - 41,14 = 4,8 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{пр. max. чис. точ.}} = 41,14 - 40,436 = 0,704 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{пр. max. шл.}} = 40,436 - 40,018 = 0,418 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{пр. min. пр. точ.}} = 44,042 - 41,016 = 3,026 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{пр. min. чис. точ.}} = 41,016 - 40,394 = 0,622 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{пр. min. чис. шл.}} = 40,394 - 40,002 = 0,392 \text{ мм}.$$

Сумарний мінімальний припуск:

$$\sum 2Z_{\text{min.пр.}} = 2Z_{\text{min.пр.точ.}}^{\text{ін.}} + 2Z_{\text{min.чис.точ.}}^{\text{ін.}} + 2Z_{\text{min.пр.шліф.}}^{\text{ін.}} + 2Z_{\text{пр.мін.чис. шліф.}}$$

$$\sum 2Z_{\text{min}} = 3,026 + 0,622 + 0,392 = 4,04 \text{ мм}$$

Номінальний припуск визначається з урахуванням несиметричності розташування поля допуску заготовки.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$2Z_{\text{O.HOM}} = \sum 2Z_{\text{min}} + H_3 - H_d$$

де, H_3 – нижнє відхилення розміру заготовки $H_3 = -0,5$ мм;

H_d — нижнє відхилення розміру деталі $H_d = +0,018$ мм.

$$2Z_{0.HOM} = 4,04 - 0,5 - 0,018 = 3,522 \text{ MM.}$$

Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних операціях для поверхні Ø40к6 наведений у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок припусків і граничних розмірів для поверхні
Ø40к6

Технологічні переходи	Елементи припуску, мкм.				Розрахунковий припуск $2z_{\min}$, мкм.	Розрахунковий розмір d_p , мм.	Допуск δ , мкм.	Граничний розмір, мм.		Граничні значення припусків, мкм.	
	Rz	T	ρ	ϵ				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2z_{\min}^{\text{II}}_p$	$2z_{\max}^{\text{II}}_{\text{пр}}$
Заготовка	160	200	830	-	-	44,042	1900	44,042	45,94	-	-
Точіння чорнове	100	100	48	800	3025,6	41,016	120	41,016	41,14	3,026	4,8
Точіння чистове	50	50	33,2	100	621,8	40,394	46	40,394	40,436	0,622	0,704
Шліфування	5	10	0	90	392	40,002	16	40,002	40,018	0,392	0,418

Обробку поверхні Ø75h8 розподіляємо на 3 етапи - попереднє точіння, чистове точіння, шліфування.

План обработки Ø75h8

Визначаємо через коефіцієнт уточнення ($K_{\text{ут}}$) план обробки поверхні $\varnothing 75h8(-0,046 \text{ Ra}=0,8 \text{ мкм})$:

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заготовка

Rz 160 T = 200 мкм; $\delta_{\text{заг}} = 2,3$ мм;

(штампування)

1. Обточування попереднє Rz100 T = 100мкм $\delta_{\text{ін. точ.}} = 0,12$ мм;
2. Обточування чистове Rz50 T = 50мкм $\delta_{\text{чис. точ.}} = 0,046$ мм;
3. Шліфування Rz5 T = 10мкм $\delta_{\text{шліф.}} = 0,046$ мм;

T - глибина дефектного шару, мкм.

Визначаємо допустиму похибку заготовки:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2}$$

де, $\rho_{\text{див}}$ – допустима похибка прокату по зсуві осей;

$\rho_{\text{кор}}$ – загальна кривизна заготовки.

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta \kappa L,$$

де

L - найбільший розмір заготовки, мм;

L - 170 мм.

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{800^2 + (1,3 \cdot 170)^2} = 830 \text{ мкм}$$

Просторові відхилення для попереднього й чистового точіння:

$$\rho_{\text{пр.точ}} = K_{y1} \cdot \rho_{\text{заг}},$$

$$\rho_{\text{ок.точ}} = K_{y2} \cdot \rho_{\text{заг}},$$

де, K_{y1} – коефіцієнт уточнення форми.

$$\rho_{\text{пр.точ}} = 0,06 \cdot 800 = 48 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{чис.точ}} = 0,04 \cdot 830 = 33,2 \text{ мкм}.$$

На операції шліфування просторового відхилення маленьке й воно не враховується.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На операції попереднього точіння використаємо трьохкулачковий самоцентрувальний патрон $\varepsilon_{\text{упр. точ.}} = 800$ мкм.

Для чистового точіння $\varepsilon_{\text{ук. точ.}} = 100$ мкм (напрямок зсуву заготовки - радіальний).

Для попереднього шліфування $\varepsilon_{\text{упр. точ.}} = 90$ мкм (із закріпленням у повідковому патроні).

Визначаємо розрахункові значення мінімальних припусків по формулі:

$$2Z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2})$$

$$2Z_{\text{min. пр. точ.}} = 2 \cdot (160 + 200 + \sqrt{830^2 + 800^2}) = 3025,6 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\text{min. чис. точ.}} = 2 \cdot (100 + 100 + \sqrt{48^2 + 100^2}) = 621,8 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\text{min. шліф.}} = 2 \cdot (50 + 50 + \sqrt{33,2^2 + 90^2}) = 391,9 \text{ мкм};$$

Визначаємо розрахунковий розмір (d_p):

$$d_{pi} = d_{pi-1} + 2Z_{\text{mini-1}},$$

$$d_{\text{р. шліф}} = d_{\text{мін}} = 74,954 \text{ мм};$$

$$d_{\text{р. чис. точ}} = 74,954 + 0,392 = 75,346 \text{ мм};$$

$$d_{\text{р. пр. точ}} = 75,346 + 0,622 = 75,968 \text{ мм};$$

$$d_{\text{р. заг.}} = 75,968 + 3,026 = 78,994 \text{ мм}.$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Попередній мінімальний розмір ($d_{\min.\text{пр}}$) визначається округленням розрахункового розміру (d_{pi}) до сотих часток (для вала – у більшу сторону, для отвору – у меншу).

Визначаємо граничний максимальний розмір ($d_{\max i}^{\text{пр}}$):

$$d_{\max i} = d_{\min i} + \delta_i$$

$$d_{\max.\text{заг.}}^{\text{пр}} = 78,99 + 2,3 = 81,29 \text{ мм};$$

$$d_{\max.\text{пр.точ.}}^{\text{пр}} = 75,97 + 0,12 = 76,09 \text{ мм};$$

$$d_{\max.\text{чис.точ.}}^{\text{пр}} = 75,35 + 0,046 = 75,40 \text{ мм};$$

$$d_{\max.\text{шліф.}}^{\text{пр}} = 74,95 + 0,046 = 75,00 \text{ мм}.$$

Граничні значення припусків $2Z_{\max}^{\text{пр}}$ визначаємо як різницю найбільших граничних розмірів й $2Z_{\min}^{\text{пр}}$ – як різницю найменших граничних розмірів попереднього переходу й переходів які виконуються:

$$2Z_{\text{пр. макс. пр. точ.}} = 81,29 - 76,09 = 5,20 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{пр. макс. чис. точ.}} = 76,09 - 75,39 = 0,70 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{пр. макс. шл.}} = 75,40 - 75,00 = 0,40 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{пр. min. пр. точ.}} = 78,99 - 75,97 = 3,02 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{пр. min. чис. точ.}} = 75,97 - 75,35 = 0,62 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{пр. min. чис. шл.}} = 75,35 - 74,95 = 0,40 \text{ мм}.$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання робимо для операції чорнового точіння поверхні Ø 75h8 і шліфування поверхні Ø 40K6. На інші операції режими різання призначаємо табличним методом.

Розрахунок режимів різання для операції чорнового точіння поверхні Ø 75h8.

Глибина різання:

$$t = \frac{D - d}{2},$$

де, D=82 мм - діаметр заготовки;

d=76 мм - діаметр обробленої поверхні.

$$t = \frac{82 - 76}{2} = 3 \text{ мм}$$

Призначаємо подачу.

Для прийнятих умов обробки рекомендує подача, що, приймається 0,4 - 0,8 мм/хв

Приймаємо S=0,6мм/хв.

Швидкість різання в «V» міліметрах на хвилину визначається по формулі:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{xv} \cdot S^{yv}} \cdot K_v,$$

де, C_v =350 – коефіцієнт, що характеризує оброблюваний матеріал і ступінь його оброблюваності;

m=0,2; x=0,15; y=0,35 – показники степенів;

T=60 хв - період стійкості різця;

K_v – загальний поправочний коефіцієнт для змінених умов різання.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальний поправочний коефіцієнт для змінених умов різання « K_V » визначається по формулі:

$$K_V = K_M \cdot K_n \cdot K_i,$$

де, K_M – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки;

$K_n = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні;

$K_i = 0,65$ – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента.

Коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки « K_M » визначається по формулі:

$$K_M = \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_V},$$

де, $\sigma_B = 750$ МПа – межа міцності оброблюваного матеріалу;

$n = 1,0$ – показник степеня.

Тоді:

$$K_M = \left(\frac{750}{750} \right)^1 = 1,0$$

$$K_V = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,65 = 0,52$$

$$V_{II} = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 2,6^{0,15} \cdot 0,6^{0,35}} \cdot 0,52 = 83 \text{ м/хв}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя, що відповідає знайдений швидкості різання.

Частота обертання шпинделя « n » в обертах на хвилину визначається по формулі

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

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n = \frac{1000 \cdot 83}{3,14 \cdot 81,29} = 325 \text{ об/хв}$$

Коректуємо частоту обертання шпинделя за паспортним даними верстата й приймаємо $n=315$ об/хв .

Визначаємо фактичну швидкість різання.

Фактична швидкість різання « V_Φ » у метрах у хвилину визначається по формулі:

$$V_\Phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} ,$$

$$V_\Phi = \frac{3,14 \cdot 81,29 \cdot 315}{1000} = 80 \text{ м/хв} .$$

Визначаємо силу різання.

Сила різання « P_z » у Ньютонах визначається по формулі:

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

де, $C_p=300$ – коефіцієнт;

$x=1,0$; $y=0,75$; $n=-0,15$ - показники степенів;

K_p – поправочний коефіцієнт.

Сила різання « P_x » у Ньютонах:

де, $C_p=339$ – коефіцієнт;

$x=1,0$; $y=0,5$; $n=-0,4$ - показники степенів;

K_p – поправочний коефіцієнт.

Поправочний коефіцієнт « K_p » визначається по формулі:

$$K_p = K_{MP} \cdot K_{\Phi P} \cdot K_{\gamma P} ,$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, K_{MP} – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності;

$K_{\phi P}=1,0$; $K_{\gamma P}=1,0$; – поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструмента на силу різання.

Поправочний коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності « K_{MP} » визначається по формулі:

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n,$$

де, $n=0,75$ - показник степеня.

$$K_{MP} = \left(\frac{750}{750} \right)^{0,75} = 1,0$$

Тоді:

$$K_P = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

$$P_Z = 10 \cdot 300 \cdot 2,6^1 \cdot 0,6^{0,75} \cdot 80^{-0,15} \cdot 1,0 = 2776 \text{ Н}$$

$$P_X = 10 \cdot 339 \cdot 2,6^1 \cdot 0,6^{0,5} \cdot 80^{-0,4} \cdot 1,0 = 1183 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання.

Потужність різання « N_{PE3} » у кіловатах визначається по формулі:

$$N_{PE3} = \frac{P_Z \cdot V}{1020 \cdot 60},$$

$$N_{PE3} = \frac{2776 \cdot 80}{1020 \cdot 60} = 3,62 \text{ кВт}$$

Перевіряємо, чи достатня потужність привода верстата: $N_{PE3} \leq N_{ШП}$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність привода верстата $N_{\text{ШП}} = 10 \cdot 0,75 = 7,5$ кВт.

Отже, обробка можлива, тому що $N_{\text{РІЗ}} \leq N_{\text{ШП}}$, тобто $3,62 \leq 7,5$.

Визначаємо основний час на виконання переходу.

Основний час на виконання переходу «ТЕ» у хвилинах визначається по формулі:

$$T_E = \frac{L \cdot i}{n \cdot S},$$

де, L - довжина проходу різця, мм;

$i=1$ - кількість проходів.

$$T_E = \frac{30 \cdot 1}{315 \cdot 0,6} = 0,21 \text{ хв.}$$

Розрахунок режимів різання для операції круглого зовнішнього шліфування поверхні $\varnothing 40 \text{ k6}$.

Для обраного шліфувального кола вибираємо основні параметри різання при круглому зовнішньому шліфуванні:

- швидкість круга - $V_k = 30 \text{ м/с}$;
- швидкість заготовки - $V_z = 20 \text{ м/хв}$;
- глибина шліфування - $t = 0,015 \text{ мм}$;
- позадвжня подача.

$$S_{\text{пр}} = (0,3 \dots 0,7) V_k = 0,3 \cdot 63 = 18,9 \text{ мм/ДВ. х.}$$

де, V_k - ширину круга.

Ефективна потужність при шліфуванні:

$$N = C_N \cdot V_z^R \cdot t^x \cdot S_{\text{пр}}^y \cdot d^z = 1,3 \cdot 20^{0,75} \cdot 0,015^{0,85} \cdot 18,9^{0,7} = 0,75 \text{ кВт}$$

де, $C_N = 1,3$, $R = 0,75$, $x = 0,85$, $y = 0,7$.

Основний час шліфування:

$$T_0 = \frac{L \cdot h}{n_z \cdot t \cdot S_{\text{прод}}} \cdot K = \frac{76,5 \cdot 0,4}{158 \cdot 0,015 \cdot 18,9} \cdot 1,4 = 0,68,$$

де, L - довжина ходу стола.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L=1+0,5B_k=45+0,5\cdot 63=76,5 \text{ мм.}$$

де, L - довжина поверхні, яка шліфується мм;

0,5B_к – довжина врізання кола, мм;

n_з – частота обертання заготовки:

$$n_z = \frac{1000 \cdot V_z}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 20}{3,14 \cdot 40,4} = 158 \text{ хв}^{-1}$$

де, h=0,4мм - припуск на обробку.

2.6 Визначення трудомісткості виготовлення виробу

Штучний час «Т_{шт}» у хвилинах визначається по формулі:

$$T_{шт} = \Sigma T_{осн} + \Sigma T_v + T_{обс} + T_{отл}$$

де $\Sigma T_{осн}$ - сумарний основний час по всіх технологічних переходах, хв;

ΣT_v - сумарний допоміжний час по всіх переходах, хв.

Основний час по всіх технологічних переходах розраховується згідно режимів обробки.

Допоміжний час по кожному переході визначається по нормативах.

Сума основного часу й допоміжного становить оперативний час.

$$T_{оп} = \Sigma T_{осн} + \Sigma T_v,$$

Час на обслуговування робочого місця (T_{обс}) і час на відпочинок й особисті потреби (T_{оп.л}) приймається у відсотках від оперативного.

$$(T_{обс})=6-8\% ; (T_{оп.л})=2-4\%$$

Норма штучного часу на технологічну операцію «Т_{шт}» визначається по формулі:

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{ш} = T_{оп} \left(1 + \frac{a_{обс} + a_{от.л}}{100} \right),$$

де, $T_{оп}$ - оперативний час, хв;

$a_{обс}$ - час на обслуговування робочого місця, приймається у відсотках від оперативного часу, $a_{обс}=7\%$;

$a_{от.л}$ - час на відпочинок й особисті потреби, приймається у відсотках від оперативного часу, $a_{от.л}=3\%$.

Таблиця 2.6 - Результати розрахунку трудомісткості виготовлення виробу

№ операції	Назва операції	$T_E, хв$	$T_B, хв$	$T_{шт.}, хв$
05	Фрезерно-центрувальна	1,45	0,75	2,4
10	Токарна	1,18	0,17	1,35
15	Токарна	0,93	0,17	1,2
20	Термічна	-	-	-
25	Токарна	0,34	0,17	0,55
30	Токарна	0,56	0,17	0,8
35	Токарна	0,05	0,35	0,44
40	Шпоночно-фрезерна	2,6	1,7	4,7
45	Круглошліфувальна	2,41	0,6	3,1
50	Зубофрезерна	17	1,5	20,2
55	Термічна	-	-	-
60	Зубошліфувальна	16,3	2,6	20,7
Усього		42,82	8,18	55,44

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7 Проектування операційного технологічного процесу

Після проектування маршрутного технологічного процесу, розрахунку припусків, визначення міжопераційних розмірів і допусків на них, виконання креслення заготовки проектують операційний технологічний процес.

Розробку операційного ТП виконують у наступній послідовності:

- 1 Остаточнo визначають зміст кожної технологічної операції, установлюють необхідні технологічні переходи;
- 2 Остаточнo вибирають модель устаткування;
- 3 З'ясовують потреби в спеціальних пристосуваннях, уточнюють принцип їхньої роботи, визначають можливість одночасної обробки декількох виробів;
- 4 Вибирають ріжучі й вимірювальні інструменти з номенклатури стандартних або нормалізованих, визначають потреби в спеціальних інструментах і пристосуваннях;
- 5 Оформляють технологічний процес у вигляді операційних карт і карт ескізів.

Заповнення операційних карт необхідно виконувати у відповідності зі стандартом.

Після заповнення операційних технологічних карт, розрахунку режимів різання й норм часу на кожній операції проектують ескізи технологічних операцій.

2.8 Вибір засобів і методів контролю виробу

Контроль виробу відповідно до даного технологічного процесу здійснюється поопераційно. Остаточний контроль проводиться ОТК. У якості вимірювальних і контрольних інструментів при виготовленні деталі використаємо: калібру-скоби, штангенциркуль, калібр пробка шліцевий, а також було спроектовано універсальне вимірювальне пристосування для контролю зубів, що значно підвищило точність вимірювання.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У серійному виробництві для зниження часу на виміри безпосередньо в процесі обробки, тобто не знімаючи заготовлю з верстата, використовують калібри.

Перевагами калібрів є: Простота конструкції, відносна легкість виготовлення, а отже, і невисока вартість, контроль в умовах, наближених до умов зборки, що забезпечує з високою ймовірністю збирання деталей і забезпечення взаємозамінності, висока зносостійкість.

Принцип виміру калібрами-скобами полягає в контролі деталі прохідною й непрохідною стороною калібру. При контролі деталі прохідна сторона калібру-скоби обмежує його найбільший граничний розмір. Деталь буде придатна, якщо прохідна сторона калібру проходить, а непрохідна не проходить через перевіряє деталь, що, це означає, що дійсний розмір деталі перебуває між його найбільшими й найменшим граничними розмірами.

Контроль візуальним методом або дотиком забезпечує правильні результати для поверхонь із висотою нерівностей $R_z = 10-16$ мкм (6-8-й класи шорсткості). Параметри шорсткості таврують на зразку.

2.9 Проектування контрольного пристосування

При виготовленні вала-шестерні необхідно контролювати радіальне биття зовнішніх циліндричних поверхонь $\varnothing 40k6$ і зубчастого вінця в розмірі 0,01мм й 0,04мм. Для цього спроектоване контрольне пристосування, ескіз якого наведений на рисунку 2.2.

Пристосування складається з опорної плити 1. На стійці 2 гвинтами 17 кріпиться втулка 3. У ній установлюється центр 4, що підпружинюється пружиною 5. Центр обертається за рахунок маховика 7. На стійці 12 установлюється нерухомий центр 13.

Контроль параметрів точності здійснюється при провертанні деталі встановленої в центрах, індикаторами годинникового типу, які

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлюються в штанзі 10. При установці деталі кронштейн із індикаторами повертається на 90°.

Основним розрахунком пристосування є розрахунок на точність. Загальна похибка пристосування $\Delta_{\text{обш}}$ не повинна перевищувати допуску на вимірюваний розмір T_p .

$$\Delta_{\text{обш}} \leq T_p.$$

Загальна похибка вимірювання розраховується по формулі:

$$\Delta_{\text{обш}} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2},$$

де, Δ_1 - похибка установки центрів;

$$\Delta_1 = 0.5 \cdot T_1 = 0.5 \cdot 0.03 = 0.015 \text{ мм}$$

Δ_2 - половина ціни розподілу індикатора;

$$\Delta_2 = 0.5 \cdot 0.01 = 0.005 \text{ мм}$$

Тоді:

$$\Delta_{\text{обш}} = \sqrt{0.015^2 + 0.005^2} = 0.016 \text{ мм}$$

Допуск становить 0,046 мм.

Таким чином, умова $\Delta_{\text{обш}} \leq T_p$ ($0,016 < 0,046$) виконується, отже, індикаторне пристосування відповідає пропонованим вимогам.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

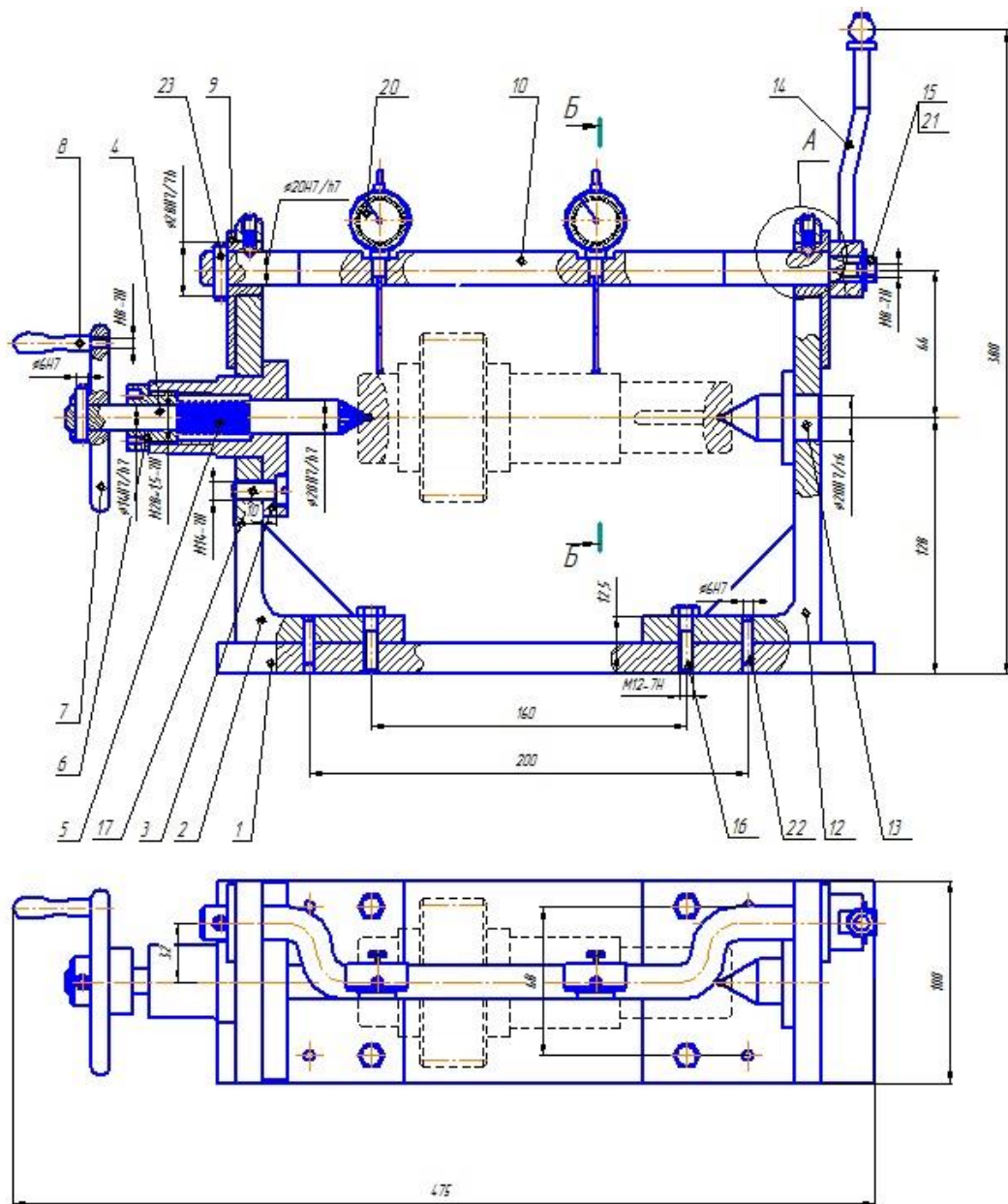


Рисунок 2.2 - Контрольне пристосування

2.10 Проектування затискного пристосування

Для операції точіння спроектований 3х-кулачковий патрон з механізованим приводом для переміщення кулачків при затисканні й розтисканні деталі, що обробляється на верстаті. Пневмопривід встановлений на задньому кінці шпинделя токарного верстата, складається із пневмоциліндра 4, у якому розміщується поршень 8 зі штоком 9, кришки 3, в

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отвір якої запресований хвостовик1, і необертової повітророзподільної муфти 2 із двома штуцерами 20 й 22 для підведення стиснутого повітря.

Від розподільного крана стиснуте повітря по трубопроводом підводить до штуцера 22, потім, пройшовши по каналах у хвостовику 1, кришці 3 і пневмоциліндрі 4, надходить у штокову порожнину й переміщає поршень 8 зі штоком 9 вліво. При цьому шток через тягу 16 і гвинт переміщає втулку 10 у корпусі вліво. У корпусі патрона на осях встановлені три важелі 11 з відношенням плеч 3:1. На кінцях важелів рухомо встановлені сухарі, які входять у пази втулки 10 й у пази підстави кулачків 13. При русі вліво втулка 10 повертає на осях важелі 11, короткі плечі яких переміщують кулачки до центра, і деталь затискається.

Установка кулачків на необхідний розмір оброблюваних деталей здійснюється обертанням гвинта 12, на кінці якого є зубчасте колесо 14, що перебуває в зачепленні із плоским центральним зубчастим колесом 15. При обертанні зубчасте колесо 15 через зубчасті колеса 14 повертає інші гвинти 12, які переміщують всі кулачки в положення, що відповідає розміру оброблюваної деталі

Виконаємо силовий розрахунок пристосування.

Схема сил, що діють на заготовку в процесі обробки, наведена на малюнку 2.3.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

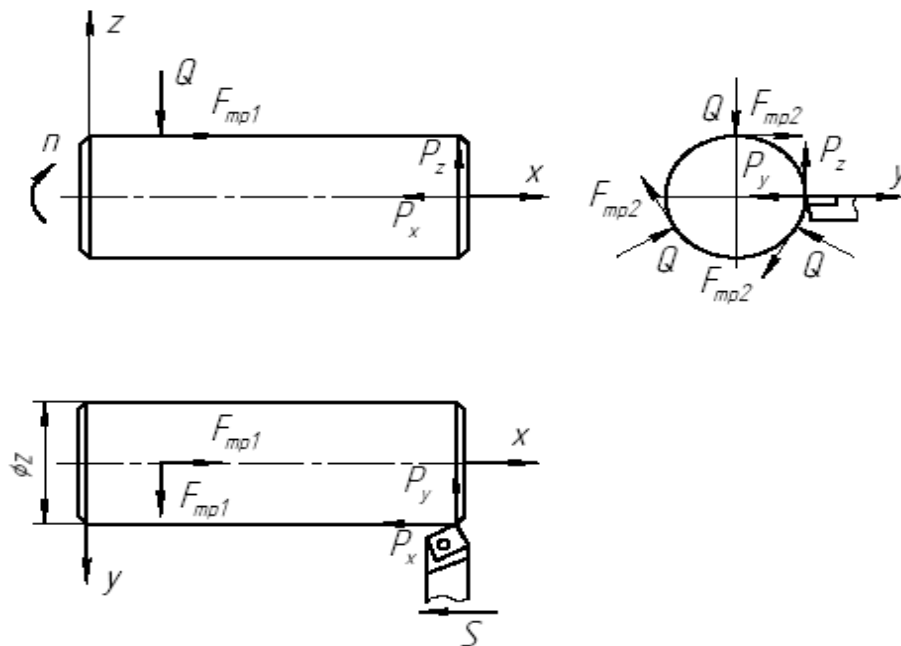


Рисунок 2.3 - Схема сил, що діють на заготовку в процесі обробки

Закріплення заготовки здійснюється силою затиску Q , що прикладається до заготовки від кулачка патрона. При цьому значення сили затискача повинне бути таким, щоб виключалася можливість повороту заготовки в патроні від дії колової сили.

Силу затискача « Q » у Ньютонах визначаємо по формулі:

$$Q = \sqrt{\left(\frac{F_1}{f_1}\right)^2 + \left(\frac{F_2}{f_2}\right)^2} \cdot K ,$$

де, F_1 F_2 – сили тертя, Н

f_1 й f_2 - коефіцієнти тертя;

K - коефіцієнт запасу.

Для того, щоб виразити сили тертя через складові сили різання, запишемо рівняння статки:

$$\sum M_{ox} = 0;$$

$$F_1 \cdot \frac{D_2}{2} - P_z \cdot \frac{D_1}{2} = 0;$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum P_{OX} = 0;$$

$$F_2 - P_x = 0;$$

З рівнянь маємо:

$$F_1 = \frac{P_z \cdot D_1}{D_2},$$

$$F_2 = P_x,$$

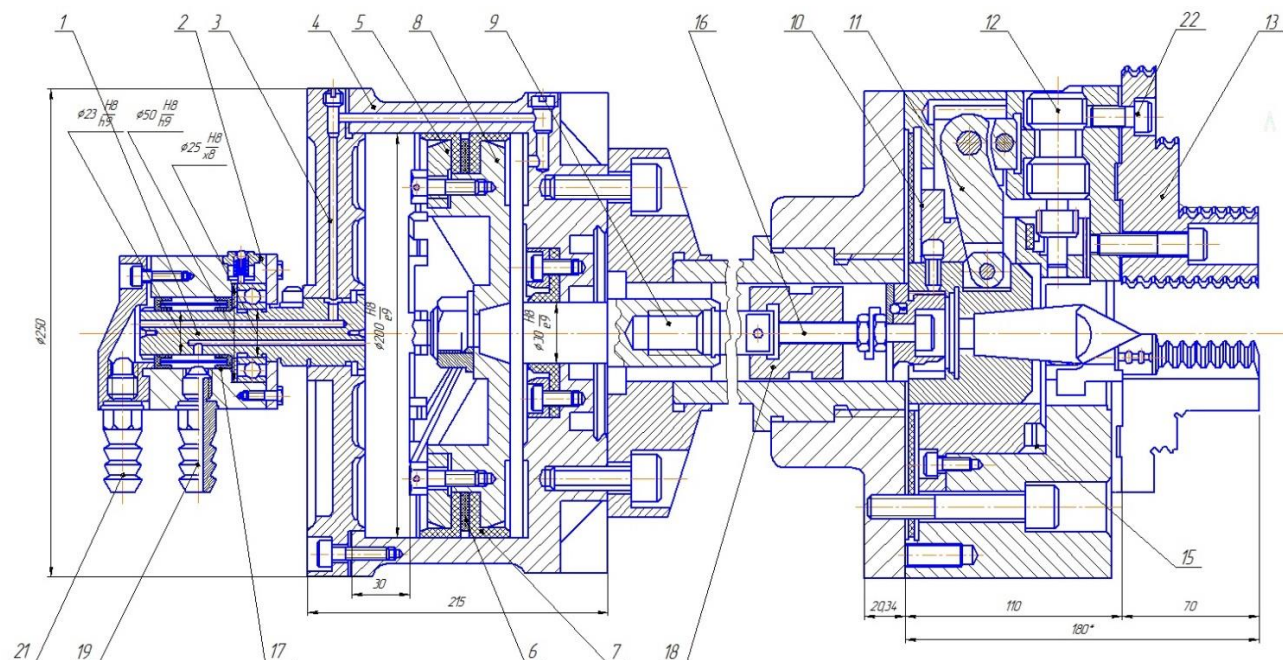


Рисунок 2.4 - Ескіз затискного пристосування

З рівнянь маємо:

$$F_1 = \frac{P_z \cdot D_1}{D_2},$$

$$F_2 = P_x,$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставимо значення сил тертя в рівняння сили затискача:

$$Q = \sqrt{\left(\frac{P_z \cdot D_1}{f_1 \cdot D_2}\right)^2 + \left(\frac{P_x}{f_2}\right)^2} \cdot K,$$

Коефіцієнт запасу «K» визначаємо по формулі:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6,$$

де, $K_0=1,5$ – гарантований запас;

$K_1=1,2$ – коефіцієнт, який враховує вид операції;

$K_2=1 \dots 1,8$ – коефіцієнт, який враховує вид обробки;

$K_3=K_4=K_5=1,0$ – коефіцієнт, який враховує вид привода;

$K_6=1,0$ – коефіцієнт, який враховує характер контакту з базовою поверхнею заготовки.

$$Q = \sqrt{\left(\frac{2756 \cdot 81,29}{0,8 \cdot 81,29}\right)^2 + \left(\frac{1183}{0}, 8\right)^2} \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 944 \text{ Н}$$

Силу на штоку привода «W» визначаємо по формулі:

$$W = Q \cdot \frac{L_1}{L_2} \cdot K_1 \cdot K_2,$$

де, L_1, L_2 - довжина короткого й довгого плечей 2-х плечового важеля;

$K_1=(1,1 \dots 1,25)$ – коефіцієнт, який враховує втрати на тертя;

$K_2=(1,05 \dots 1,2)$ – коефіцієнт враховуючої втрати на тертя осі важеля.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q = 9448 \cdot \frac{30}{40} \cdot 1,15 \cdot 1,1 = 8964$$

Визначаємо діаметр поршня пневмоциліндра «D» по формулі:

$$D_{\text{н}}^2 - D_{\text{в}}^2 = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot P \cdot \eta}$$

де, $D_{\text{н}}$ - зовнішній діаметр поршня пневмоциліндра;

$D_{\text{в}}$ - внутрішній діаметр поршня пневмоциліндра;

$P=0,4$ Мпа - тиск повітря в пневмосистемі;

$\eta=0,9$ - к. п. д. пневмоприводу.

$$D_{\text{пн}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8964}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,9} + 150^2} = 198,6_{\text{мм}}$$

Приймаємо зі стандартного ряду $D_{\text{пн}}=200$ мм.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок даних для проектування

Вихідні дані: найбільший діаметр 63 мм.

Найбільша довжина 200 мм.

Найменший діаметр 6,3 мм.

Чорнове точіння на максимальному діаметрі:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{xv} \cdot S_{CT}^{Yv}} \cdot k_v = \frac{420}{30^{0,2} \cdot 1,5^{0,15} \cdot 0,2^{0,2}} \cdot 0,65 = 179,5 \text{ м/хв},$$

де $C_v = 420$; $m = 0,2$; $x_v = 0,15$; $Y_v = 0,2$ – значення постійного коефіцієнта і показників ступеня;

k_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує задані умови обробки:

$$k_v = k_{mv} \cdot k_{nv} \cdot k_{uv} \cdot k_{\varphi v} \cdot k_{\varphi 1v} \cdot k_{rv} \cdot k_{qv} \cdot k_{0v} = \\ = 1 \cdot 0,65 \cdot 1 = 0,65$$

де $k_{mv} = 1$; $n_v = 1,7$;

$k_{nv} = 0,65$;

$k_{uv} = 1$;

$T = 30$ хв – період стійкості різця.

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 179,5}{3,14 \cdot 63} = 907,39 \text{ хв}^{-1}$$

Визначаємо силу різання P_z :

$$P_z = 9,8 \cdot C_{Pz} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot S_{CT}^{Y_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} \cdot k_{Pz} = \\ = 9,8 \cdot 300 \cdot 1,5^1 \cdot 0,2^{0,75} \cdot 179,5^{-0,15} \cdot 0,98 = 593,37 \text{ Н}$$

					КРБ 22-037.00.00.000					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.	Данильченко				КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Лещук									
Консульт.								ТНТУ, зр. МВ-41		
Н. Контр.	Кобельник									
Зав.каф.	Крупа									

де $C_{Pz}=300$ – коефіцієнт що враховує умови обробки;

$X_{Pz}=1$; $Y_{Pz}=0,75$; $n_{Pz}=-0,15$ – показники ступені, відповідно, при глибині, подачі і швидкості різання;

$$k_{Pz} = k_{MP} * k_{\varphi P} * k_{\gamma P} * k_{\lambda P} * k_{GP} = 1 * 0,89 * 1,1 * 1 = 0,98,$$

$$k_{\varphi P}=0,89; k_{\gamma P}=1,1; k_{\lambda P}=1;$$

$$k_{MP} = 1 ;$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 179.5}{3.14 * 63} = 907,39 \text{ xB}^{-1}$$

Визначаємо силу різання P_z :

$$P_z = 9,8 * C_{Pz} * t^{X_{Pz}} * S_{CT}^{Y_{Pz}} * V^{n_{Pz}} * k_{Pz} =$$
$$= 9,8 * 300 * 1,5^1 * 0,2^0,75 * 179,5^{-0,15} * 0,98 = 593,37 \text{ Н}$$

де $C_{Pz}=300$ – коефіцієнт що враховує умови обробки;

$X_{Pz}=1$; $Y_{Pz}=0,75$; $n_{Pz}= -0,15$ – показники ступені, відповідно, при глибині, подачі і швидкості різання;

$$k_{Pz} = k_{MP} * k_{\varphi P} * k_{\gamma P} * k_{\lambda P} * k_{GP} = 1*0,89*1,1*1=0,98$$

де k_{Pz} – загальний поправочний коефіцієнт;

$$k_{\varphi P}=0,89; k_{\gamma P}=1; k_{\lambda P}=1;;$$

$$k_{MP} = 1 ;$$

Визначаємо потужність при чорновому точінні:

$$N = \frac{P_z * v}{60 * 1000} = \frac{593,37 * 179,5}{60 * 1000} = 1,77 \text{ кВт}$$

Чистове точіння на мінімальному діаметрі:

$$V = \frac{C_v}{T^m * t^{xv} * S_{CT}^{yv}} * k_v \frac{420}{= 90^{0,2} * 0,3^{0,15} * 0,05^{0,2}} * 1 = 372,4 \text{ м/хв},$$

де $C_v=420$; $m=0,2$; $x_v=0,15$; $y_v=0,2$ – значення постійного коефіцієнта і показників ступеня.;

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

k_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує задані умови обробки:

$$k_v = k_{mv} * k_{nv} * k_{uv} * k_{\varphi v} * k_{\varphi 1v} * k_{rv} * k_{qv} * k_{0v} = 1 * 1 * 1 = 1$$

де $k_{mv} = 1$;

$k_{nv} = 1$;

$k_{uv} = 1$;

$T = 90$ хв – період стійкості різця.

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 372,4}{3,14 * 6,3} = 18825 \text{ хв}^{-1}$$

Врізання на максимальному діаметрі:

Розрахунок швидкості різання:

$$V = \frac{C_v}{T^m * S_{\text{ст}}^{y_v}} * k_v = 23,7 \frac{7}{30^{0,25} * 0,66^{0,66}} * 1 = 46,28 \text{ м/хв},$$

де $C_v = 23,7$; $m = 0,25$; $y_v = 0,66$ – значення постійного коефіцієнта і показників ступеня;

k_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує задані умови обробки:

$$k_v = k_{mv} * k_{nv} * k_{uv} * k_{\varphi v} * k_{\varphi 1v} * k_{rv} * k_{qv} * k_{0v} = 1 * 1 * 1 = 1$$

де $k_{mv} = 1$;

$k_{nv} = 1$;

$k_{uv} = 1$;

$T = 30$ хв – період стійкості різця.

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 46,28}{3,14 * 6,3} = 233,9 \text{ хв}^{-1}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо силу різання при відрізанні:

$$P_z = 9,8 * C_{Pz} * t^{X_{Pz}} * S_{CT}^{Y_{Pz}} * V^{n_{Pz}} * k_{Pz} =$$

$$= 9,8 * 247 * 2^1 * 0,1^1 * 1,08 = 522,8 \text{ Н}$$

де $C_{Pz}=247$ – коефіцієнт що враховує умови обробки;

$X_{Pz}=1$; $Y_{Pz}=1$; $n_{Pz}= 0$ – показники ступені, відповідно, при глибині, подачі і швидкості різання;

$$k_{Pz} = k_{MP} * k_{\varphi P} * k_{\gamma P} * k_{\lambda P} * k_{GP} = 1*1,08*1*1=1,08$$

де k_{Pz} – загальний поправочний коефіцієнт;

$$k_{\varphi P}=1,08; k_{\gamma P}=1; k_{\lambda P}=1;;$$

$$k_{MP} = 1 ;$$

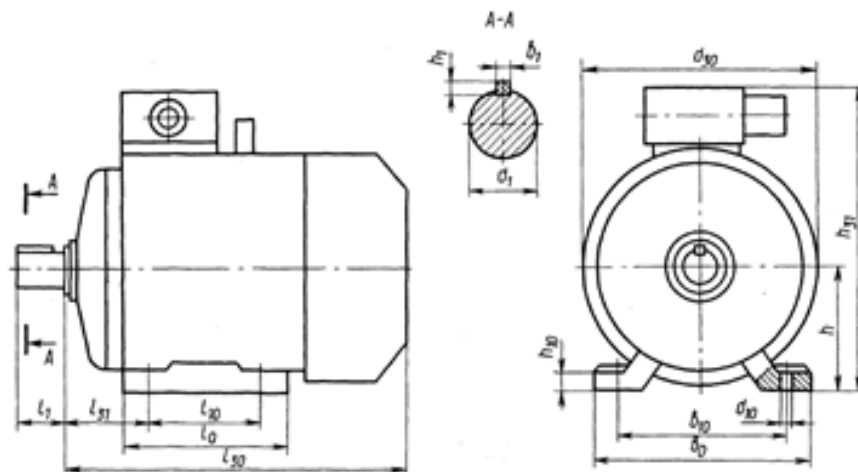
3.2 Вибір електродвигуна

Визначаємо необхідну потужність двигуна:

$$N_{дв} = \frac{N_{еф}}{\eta} = 1, \frac{77}{0},9 = 1,97 \text{ кВт}$$

Вибираємо електродвигун типу 1PH7101 фірми «Siemens».

Потужність $P = 3,7 \text{ кВт}$, $n_{ном} = 1500 \text{ хв}^{-1}$, $n_{max} = 12000 \text{ хв}^{-1}$;



$$D_{дв} = \frac{n_{дв.мах}}{n_{дв.ном}} = \frac{12000}{1500} = 8$$

Визначаємо діапазон регулювання швидкості шпинделя при постійній потужності:

$$D_{шп} = \frac{n_{шп.мах}}{n_{чорн.}} = \frac{18825}{907} = 20,75$$

Визначаємо кількість діапазонів регулювання швидкостей:

$$Z_k = \frac{\ln * D_{шп}}{\ln \varphi_k} = \ln 20,75 / \ln 1,28^8 = 1,6 = 2$$

Будуємо графік частот обертання:

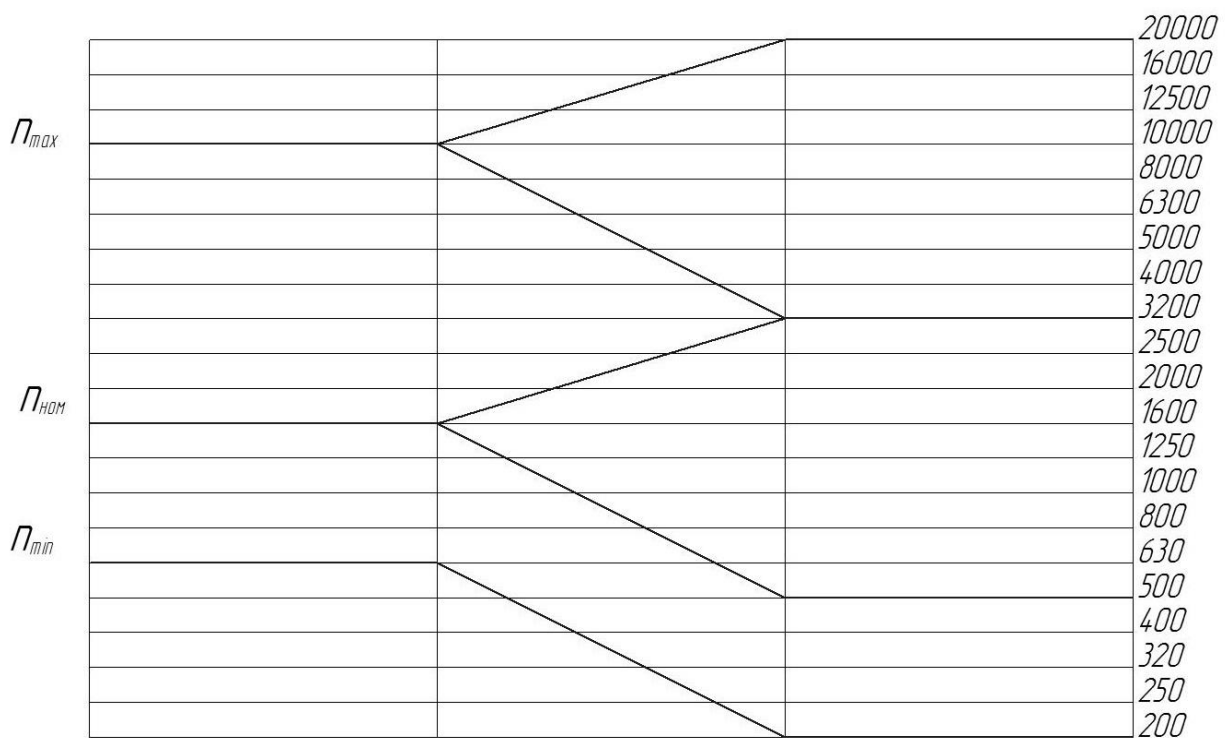


Рисунок 3.2 – Графік частот обертання

Табл. 3.1 – Розрахунок зубчастих коліс

φ^3	$\frac{2}{1}$	3	7	$\frac{14}{7}$	$\frac{56}{28}$
$\frac{1}{\varphi^5}$	$\frac{5}{16}$	21	1	$\frac{5}{16}$	$\frac{20}{64}$

Н.О.К. = 21

3.3 Розрахунок прямозубої циліндричної передачі 1-2

Проектувальний розрахунок

Призначення матеріалів і розрахунок допустимих напружень.
Приймається для виготовлення шестерні й колеса Сталь 45 з термообробкою-поліпшення.

Обґрунтування. Зуби нарізають після ТО заготовки, при цьому досягається достатня точність виготовлення зубчастих коліс без використання дорогих фінішних операцій. Колеса добре підпрацьовуються.

- для шестерні - твердість поверхні зубів $H_1 = 269..302$ нв ;
 $\sigma_{B1} = 890$ мПа ; $\sigma_{T1} = 650$ МПа. .

- для колеса – твердість поверхні зубів $H_2 = 235..262$ нв ;
 $\sigma_{B2} = 780$ мПа ; $\sigma_{T2} = 540$ МПа. .

Доступні контактні напруження:

$$[\sigma]_H = \frac{\sigma_{H \lim} b}{S_H} K_{HL} * Z_R * Z_V * K_L * K_{HN};$$

Для шестерні:

$$\sigma_{H \lim} b = 2H_{HB} + 70 = 2 * 285 + 70 = 640 \text{ мПа.}$$

$$S_H = 1,1 ;$$

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO1}}{N_{HE1}}} = \sqrt[6]{\frac{23374855}{599418840}} = 0,58 < 1, \text{ Приймається } K_{HL} = 1.$$

$$N_{HO1} = 30 * H_{HB,4}^2 = 30 * 285^2,4 = 23374855;$$

$$N_{HE1} = 60 * n_1 * \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^3 * t_i \right] = 60 * 1144 * \left(\frac{P}{P} \right)^3 * 5000 + \left(0, \frac{7P}{P} \right)^3 * 4500 + \left(0, \frac{5P}{P} \right)^3 * 3000 == 599418840.$$

$$Z_R = 1 \text{ (приймається } Ra = 1,25 \dots 0,63);$$

$$Z_V = 1 \text{ (очікується } V < 5 \text{ м/с);}$$

$$K_L = 1 \text{ (закрита передача, що добре змащується);}$$

$$K_{HN} = 1 \text{ (очікується діаметр коліс менше 700 мм).}$$

$$[\sigma]_{H1} = \frac{640}{1},1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 = 582 \text{ мПа.}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для колеса:

$$\sigma_{Hlimb} = 2H_{HB} + 70 = 2 * 250 + 70 = 570 \text{ МПа.}$$

$$S_H = 1,1 ;$$

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO2}}{N_{HE2}}} = \sqrt[6]{\frac{17067789}{374636775}} = 0,59, \text{ приймається } K_{HL} = 1;$$

$$N_{HO2} = 30 * H_{HB}^2,4 = 30 * 250^2,4 = 17067789 ;$$

$$N_{HE2} = \frac{H_{HE1}}{U_{1-2}} = \frac{599418840}{1},6 = 374636775;$$

$$Z_R = 1 \text{ (приймається } Ra = 1,25 \dots 0,63);$$

$$Z_V = 1 \text{ (очікується } V < 5 \text{ м/с);}$$

$$K_L = 1 \text{ (закрита передача, що добре змащується);}$$

$$K_{HN} = 1 \text{ (очікується діаметр коліс менше 700 мм).}$$

$$[\sigma]_{H2} = \frac{570}{1},1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 = 518 \text{ МПа.}$$

За розрахункове допустиме контактне напруження для прямозубої циліндричної передачі приймається менше з $[\sigma]_{H1}$ і $[\sigma]_{H2}$ - $[\sigma]_{розр} = 518 \text{ МПа.}$

Призначення коефіцієнтів

$$\psi_{ba} = 1 ;$$

$$K_{H\alpha} = 1 ,$$

$$K_{H\beta} = 1,055 \left(\text{див. табл. 35 при } \frac{b_2}{d_1} = \psi_{ba} \frac{U_{1-2} + 1}{2} = 0,315 \frac{1,6 + 1}{2} = 0,4 \right),$$

$$K_{HV} = 1,2 .$$

Розрахунок міжосьової відстані:

$$\begin{aligned} a &\geq K_{ap}(U_{1-2} + 1) * \sqrt[3]{\frac{T_2 * 10^3}{\psi_a * U_{1-2} * [\sigma]_{Hрозр}^2}} = \\ &= 49,5 * 10^3(2 + 1) * \sqrt[3]{\frac{11,04 * 10^3}{0,15 * 2^2 * 940^2}} = 41 \text{ мм} \end{aligned}$$

Призначення модуля:

$$m = (0,01 \dots 0,025)_a = (0,01 \dots 0,025) * 100 = (1 \dots 2,5)_{\text{мм}}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймається $m = 1$;

$$(z_1 + z_2) = \frac{2a}{m} = \frac{2 * 41}{1} = 82$$

Призначення чисел зубців:

$$z_1 = \frac{z_1 + z_2}{U_{1-2} + 1} = \frac{82}{2 + 1} = 28$$

$$z_2 = (z_1 + z_2) - z_1 = 82 - 28 = 56$$

$$U_{1-2\phi} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{56}{28} = 2$$

$$\Delta U = \left| \frac{U_{1-2} - U_{1-2\phi}}{U_{1-2}} \right| * 100\% = \left| \frac{2 - 2}{2} \right| * 100\% = 0\% < [\Delta U] = 2,5\%$$

Розрахунок геометричних розмірів зубчастих коліс:

$$b = b_2 = \psi_{ba} * a = 0,15 * 41 = 6,15 \text{ мм}$$

Приймається з ряду нормальних лінійних розмірів $b_2 = 6,3 \text{ мм}$,

$$d_1 = m * z_1 = 2 * 28 = 56 \text{ мм}$$

$$d_{a1} = d_1 + 2m = 56 + 2 * 2 = 60 \text{ мм}$$

$$d_{f1} = d_1 - 2,5m = 56 - 2,5 * 2 = 51 \text{ мм}$$

$$d_2 = m * z_2 = 2 * 56 = 112 \text{ мм}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2m = 112 + 2 * 2 = 116 \text{ мм}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2,5m = 112 - 2,5 * 2 = 107 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$\frac{d_1}{2} + \frac{d_2}{2} = a; \frac{56}{2} + \frac{112}{2} = 84$$

Призначення ступення точності:

$$V = \frac{\pi * d_1 * n_1}{60000} = \frac{3,14 * 56 * 1144}{60000} = 4,55 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Призначається ступінь точності: 8-В ДСТУ 1643-81.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірний розрахунок для передачі 1-2

Перевірка на контактну втомну міцність

$$\sigma_H \leq [\sigma]_H$$

$$\sigma_H = Z_M * z_H * z_\varepsilon * \frac{1}{d_1} * \sqrt{\frac{2 * 9,55 * 10^6 * P_1 * K_{H\alpha} * K_{H\beta} * K_{HV} * (U_{1-2} + 1)}{n_1 * b_2 * U_{1-2}}}$$

де $Z_M = 275$ мПа;

$$z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,73}{3}} = 0,86$$

$$\varepsilon_\alpha = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{28} + \frac{1}{56} \right) = 1,73$$

$$z_H = 1,76$$

$$K_{H\alpha} = 1 \text{ (прямі зуби);}$$

$K_{H\beta} = 1,055$ (див. табл. 35 при $b_2/d_1 = 6,3/56 = 0,4$; поблизу одної з опор колеса припрацьовуються);

$K_{HV} = 1,18$ (див. табл. 36 при $v = 4,55$ м/с;
ступінь точності по нормі плавності – 8; $H_2 \leq 350$ HB) ,

$$\sigma_H = 275 * 1,76 * 0,86 * \frac{1}{76} * \sqrt{\frac{2 * 9,55 * 10^6 * 4,06 * 1 * 1,055 * 1,18 * (1,6 + 1)}{1144 * 32 * 1,6}} = 359 \text{ мПа}$$

359 МПа < 518 МПа – контактну втомну міцність забезпечено.

Перевірка на втомну міцність при згинанні:

$$\sigma_F \leq [\sigma]_F$$

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{Flim b}}{S_H} * K_F * K_{FL}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для шестерні:

$$\sigma_{Fli\ m\ b} = 1,8 * H_{HB} = 1,8 * 285 = 513 \text{ МПа};$$

$K_{FC} = 1$ (нереверсивна передача);

$S_H = 2,2$ (при ймовірності не руйнування зубів більше 0,99);

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{382756923}} = 0,5 < 1, \text{ приймається } K_{FL} = 1$$

$$N_{FO} = 4 * 10^6;$$

$$N_{FE1} = 60 * n_1 * \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^3 * t_i \right] =$$

$$= 60 * 1144 * (1 * 5000 + [0,7]^6 * 4500 + [0,5]^6 * 3000) = 382756923 ;$$

$$[\sigma]_{F1} = \frac{513}{2,2} * 1 * 1 = 233 \text{ МПа.}$$

Для колеса:

$$F_{li\ m\ b} = 1,8 * H_{HB} = 1,8 * 250 = 450 \text{ МПа};$$

$K_{FC} = 1$ (нереверсивна передача);

$S_H = 2,2$ (при ймовірності не руйнування зубів більше 0,99);

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE2}}} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{239223076}} = 0,5 < 1, \text{ приймається } K_{FL} = 1;$$

$$N_{FO} = 4 * 10^6;$$

$$N_{FE2} = \frac{N_{FE1}}{U_{1-2}} = \frac{382756923}{1},6 = 239223076;$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$[\sigma]_{F2} = \frac{450}{2}, 2 * 1 * 1 = 205 \text{ МПа.}$$

$$Y_{F1} = 3,7 \text{ (табл. 22 при } z_1 = 38 \text{ і } x = 0) ;$$

$$Y_{F2} = 3,62 \text{ (табл. 22 при } z_2 = 62 \text{ і } x = 0).$$

$$\frac{[\sigma]_{F1}}{Y_{F1}} = \frac{233}{3}, 7 = 63;$$

$$\frac{[\sigma]_{F2}}{Y_{F2}} = \frac{205}{3}, 62 = 57.$$

Більш «слабким» елементом є колесо, по якому ведеться подальший розрахунок.

$$\sigma_{F2} = Y_{F2} * \frac{2 * 9,55 * 10^6 * P_2 * K_{F\alpha} * K_{F\beta} * K_{FV}}{n_2 * d_2 * b_2 * m}$$

$$\text{де } K_{H\alpha} = 1 \text{ (прямі зуби);}$$

$K_{H\beta} = 1,1$ (див. табл. 35 при $b_2/d_1 = 6,3/56 = 0,4$; поблизу однієї з опор, колеса припрацьовуються); ;

$K_{HV} = 1,14$ (див. табл. 36 при $v = 4,55 \text{ м/с}$;
ступінь точності по нормі плавності – 8) .

$$\sigma_{F2} = 3,62 * \frac{2 * 9,55 * 10^6 * 3,94 * 1 * 1,1 * 1,14}{715 * 124 * 32 * 2} = 61,2 \text{ МПа.}$$

$61,2 \text{ МПа} < 205 \text{ МПа}$ – втомну міцність при згинанні забезпечено.

Перевірка на контактну міцність при дії максимальних навантажень.

$$\sigma_{H \max} \leq [\sigma]_{H \max};$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{H \max} = \sigma_H * \sqrt{K_{\text{пер}}} = 359 * \sqrt{2,03} = 511 \text{ МПа},$$

$$K_{\text{пер}} = \left(\frac{T_{\max}}{T_{\text{ном}}} \right) \left(\frac{P_{\text{ед}}}{P_{\text{потр}}} \right) = 2,2 * \frac{4}{4},32 = 2,03;$$

де

$$[\sigma]_{H \max} = 2,8 * \sigma_T = 2,8 * 540 = 1512 \text{ МПа}.$$

511 МПа < 1512 МПа – контактну міцність при дії максимальних навантажень забезпечено.

Перевірка на міцність при згинанні максимальним навантаженням:

$$\sigma_{F \max} \leq [\sigma]_{F \max};$$

$$\sigma_{F \max} = \sigma_F * K_{\text{пер}} = 61,2 * 2,03 = 124,4 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{F \max} = 2,75 H_{\text{НВ}} = 2,75 * 250 = 688 \text{ МПа}.$$

124,4 МПа < 688 МПа – міцність при згинанні максимальним навантаженням забезпечено.

3.4 Розрахунок прямозубої циліндричної передачі 3-4

Проектувальний розрахунок

- для шестерні - твердість поверхні зубів $H_3 = 269..302 \text{ НВ}$;

$\sigma_{B3} = 890 \text{ МПа}$; $\sigma_{T3} = 650 \text{ МПа}$.

- для колеса – твердість поверхні зубів $H_4 = 235..262 \text{ НВ}$;

$\sigma_{B4} = 780 \text{ МПа}$; $\sigma_{T4} = 540 \text{ МПа}$.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Доступні контактні напруження:

$$[\sigma]_H = \frac{\sigma_{H \lim b}}{S_H} K_{HL} * z_R * Z_V * K_L * K_{XH}.$$

Для шестерні:

$$\sigma_{H \lim b} = 2H_{HB} + 70 = 2 * 285 + 70 = 640 \text{ МПа};$$

$$S_H = 1,1 ;$$

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO3}}{N_{HE3}}} = \sqrt[6]{\frac{23374855}{296803650}} = 0,65 < 1, \text{ приймається } K_{HL} = 1;$$

$$N_{HO3} = 30 * H_{HB}^2,4 = 30 * 285^2,4 = 23374855 ;$$

$$N_{HE3} = 60 * n_3 * \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^3 * t_i \right] = 60 * 715 * \left(\frac{P}{P} \right)^3 * 5000 + \left(0, \frac{7P}{P} \right)^3 * 4500 + \left(0, \frac{5P}{P} \right)^3 * 3000 = 296803650$$

$$Z_R = 1 \text{ (приймається } Ra = 1,25 \dots 0,63);$$

$$Z_V = 1 \text{ (очікується } V < 5 \text{ м/с);}$$

$$K_L = 1 \text{ (закрита передача, що добре змащується);}$$

$$K_{XH} = 1 \text{ (очікується діаметр коліс менше 700 мм).}$$

$$[\sigma]_{H3} = \frac{640}{1},1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 = 582 \text{ МПа.}$$

Для колеса:

$$\sigma_{H \lim b} = 2H_{HB} + 70 = 2 * 250 + 70 = 570 \text{ МПа.}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_H = 1,1 ;$$

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO4}}{N_{HE4}}} = \sqrt[6]{\frac{17067789}{836606661}} = 0,52, \text{ приймається } K_{HL} = 1$$

$$N_{HO4} = 30 * H_{HB,4}^2 = 30 * 250^2,4 = 17067789$$

$$N_{HE4} = \frac{H_{HE3}}{U_{3-4}} = \frac{296803650}{3},55 = 836606661$$

$$Z_R = 1 \text{ (приймається } Ra = 1,25 \dots 0,63);$$

$$Z_V = 1 \text{ (очікується } V < 5 \text{ м/с);}$$

$$K_L = 1 \text{ (закрита передача, що добре змащується);}$$

$$K_{xH} = 1 \text{ (очікується діаметр коліс менше 700 мм).}$$

$$[\sigma]_{H4} = \frac{570}{1},1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 = 518 \text{ МПа.}$$

За розрахункове допустиме контактне напруження для прямозубої циліндричної передачі приймається менше з $[\sigma]_{H1}$ і $[\sigma]_{H2}$ - $[\sigma]_{розр} = 518 \text{ МПа.}$

Призначення коефіцієнтів

$$\psi_{ba} = 0,2 \text{ (приймається з рекомендацій, див. табл. 18);}$$

$$K_{H\alpha} = 1 \text{ (прямі зуби);}$$

$$K_{H\beta} = 1,1 \left(\text{див. табл. 35 при } \frac{b_4}{d_3} = \psi_{ba} \frac{U_{3-4} - 1}{2} = 0,2 \frac{3,55 - 1}{2} = 0,255 \right);$$

$$K_{HV} = 1,2 \text{ (для проектувальному розрахунку).}$$

Розрахунок міжосьової відстані:

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$a \geq K_{ap}(U_{3-4} + 1) * \sqrt[3]{\frac{T_{3-4} * 10^3}{\psi_a * U_{3-4} * [\sigma]_{H \text{ розр}}^2}} =$$

$$= 49,5 * (3,15 + 1) * \sqrt[3]{\frac{70,67 * 10^3}{0,15 * 3,15^2}} = 77 \text{ мм}$$

Приймається стандартна $a=84$ мм;

Призначення модуля:

$$m = (0,01 \dots 0,025)_a = (0,01 \dots 0,025) * 100 = (1 \dots 2,5)_{\text{мм}}$$

Приймається $m = 2$;

$$(Z_4 - Z_3) = \frac{2a}{m} = \frac{2 * 84}{2} = 84$$

Призначення чисел зубців:

$$Z_3 = \frac{Z_4 - Z_3}{U_{3-4} - 1} = \frac{84}{3,15 - 1} = 20$$

$$Z_4 = (Z_4 - Z_3) + Z_3 = 84 + 20 = 104$$

$$U_{3-4\phi} = \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{104}{20} = 5,2$$

$$\Delta U = \left| \frac{U_{3-4} - U_{3-4\phi}}{U_{3-4}} \right| * 100\% = \left| \frac{3,15 - 5,2}{3,15} \right| * 100\% = 39,37\% > [\Delta U] = 2,5\%$$

Розрахунок геометричних розмірів зубчастих коліс:

$$b_3 = b_4 = \psi_{ba} * a = 0,15 * 84 = 12 \text{ мм}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймається з ряду нормальних лінійних розмірів $b_4 = 12 \text{ мм}$

$$d_3 = m * z_3 = 2 * 20 = 40 \text{ мм}$$

$$d_{a3} = d_3 + 2m = 40 + 2 * 2 = 44 \text{ мм}$$

$$d_{f3} = d_3 - 2,5m = 40 - 2,5 * 2 = 35 \text{ мм}$$

$$d_4 = m * z_4 = 2 * 64 = 128 \text{ мм}$$

$$d_{a4} = d_4 + 2m = 128 + 2 * 2 = 132 \text{ мм}$$

$$d_{f4} = d_4 - 2,5m = 128 - 2,5 * 2 = 123 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$\frac{d_4}{2} - \frac{d_3}{2} = a; \frac{128}{2} - \frac{40}{2} = 84$$

Призначення ступеня точності:

$$V = \frac{\pi * d_3 * n_3}{60000} = \frac{3,14 * 40 * 715}{60000} = 2,91 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Призначається ступінь точності: 8-В ДСТУ 1643-81.

Перевірний розрахунок для передачі 3-4

Перевірка на контактну втомну міцність

$$\sigma_H \leq [\sigma]_H$$

$$\sigma_H = Z_M * z_H * Z_E * \frac{1}{d_3} * \sqrt{\frac{2 * 9,55 * 10^6 * P_3 * K_{H\alpha} * K_{H\beta} * K_{H\nu} * (U_{3-4} - 1)}{n_3 * b_4 * U_{3-4}}}$$

де $Z_M = 275 \text{ мпа}$;

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$z_{\varepsilon} = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_{\alpha}}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,94}{3}} = 0,82$$

$$\varepsilon_{\alpha} = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{z_4} - \frac{1}{z_3} \right) = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{125} - \frac{1}{35} \right) = 1,94$$

$$z_H = 1,76$$

$$K_{H\alpha} = 1 \text{ (прямі зуби);}$$

$K_{H\beta} = 1,06$ (див. табл. 35 при $b_4/d_3 = 20/78 = 0,25$; на консолі колеса припрацьовуються) ;

$K_{HV} = 1,12$ (див. табл. 36 при $v = 2,91$ м/с;
ступінь точності по нормі плавності – 8).

$$\sigma_H = 275 * 1,76 * 0,82 * \frac{1}{78} * \sqrt{\frac{2 * 9,55 * 10^6 * 3,9 * 1 * 1,06 * 1,2 * (3,56 - 1)}{715 * 20 * 3,56}} = 339 \text{ МПа}$$

339 МПа < 518 МПа – контактну втомну міцність забезпечено.

Перевірка на втомну міцність при згинанні:

$$\sigma_F \leq [\sigma]_F$$

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{Fli \text{ m b}}}{S_H} * K_F * K_{FL}$$

Для шестерні:

$$\sigma_{Fli \text{ m b}} = 1,8 * H_{HB} = 1,8 * 285 = 513 \text{ МПа,}$$

$K_{FC} = 1$ (нереверсивна передача);

$S_H = 2,2$ (при ймовірності не руйнування зубів 0,99);

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE3}}} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{239223076}} = 0,5 < 1, \text{ приймається } K_{FL} = 1,$$

$$N_{FO} = 4 * 10^6;$$

$$N_{FE3} = 60 * n_3 * \sum_{i=1}^k \left[\left(\frac{P_i}{P_1} \right)^3 * t_i \right] =$$

$$= 60 * 715 * (1 * 5000 + [0,7]^6 * 4500 + [0,5]^6 * 3000) = 239223076$$

$$[\sigma]_{F3} = \frac{513}{2},2 * 1 * 1 = 233 \text{ МПа.}$$

Для колеса:

$$F_{limb} = 1,8 * H_{HB} = 1,8 * 250 = 450 \text{ МПа,}$$

$K_{FC} = 1$ (нереверсивна передача);

$S_H = 2,2$ (при ймовірності не руйнування зубів 0,99);

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_{FE4}}} = \sqrt[6]{\frac{4 * 10^6}{6738678}} = 0,6 < 1, \text{ приймається } K_{FL} = 1,$$

$$N_{FO} = 4 * 10^6;$$

$$N_{FE4} = \frac{N_{FE3}}{U_{3-4}} = \frac{239223076}{3},55 = 67386781$$

$$[\sigma]_{F4} = \frac{450}{2},2 * 1 * 1 = 205 \text{ МПа.}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Y_{F3} = 3,7 \text{ (табл. 22 при } z_3 = 39 \text{ і } x = 0);$$

$$Y_{F4} = 3,6 \text{ (табл. 22 при } z_4 = 139 \text{ і } x = 0).$$

$$\frac{[\sigma]_{F3}}{Y_{F3}} = \frac{233}{3},7 = 63$$

$$\frac{[\sigma]_{F4}}{Y_{F4}} = \frac{205}{3},62 = 57$$

Більш «слабким» елементом є колесо, по якому ведеться подальший розрахунок.

$$\sigma_{F4} = Y_{F4} * \frac{2 * 9,55 * 10^6 * P_4 * K_{F\alpha} * K_{F\beta} * K_{FV}}{n_4 * d_4 * b_4 * m}$$

де $K_{H\alpha} = 1$ (прямі зуби);

$K_{H\beta} = 1,18$ (див. табл. 35 при $\frac{b_4}{d_3} = \frac{12}{40} = 0,25$); на косолі, колеса

припрацьовуються);

$K_{HV} = 1,28$ (див. табл. 36 при $v = 2,91$ м/с;

ступінь точності по нормі плавності – в).

$$\sigma_{F4} = 3,6 * \frac{2 * 9,55 * 10^6 * 3,78 * 1 * 1,18 * 1,28}{201,4 * 278 * 20 * 2} = 175 \text{ МПа.}$$

175 МПа < 205 МПа – втомну міцність при згинанні забезпечено.

Перевірка на контактну міцність при дії максимальних навантажень.

$$\sigma_{H \max} \leq [\sigma]_{H \max}$$

$$\sigma_{H \max} = \sigma_H * \sqrt{K_{\text{пер}}} = 339 * \sqrt{2,037} = 483 \text{ МПа}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{\text{пер}} = \left(\frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{ном}}} \right) \left(\frac{P_{\text{ед}}}{P_{\text{потр}}} \right) = 2,2 * \frac{4}{4},32 = 2,037$$

де

$$[\sigma]_{H \text{ max}} = 2,8 * \sigma_T = 2,8 * 540 = 1512 \text{ МПа.}$$

483 МПа < 1512 МПа – контактну міцність при дії максимальних навантажень забезпечено.

Перевірка на міцність при згинанні максимальним навантаженням:

$$\sigma_{F \text{ max}} \leq [\sigma]_{F \text{ max}}$$

$$\sigma_{F \text{ max}} = \sigma_F * K_{\text{пер}} = 175 * 2,037 = 355 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{F \text{ max}} = 2,75 H_{HB} = 2,75 * 250 = 688 \text{ МПа}$$

355 МПа < 688 МПа – міцність при згинанні максимальним навантаженням забезпечено.

3.5 Розрахунок клинопасової передачі

Відповідно до моменту $T_4 = 70,67 \text{ Н} * \text{м}$ вибирається для передачі пас нормального перерізу А з параметрами: площа поперечного перерізу $A = 81 \text{ мм}^2$; базова довжина $l_0 = 800 \text{ мм}$.

Призначається діаметр меншого шківів:

$d_1 = 140 \text{ мм}$ – відповідно до рекомендацій з ряду стандартних діаметрів шківів.

Визначити діаметр веденого шківів:

$$d_2 = d_1 * U * (1 - \varepsilon) = 140 * 1 * (1 - 0,015) = 137,9 \text{ мм}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначити фактичне передавальне число U_ϕ і перевірити його відхилення ΔU від заданого U :

$$U_\phi = \frac{d_2}{d_1(1 - \varepsilon)} = 137 \cdot \frac{9}{100(1 - 0.015)} = 1$$

$$\Delta U = \frac{|U_\phi - U|}{U} * 100\% = \frac{1 - 1}{1} * 100 = 0 \leq 3\%$$

Визначити орієнтовну міжосьова відстань a , мм:

$$a \geq 0,55 * (d_1 + d_2) + h(H) = 0,55 * (140 + 137,9) + 9,5 = 169,3 \text{ мм}$$

Визначити розрахункову довжину ременя l , мм:

$$l = 2a + \frac{\pi}{2} * (d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a} =$$

$$= 2 * 169,3 + 3,14(137,9 + 140) + \frac{(137,9 - 140)^2}{4 * 118,67} = 774 \text{ мм}$$

Приймаємо: $l = 800$ мм

Уточнити значення міжосьової відстані за стандартною довжиною:

$$a = \frac{1}{8} (2 * l - \pi(d_2 + d_1) + \sqrt{((2l - \pi(d_2 + d_1) - 8(d_2 - d_1)^2))}) =$$

$$= \frac{1}{8} \left(2 * 800 - 3,14(137,9 + 140) + \sqrt{(2 * 800 - 3,14(137,9 + 140))^2 - 8(137,9 - 140)^2} \right) = 182 \text{ мм}$$

Визначити кут обхвату ременем ведучого шківа, град:

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57^\circ \frac{d_2 - d_1}{a} = 180^\circ - 57^\circ \frac{137,9 - 140}{182} = 180,6^\circ$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначити швидкість ременя, м / с:

$$V = \frac{\pi * d_1 n_1}{60 * 10^3} = \frac{3,14 * 140 * 3200}{60 * 10^3} = 23,44 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Визначити допустиму потужність:

$$[P_n] = [P_0] * C_p * C_\alpha * c_l * C_z = 3,6 * 0,9 * 1 * 0,97 * 0,9 = 2,8$$

Визначити кількість клинових ременів:

$$z = \frac{P_{\text{ном}}}{[P_n]} = 3,7,8 = 1$$

Визначити силу попереднього натягу:

$$F_0 = \frac{850 * P_{\text{ном}} * C_l}{z * V * C_\alpha * C_p} = \frac{850 * 3,7 * 0,97}{1 * 23,44 * 1 * 0,9} = 48,2 \text{ Н}$$

Визначити окружну силу:

$$F_t = \frac{P_{\text{ном}} * 10^3}{V} = \frac{3,7 * 10^3}{23,44} = 157,8 \text{ Н}$$

Визначити сили натягу провідною і відомою:

$$F_1 = F_0 + \frac{F_t}{2z} = 48,2 + 157,8 \frac{1}{2 * 1} = 74,5 \text{ Н}$$

$$F_2 = F_0 - \frac{F_t}{2z} = 48,2 - 157,8 \frac{1}{2 * 1} = 21,9 \text{ Н}$$

Визначити силу тиску ременів на вал:

$$F_{\text{оп}} = 2 * F_0 z * \sin \frac{\alpha}{2} = 2 * 48,2 * 1 * \sin 90^\circ = 289,2 \text{ Н}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірочний розрахунок

Перевірити міцність ременя за максимальними напруженням:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_H + \sigma_V \leq [\sigma]_p$$

$$\sigma_1 = \frac{F_0}{A} + \frac{F_t}{2ZA} = 48, \frac{2}{81} + 157, \frac{8}{2 * 1 * 81} = 0,91$$

$$\sigma_H = E_H \frac{h}{d_1} = 90 \frac{8}{140} = 5,2$$

$$\sigma_V = \rho * V^2 * 10^{-6} = 1300 * 23,44^2 * 10^{-6} = 0,7$$

$$\sigma_{\max} = 0,91 + 5,2 + 0,7 = 6,81 \leq 10$$

3.6 Проектувальний розрахунок валів

Визначаємо діаметри валів

$$d = 110 \sqrt[4]{\frac{N_{дв}}{n_{вала}}}$$

$$d_1 = 110 \sqrt[4]{3, \frac{7}{3200}} = 20,3 = 20 \text{ мм}$$

$$d_2 = 110 \sqrt[4]{3, \frac{7}{500}} = 32,3 = 35 \text{ мм}$$

Перевірочні розрахунки на витривалість

Розрахунок навантажень:

$$F_{t1} = F_{t2} = \frac{2000 * T_{z1}}{d_1} = \frac{2000 * 11,04}{20} = 1104 \text{ Н}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{r1} = F_{r2} = F_{t1} * \tan \alpha = 1104 * \tan 20^\circ = 401,8 \text{ Н}$$

$$F_{t3} = F_{t4} = \frac{2000 * T_{z3}}{d_3} = \frac{2000 * 70,67}{35} = 4038,2 \text{ Н}$$

$$F_{r3} = F_{r4} = F_{t3} * \tan \alpha = 4038,2 * \tan 20^\circ = 1469,7 \text{ Н}$$

$Q = 289,2 \text{ Н}$ – розрахунок пасової передачі;

Розрахунок вхідного валу

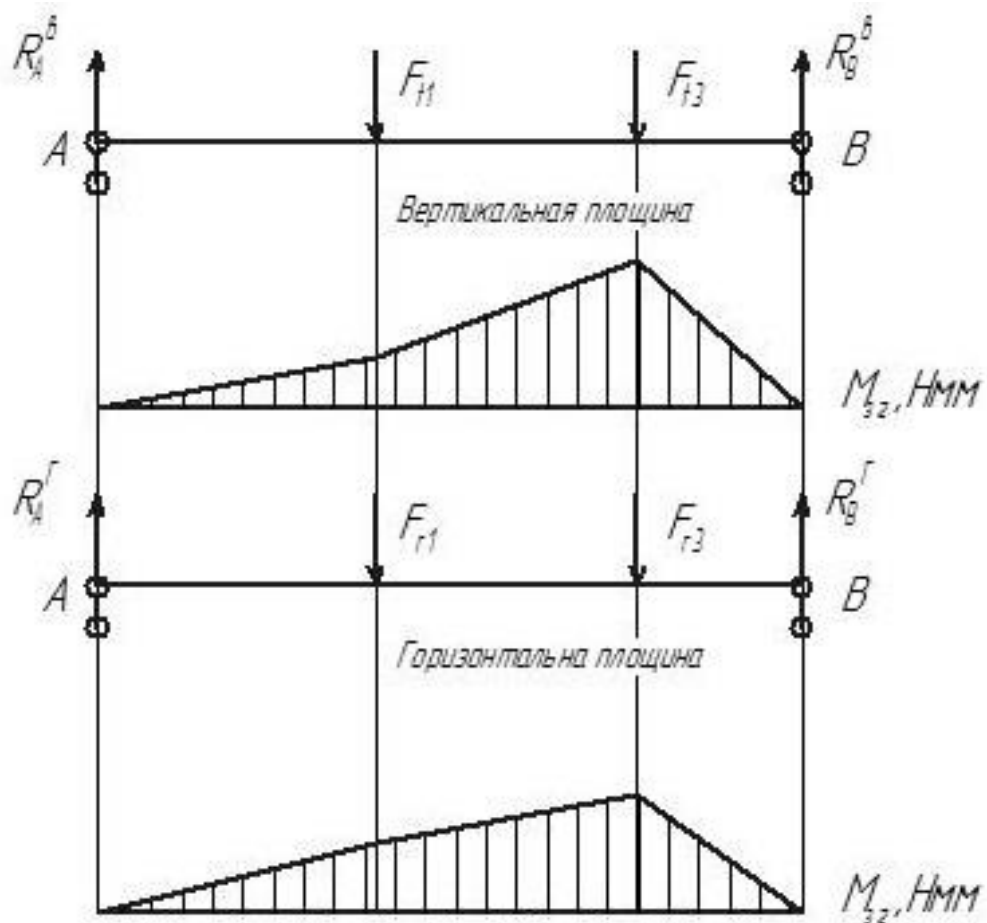


Рисунок 3.2 – Схема навантаження і епюр вхідного валу

Вертикальна площина:

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$a = 27,5 \text{ мм};$$

$$b = 25,8 \text{ мм};$$

$$c = 16,2 \text{ мм}.$$

$$\sum M_a = 0; -F_{t1} * a - F_{t3} + R_B^B * (a + b + c) = 0$$

$$R_B^B = \frac{F_{t1} * a + F_{t3} * (a + b)}{a + b + c} = \frac{1104 * 27,5 + 4038,2 * (27,5 + 25,8)}{27,5 + 25,8 + 16,2} = 3533,7 \text{ Н}$$

$$\sum M_b = 0; -R_A^B * (a + b + c) + F_{t1} * (b + c) + F_{t3} * c = 0$$

$$R_A^B = \frac{F_{t1} * (b + c) + F_{t3} * c}{a + b + c} = \frac{1104(25,8 + 16,2) + 4038,2 * 16,2}{27,5 + 25,8 + 16,2} = 1608 \text{ Н}$$

Перевірка:

$$\sum F = 0; R_A^B - F_{t1} - F_{t3} + R_B^B = 0$$

$$1608 - 1104 - 4038,2 + 3533,7 = 0$$

$$0 = 0$$

Згинанні моменти у вертикальній площині:

$$M_1 = 0 \text{ Н * мм};$$

$$M_2 = R_A^B * a = 1608 * 27,5 = 44220 \text{ Н * мм};$$

$$M_3 = R_B^B * c = 3533,7 * 16,2 = 57245,94 \text{ Н * мм};$$

$$M_4 = 0 \text{ Н * мм}.$$

Горизонтальна площа:

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sum M_a = 0; -F_{r1} * a - F_{r3} * (a + b) + R_B^r * (a + b + c) = 0$$

$$R_B^r = \frac{F_{r1} * a + F_{r3} * (a + b)}{a + b + c} = \frac{401,8 * 27,5 + 1469,7 * (27,5 + 25,8)}{27,5 + 25,8 + 16,2} = 1286,1 \text{ Н}$$

$$\sum M_b = 0; F_{r3} * c + F_{r1} * (b + c) - R_A^r * (a + b + c) = 0$$

$$R_A^r = \frac{F_{r3} * c + F_{r1} * (b + c)}{a + b + c} = \frac{1469,7 * 16,2 + 401,8 * (25,8 + 16,2)}{27,5 + 25,8 + 16,2} = 585,4 \text{ Н}$$

Перевірка:

$$\sum F = 0; -F_{r1} + R_A^r - F_{r3} + R_B^r = 0$$

$$-401,8 + 585,4 - 1469,7 + 1286,1 = 0$$

$$0 = 0$$

Згинання моменти у горизонтальній площині:

$$M_1 = 0 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$M_2 = R_A^r * a = 585,4 * 27,5 = 16098,5 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$M_3 = R_B^r * c = 1286,1 * 16,2 = 20834,8 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$M_4 = 0 \text{ Н} * \text{мм}.$$

$$M_{3r1} = 0 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$M_{3r2} = \sqrt{44220^2 + 16098,5^2} = 47059,2 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$M_{3r3} = \sqrt{57245,94^2 + 20834,8^2} = 60919,5 \text{ Н} * \text{мм};$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{3Г4} = 0 \text{ Н} * \text{мм} .$$

Небезпечний переріз валу є переріз є у точці 3.

$$d = d_{n1} = 20 \text{ мм};$$

$$M_{3Г} = 60919,5 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$T = 11040 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$S \geq [S];$$

$$[S] > 1,75 \dots 2,5$$

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} * \sigma_a + \psi_{\sigma} * \sigma_m} = \frac{320}{2,8 * 76,14} = 1,5$$

Матеріал валу: 40Х

$$\sigma_{-1} = 320 \text{ МПа} ;$$

$\psi_{\sigma} = 0,25$ – легована сталь;

$$\sigma_a = \sigma_{3Г} = \frac{M_{3Г}}{W_0} = 60919, \frac{5}{800} = 76,14 \text{ МПа} ;$$

$$W_0 = 0,1 * d^3 = 0,1 * 20^3 = 800 \text{ м}^3;$$

$$\sigma_m = \sigma_p = \frac{F_a}{A} = 0 \text{ Тому що, } F_a = 0 ;$$

$$K_{\sigma D} = (K_{\sigma} / K_{d\sigma} + K_F - 1) / K_V = 2,4 / 0,88 + 1,1 - 1) / 1 = 2,8;$$

$$K_{\sigma} = 2,4 ;$$

$$\sigma_B = 600 \text{ МПа} ;$$

$K_{d\sigma} = 0,88$ – для діаметра валу $d = 20 \text{ мм}$;

$K_F = 1,1$ - при шорсткості $R_a = 1,1$;

$K_V = 1$ – поверхнєве зміцнення не передбачене.

$$S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D} * \tau_a + \psi_{\tau} * \tau_m} = \frac{200}{2,1 * 3,45 + 0,15 * 3,45} = 25,7$$

$$\tau_{-1} = 200 \text{ МПа} ;$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\psi_{\tau} = 0,15$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_{кр}}{2} = 6, \frac{9}{2} = 3,45 \text{ МПа};$$

$$\tau_{кр} = \frac{T}{W_p} = \frac{11040}{0,2 * 20^3} = 6,9 \text{ МПа};$$

$$K_{\tau D} = \left(\frac{K_{\tau}}{K_{d\tau}} + K_F - 1 \right) = \left(1, \frac{8}{0,88} + 1,1 - 1 \right) = 2,1 ;$$

$$K_{\tau} = 1,8 ;$$

$$K_{d\tau} = 0,88 \text{ — для діаметра валу } d = 20 \text{ мм};$$

$$K_F = 1,1 \text{ — при шорсткості } R_a = 1,1;$$

$$S = \frac{S_{\sigma} * s_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}} = \frac{1,5 * 25,7}{\sqrt{1,5^2 + 25,7^2}} = 1,9$$

$[S] = 1,7 \dots 2,5$ — втомна витривалість валу забезпечена.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок вихідного валу

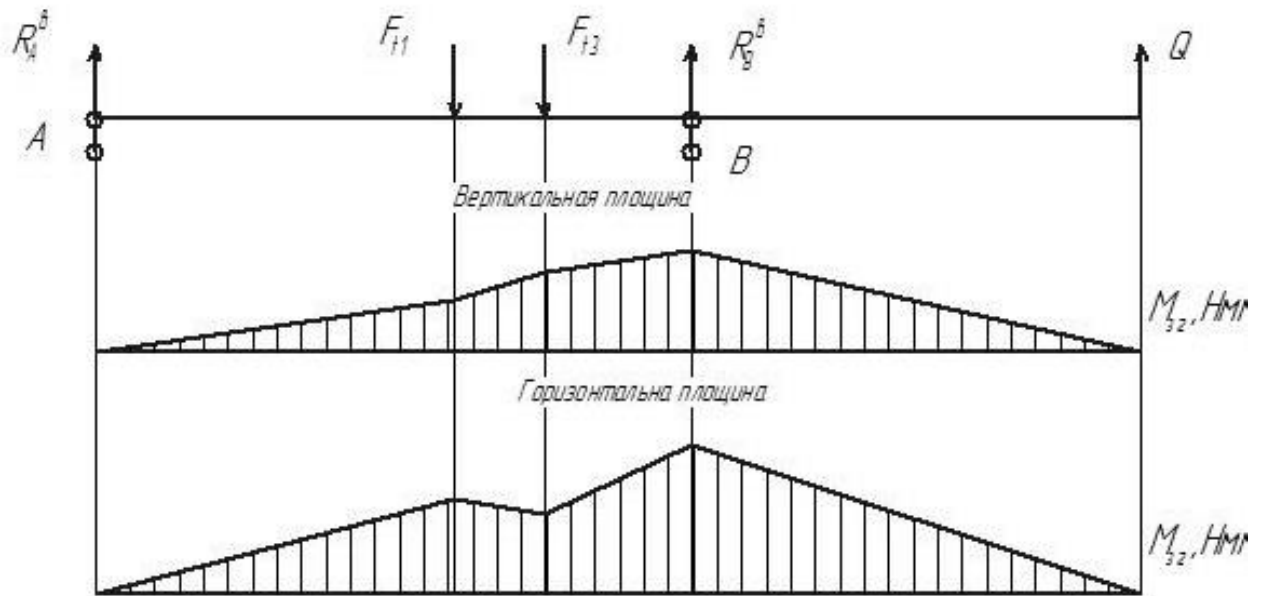


Рисунок 3.3. – Схема навантаження і епюр вихідного валу

Вертикальна площина:

$a = 44,1 \text{ мм};$

$b = 11 \text{ мм};$

$c = 18 \text{ мм};$

$d = 55,1 \text{ мм}.$

$$\sum M_a = 0; -F_{t1} * a - F_{t3} * (a + b) + R_B^B * (a + b + c) = 0$$

$$R_B^B = \frac{F_{t1} * a + F_{t3} * (a + b)}{a + b + c} = \frac{1104 * 44,1 + 4038,2 * (44,1 + 11)}{44,1 + 11 + 18} = 3709,8 \text{ Н}$$

$$\sum M_b = 0; -R_A^B * (a + b + c) + F_{t1} * (b + c) + F_{t3} * c = 0$$

$$R_A^B = \frac{F_{t1} * (b + c) + F_{t3} * c}{a + b + c} = \frac{1104(11 + 18) + 4038,2 * 18}{44,1 + 11 + 18} = 1432,2 \text{ Н}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка:

$$\sum F = 0; R_A^B - F_{t1} - F_{t3} + R_B^B = 0$$
$$1432,3 - 1104 + 3709,8 - 4038,2 = 0$$
$$0 = 0$$

Згинання моменти у вертикальній площині:

$$M_1 = 0 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$
$$M_2 = R_A^B \cdot a = 1432,3 \cdot 44,1 = 63164,4 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$
$$M_3 = R_B^B \cdot c = 3709,8 \cdot 18 = 66776,4 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$
$$M_4 = 0 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Горизонтальна площина:

$$\sum M_a = 0; -F_{r1} \cdot a - F_{r3} \cdot (a + b) + R_B^r \cdot (a + b + c) + Q \cdot (a + b + c + d) = 0$$
$$R_B^r = \frac{F_{r1} \cdot a + F_{r3} \cdot (a + b) - Q \cdot (a + b + c + d)}{a + b + c} =$$
$$= \frac{401,8 \cdot 44,1 + 1469,7 \cdot (44,1 + 11) - 289,2 \cdot (44,1 + 11 + 18 + 55,1)}{44,1 + 11 + 18} =$$
$$= 843 \text{ Н}$$

$$\sum M_b = 0; F_{r3} \cdot c + F_{r1} \cdot (b + c) - R_A^r \cdot (a + b + c) + Q \cdot d = 0$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_A^r = \frac{F_{r3} * c + F_{r1} * (b + c) - Q * d}{a + b + c} =$$

$$= \frac{1469,7 * 18 + 401,8(44,1 + 11) + 289,2 * 55,1}{44,1 + 11 + 18} =$$

$$= 882,7 \text{ Н}$$

Перевірка:

$$\sum F = 0; -F_{r1} + R_A^r - F_{r3} + R_B^r + Q = 0$$

Згинання моменти у горизонтальній площині:

$$M_1 = M_5 = 0 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$M_2 = R_A^r * a = 882,7 * 44,1 = 38927 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$M_3 = R_B^r * c + Q(c + d) = 843 * 18 + 289,2 * 73,1 = 36314,5 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$M_4 = Q * c = 289,2 * 18 = 5205,6 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$M_{3Г1} = 0 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$M_{3Г2} = \sqrt{63164,4^2 + 38927^2} = 74196 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$M_{3Г3} = \sqrt{66776,4^2 + 36314,5^2} = 76012 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$M_{3Г4} = 0 \text{ Н} * \text{мм};$$

Небезпечний переріз валу є переріз є у точці 3.

$$d = d_{n1} = 35 \text{ мм};$$

$$M_{3Г} = 76012 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$T = 77670 \text{ Н} * \text{мм};$$

$$S \geq [S];$$

$$[S] > 1,75 \dots 2,5$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} * \sigma_a + \psi_{\sigma} * \sigma_m} = \frac{320}{2,4 * 17,7} = 7,5$$

Матеріал валу: 40Х

$$\sigma_{-1} = 320 \text{ МПа};$$

$\psi_{\sigma} = 0,25$ – легована сталь;

$$\sigma_a = \sigma_{3\Gamma} = \frac{M_{3\Gamma}}{W_0} = \frac{76012}{4287},5 = 17,7 \text{ МПа};$$

$$W_0 = 0,1 * d^3 = 0,1 * 35^3 = 4287,5 \text{ м}^3;$$

$$\sigma_m = \sigma_p = \frac{F_a}{A} = 0 \text{ Тому що, } F_a = 0;$$

$$K_{\sigma D} = (K_{\sigma} / K_{d\sigma} + K_F - 1) / K_V = 1,8 / 0,77 + 1,1 - 1) / 1 = 2,4;$$

$$K_{\sigma} = 2,4;$$

$$\sigma_B = 600 \text{ МПа};$$

$K_{d\sigma} = 0,77$ – для діаметра валу $d = 30$ мм;

$K_F = 1,1$ - при шорсткості $R_a = 1,1$;

$K_V = 1$ – поверхневе зміцнення не передбачене.

$$S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D} * \tau_a + \psi_{\tau} * \tau_m} = \frac{200}{2,4 * 4,5 + 0,15 * 4,5} = 17,4$$

$$\tau_{-1} = 200 \text{ МПа};$$

$$\psi_{\tau} = 0,15$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_{кр}}{2} = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ МПа};$$

$$\tau_{кр} = \frac{T}{W_p} = \frac{77670}{0,2 * 35^3} = 9 \text{ МПа};$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{тD} = \left(\frac{K_{\tau}}{K_{d\tau}} + K_F - 1 \right) = \left(1, \frac{8}{0,77} + 1,1 - 1 \right) = 2,4 ;$$

$$K_{\tau} = 1,8 ;$$

$$K_{d\tau} = 0,77 \text{ – для діаметра валу } d = 35 \text{ мм};$$

$$K_F = 1,1 \text{ – при шорсткості } R_a = 1,1;$$

$$S = \frac{S_{\sigma} * s_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}} = \frac{7,5 * 17,4}{\sqrt{7,5^2 + 17,4^2}} = 6,8$$

$[S] = 1,7 \dots 2,5$ – втомна витривалість валу забезпечена.

3.7 Перевірочний розрахунок підшипників

Розрахунок підшипників вхідного валу

Для підшипника №208 маємо:

$$d = 20 \text{ мм};$$

$$D = 47 \text{ мм};$$

$$B = 14 \text{ мм};$$

$$C_r = 12,7 \text{ кН}.$$

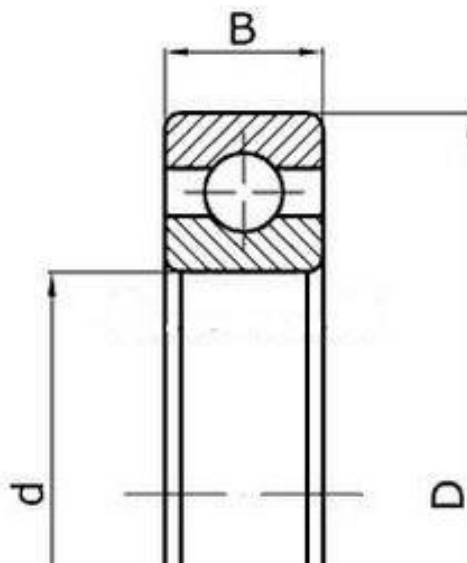


Рисунок 3.4 – Ескіз кулькового радіального підшипника

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішні радіальні навантаження на підшипники:

$$F_{R1} = \sqrt{(R_A^I)^2 + (R_A^B)^2} = \sqrt{585,4^2 + 1608^2} = 1711 \text{ Н}$$

$$F_{R2} = \sqrt{(R_B^I)^2 + (R_B^B)^2} = \sqrt{1286,1^2 + 3533,7^2} = 3760 \text{ Н}$$

Більш навантажений підшипник в опорі В, по ньому ведемо розрахунок.

Еквівалентне динамічне навантаження підшипника:

$$P_{re} = P_r * K_e = 5651,1 * 1 = 4888 \text{ Н}$$

$$P_r = x * v * F_R * K_B * K_T = 1 * 1 * 3760 * 1,3 * 1 = 4888 \text{ Н}$$

$K_B = 1,3$ – коефіцієнт безпеки;

$K_T = 1$ – коефіцієнт температури роботи підшипника;

$V = 1$ – коефіцієнт кільця

$X = 1$ – коефіцієнт радіального навантаження.

Довговічність підшипників у мільйонах обертів:

$$L = a_1 * a_{23} \left(\frac{C_r}{P_{re}} \right)^\alpha = 1 * 0,75 * \left(\frac{12700}{4888} \right)^3 = 1003,2 \frac{\text{млн}}{\text{об}}$$

$a_1 = 1$ при $S = 0,9$ – коефіцієнт надійності підшипника;

$a_{23} = 0,75$ – коефіцієнт умови роботи використання кулькового підшипника.

$\alpha = 3$ – для кулькового підшипника.

$$L_h = \frac{L * 10^6}{60 * n} = \frac{1003,2 * 10^6}{60 * 3200} = 12861 \text{ год}$$

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок підшипників вихідного валу

Для підшипника №207 маємо:

$$d = 35 \text{ мм};$$

$$D = 72 \text{ мм};$$

$$B = 17 \text{ мм};$$

$$c_r = 25,5 \text{ кН}.$$

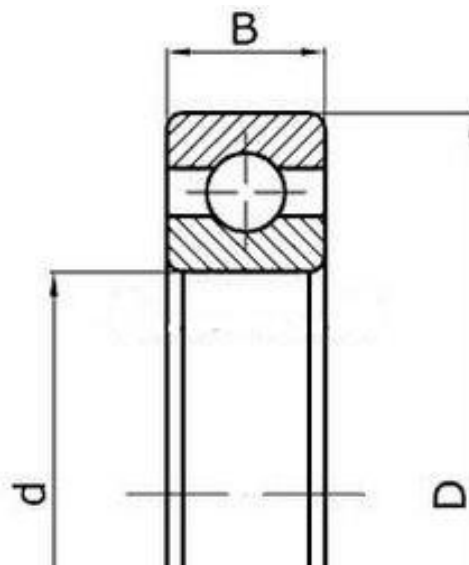


Рисунок 3.5. – Ескіз кулькового радіального підшипника

Зовнішні радіальні навантаження на підшипники:

$$F_{R1} = \sqrt{(R_A^r)^2 + (R_A^B)^2} = \sqrt{882,7^2 + 1432,2^2} = 1682,4 \text{ Н}$$

$$F_{R2} = \sqrt{(R_B^r)^2 + (R_B^B)^2} = \sqrt{843^2 + 3709,8^2} = 3804,4 \text{ Н}$$

Більш навантажений підшипник в опорі В, по ньому ведемо розрахунок.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Еквівалентне динамічне навантаження підшипника:

$$P_{\text{ге}} = P_{\text{Г}} * K_{\text{е}} = 4945,72 * 1 = 4945,72 \text{ Н}$$

$$P_{\text{Г}} = x * v * F_{\text{R}} * K_{\text{Б}} * K_{\text{Т}} = 1 * 1 * 3804,4 * 1,3 * 1 = 4945,72 \text{ Н}$$

$K_{\text{Б}} = 1,3$ – коефіцієнт безпеки;

$K_{\text{Т}} = 1$ – коефіцієнт температури роботи підшипника;

$V = 1$ – коефіцієнт кільця

$X = 1$ – коефіцієнт радіального навантаження.

Довговічність підшипників у мільйонах обертів:

$$L = a_1 * a_{23} \left(\frac{C_{\text{Г}}}{P_{\text{ге}}} \right)^{\alpha} = 1 * 0,75 * \left(\frac{25500}{4945,72} \right)^3 = 602,8 \frac{\text{млн}}{\text{об}}$$

$a_1 = 1$ при $S = 0,9$ – коефіцієнт надійності підшипника;

$a_{23} = 0,75$ – коефіцієнт умови роботи використання кулькового підшипника.

$\alpha = 3$ – для кулькового підшипника.

$$L_{\text{н}} = \frac{L * 10^6}{60 * n} = \frac{602,8 * 10^6}{60 * 500} = 2009,3 \text{ год}$$

3.8 Перевірочний розрахунок шпонок

Вхідний вал

Діаметр валу $d=14$ мм; обертовий момент $T=11,04$ Н*м.

По ДСТУ 23360–78 вибираємо шпонку з розмірами:

$b=5$ мм – ширина шпонки;

$h=5$ мм – висота шпонки;

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$t_1=3$ мм – глибина паза у валу;

Мінімальна довжина шпонки з умови зминання

$$l \geq \frac{2 * 10^3 * T_{ш2} * k_{пер}}{d_{шк}(h - t_1)[\sigma]_{зм}} + b = \frac{2 * 10^3 * 11,04 - 2,03}{14(5 - 3) * 180} + 5 = 9,3 \text{ мм}$$

Приймаємо $l = 10$ мм з ряду довжин шпонок.

Вхідний вал (Шестерня)

Діаметр валу $d=24$ мм; обертовий момент $T=11,04$ Н*м.

По ДСТУ 23360–78 вибираємо шпонку з розмірами:

$b=7$ мм – ширина шпонки;

$h=7$ мм – висота шпонки;

$t_1=4$ мм – глибина паза у валу;

Мінімальна довжина шпонки з умови зминання

$$l \geq \frac{2 * 10^3 * T_{ш2} * k_{пер}}{d_{шк}(h - t_1)[\sigma]_{зм}} + b = \frac{2 * 10^3 * 11,04 - 2,03}{24(7 - 4) * 180} + 7 = 10,3 \text{ мм}$$

Приймаємо $l = 10$ мм з ряду довжин шпонок.

Вихідний вал (Шків)

Діаметр валу $d=30$ мм; обертовий момент $T=70,67$ Н*м.

По ДСТУ 23360–78 вибираємо шпонку з розмірами:

$b=10$ мм – ширина шпонки;

$h=8$ мм – висота шпонки;

$t_1=4$ мм – глибина паза у валу;

Мінімальна довжина шпонки з умови зминання

$$l \geq \frac{2 * 10^3 * T_{ш2} * k_{пер}}{d_{шк}(h - t_1)[\sigma]_{зм}} + b = \frac{2 * 10^3 * 70,67 - 2,03}{30(8 - 4) * 180} + 10 = 27,4 \text{ мм}$$

Приймаємо $l = 28$ мм з ряду довжин шпонок.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Заходи з охорони праці на виробничій дільниці

Основне значення техніки безпеки – забезпечення безпеки і нешкідливості праці без зниження його продуктивності. Здійснення цих вимог зводиться до проведення комплексу заходів, направлених на запобігання працюючого від різного роду травм.

Виробничою травмою вважають тілесне ушкодження, у результаті якого настає тимчасова чи постійна втрата працездатності. Причинами виробничого травматизму є механічні, електричні, хімічні чи іншого роду впливи на організм людини, а також гострі отруєння, опіки, що виникли у виробничих умовах.

Неуважність працюючого як на робочому місці, так і при пересуванні по території цеху, заводу, несправність підйомно-транспортного устаткування, верстатів, пристосувань, погана організація робочих місць і т.д. часто приводять до нещасних випадків. Іноді причиною виробничих травм є захащення робочих місць і проходів напівфабрикатами і готовою продукцією. У механічних цехах до нещасливих випадків може привести незнання робітниками правил техніки безпеки, пристрою верстата, несправності електрообладнання верстата, відсутність огорожень і запобіжних пристроїв, застосування неправильних прийомів роботи на верстаті, неправильне носіння спецодягу, неуважність самого робітника, невиконання правил техніки безпеки і правил внутрішнього розпорядку та ін.

					КРБ 22-037.00.00.000						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БЕЗПЕКА ЖИТТЕДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ				Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Данильченко									
Перевір.		Лещук									
Консульт.		Окіпний							ТНТУ, зр. МВ-41		
Н. Контр.		Кобельник									
Зав.каф.		Крупа									

Небезпеку представляють внутрішньозаводський автомобільний транспорт, безрейковий електротранспорт, підйомні крани, ручні вагонетки та ін.

Значна частина нещасних випадків із фрезерувальниками відбувається при транспортуванні, установці і знятті фрез, пристосувань і оброблюваних заготовок. Нижче приведені основні вимоги техніки безпеки по транспортуванню, установці і зняттю фрез:

- Фрези повинні зберігатися і транспортуватися в спеціальній тарі, забезпечуватися захисними дерев'яними колонами.
- При установці фрез необхідно надягати рукавиці. Легкі фрези масою до 3 кг установлюють вручну, а фрези масою від 3 до 8 кг варто встановлювати на консольно-фрезерних верстатах у такий спосіб:
 - а) покласти фрезу хвостовиком нагору на дерев'яну підкладку, покладену на столі верстата;
 - б) переміщаючи стіл, підвести фрезу під шпindelь;
 - в) підняти стіл нагору;
 - г) завести хвостовик фрези в отвір шпинделя і посадити фрезу на шпindelь;
 - д) закріпити фрезу.

Знімання фрез з верстата виконується в зворотному порядку при дотриманні тих же запобіжних заходів. Фрези масою більш 8 кг необхідно встановлювати за допомогою спеціальних підйомних засобів.

Пристосування і заготовки масою більш 20 кг встановлюють і знімають підйомними засобами. Кріплення оброблюваних заготовок на столі верстата в пристосування повинно бути надійним.

Важкі універсальні пристосування які постійно знаходяться на робочому місці, зберігаються на стелажах і спеціальних підставках.

Ураження електричною напругою небезпечно для життя людини, тому забороняється доторкатися до будь-яких проводів, особливо неізолюваних чи погано ізолюваних.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для захисту робітника від ЗОР і стружки застосовують захисні огороження зони різання. При відсутності зазначених пристроїв працювати на верстаті не дозволяється. Для захисту очей від поранень і опіків стружкою застосовують захисні окуляри, індивідуальні щитки, спеціальні кожухи для фрез й ін.

При нещасних випадках необхідно негайно звертатися за допомогою в медпункт. Тому що техніка безпеки безпосередньо зв'язана з технологією виробництва, то дотримання технологічної дисципліни, виконання правил технічної експлуатації, висока трудова дисципліна є найважливішими умовами, що забезпечують безпеку праці. Велике значення для створення сприятливих умов праці мають освітлення, вентиляція, опалення, захист від шуму, вібрацій, від впливу електричного струму, чистота і порядок як на кожному робочому місці, так і на підприємстві.

4.2 Опис принципу дії системи пожежегасіння, що використовується в механічному цеху підприємства машинобудування

Система протипожежного захисту – це сукупність організаційних заходів а також технічних засобів, спрямованих на запобігання впливу на людей небезпечних факторів пожежі та обмеження матеріальних збитків від неї (згідно ДСТУ 2272-93).

Важливим компонентом системи протипожежного захисту є система пожежегасіння. Вона включає в себе попереджувальні засоби – автоматичні датчики протипожежної сигналізації, які встановлюються в місцях найбільш ймовірного виникнення пожежі – на дільницях зварювання, термічної обробки та інших приміщеннях з підвищеною температурою, а також в складських приміщеннях, інструментальних коморах та місцях зберігання горючих та легкозаймистих матеріалів. Для ручного попередження працюючого персоналу про виникнення пожежі по периметру приміщення

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цеху, в місцях перебування людей розміщуються ручні сповісники – вмикачі пожежної сигналізації.

Для боротьби з пожежею передбачено 8 пожежних кранів, обладнаних пожежними рукавами і підключених до заводської системи подачі води, які з'єднані з водоймою для забору води. Передбачається на приміщення цеху розміщення протипожежних щитів, які обладнані інструментом – баграми, ломами, сокирами, вогнегасниками та ящиками з піском. Щити розміщуються в місцях входу – виходу із цеху, місцях зберігання легкозаймистих та горючих матеріалів. Для боротьби з вогнем, який виникає на електроустаткуванні, передбачено використання ручних вуглекислотних вогнегасників типу ОУ-2 та ОУ-5, які розміщуються на пожежних щитах на кожній ділянці в кількості 2-4 шт. на ділянку. Також передбачено розміщення в цеху двох пересувних вуглекислотних вогнегасників типу УП-2М.

Також для попередження розповсюдження вогню в цеху передбачається створення протипожежної перешкоди між ділянкою термічної обробки та складом мастильних матеріалів у вигляді вогнетривкої стіни, яка спирається на фундамент, встановлюється на всю висоту цеху та немає в своїй конструкції горючих матеріалів і вікон та проїмів.

Для подачі води, на віддалі 5,5 м від зовнішньої стіни цеху передбачається встановлення двох пожежних гідрантів, які підключені до заводської системи водопостачання.

4.3 Змащувально-охолоджувальні рідини та їх використання на металообробних верстатах. Гігієна праці при роботі із ЗОР

Для покращення процесу обробки деталі на металорізальних верстатах, відводу тепла і змащування деталі та інструменту на підприємствах використовують 8 – 5 % розчин синтетичної ЗОР “Аквол - 10”.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При користуванні цими рідинами слід суворо дотримуватись правил техніки безпеки, порушення яких може спричинити тяжкі наслідки. В процесі обробки деталі різанням з використанням ЗОР робітники безпосередньо контактують з нею при заміні інструменту, наладці верстату, прибиранні обладнання. В процесі обробки відбувається розбризкування рідини, яка потрапляє на відкриті частини тіла та спецодяг. При попаданні цих рідин на відкриті ділянки тіла людини можуть виникнути масляні вугрі та гнійні захворювання шкіри.

Масляні вугрі являють собою ураження волосяних мішечків та безпосередньо пов'язаних з ними сальних залоз. Затримуючись в отворах волосяних мішечків, мінеральні мастильні матеріали впливають на клітини та спричиняють їх розростання у зону волосяних мішечків. Розростання клітин спричиняє закупорювання волосяного мішечка і створює перешкоду для відтоку шкіряного сала, що виробляється сальними залозами. На поверхні шкіри дія масла виникає утворення вугрів, які насамперед поражають передпліччя, а також закриті ділянки тіла, що контактують із забрудненою маслами одежею: живіт, передня поверхня стегон.

Спостереження показують, що ступінь ураження масляними вугрями залежить від умов праці. При роботі на верстатах із сульфореольним охолодженням, де велике розбризкування, при відсутності належної гігієни у робітника, а також при незадовільному прибиранні робочого місця захворювання збільшуються.

Гнійні захворювання шкіри утворюються гноєтворними мікробами, найчастіше стафілококами, рідше стрептококами. Перші завжди є на шкірі людей, але не завжди викликають гнійні захворювання. Крім того гнійні захворювання можуть виникнути із “масляного вугря”. Велике значення має також забрудненість масла гноєтворними мікробами, які попадають туди разом з пилюкою та брудом при незадовільному прибиранні цеху. Змащувально-охолоджувальні рідини забруднені мілкими механічними

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

домішками спричиняють можливість утворення малих ран, через які в шкіру проникають гноєтворні мікроби.

При роботі з емульсіями рекомендується застосовувати емульсол із складом органічних кислот не більше 20 %; додавати в емульсію для нейтралізації кальциновану соду у складі 0,3 % (каустінову соду використовувати заборонено); забезпечити в емульсії склад вільного їдкого натру не більше 0,025 %; кількість мила не більше 1 %; забезпечити систематичний нагляд заводської лабораторії за складом лугів та мил в емульсії. Замінювати емульсію у верстатах не рідше двох разів на місяць.

Для попередження шкіряних захворювань необхідно: проводити нагляд за тим, щоб захисні кожухи верстатів постійно були на своїх місцях; прибирати робоче місце не тільки після закінчення роботи, але й по мірі його забруднення, проводити нагляд за очисткою корита і бачків верстата від бруду лопатою або дощаним сачком; стружку прибирати спеціальними засобами, а не руками; при роботі з емульсіями та маслами забезпечити робітників спецодягом виготовленим із щільної тканини, що добре очищається; проводити прання спецодягу один раз в 12 – 15 днів, а спецбілизни – один раз в тиждень; закріплювати за працюючим із сульфатфрезолом окремі гардероби з індивідуальними шафками; проводити обов'язкову заміну білизни після роботи; видавати для миття рук тверде мило; кожного дня забезпечувати миття тіла під душем; забезпечити робочі місця достатньою кількістю обтирочного матеріалу; слідкувати за тим щоб для витирання рук не використовувався матеріал, яким витирають верстат; для захисту шкіри від подразнення при роботі з емульсіями і содовими розчинами застосовувати жирні мазі: вазелін, ланопин і 2 % буровську рідину, взяту рівними частинами 1:1 іхтіолову мазь і вазелінове масло.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі проведено розрахунок та конструювання приводу головного руху токарного верстата для обробки деталей діаметром до 63 мм і довжиною до 200 мм.

У конструкторському розділі виконаний аналіз верстата-аналога, приведено опис токарного верстата моделі HAAS CL-1, його основні технічні характеристики, принцип роботи, виконано розрахунок режимів різання та елементів приводу головного руху, що входять до складу нового верстата.

У технологічний розділ входить вибір і обґрунтування технічних умов на деталь, розрахунок припусків і вибір заготовки, розрахунок режимів різання, проектування маршрутного і операційного процесів.

У розділі охорони праці та безпека життєдіяльності розглянуті небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які діють на об'єкті, що проектується, розроблені заходи щодо їх усунення.

					КРБ 22-037.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ		
Розроб.	Данильченко						
Перевір.	Лещук						
Консульт.							
Н. Контр.	Кобельник						
Зав.каф.	Крупа						
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

ПЕРЕЛІК ПОСЛАНЬ

1. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory / V. Krupa et al. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952> (date of access: 22.05.2024).
2. Безпека виробничих процесів : довідник / під ред. С. В. Белова. – М : Машинобудування, 1985. – 448 с.
3. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів: Світ, 1996. 368 с.
4. Бочков В. М., Сілін Р. І., Гаврильченко О. В. Металорізальні верстати: навч. посіб. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. 268 с.
5. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: підручник. Львів: Бескид Біт, 2008. 448 с.
6. Гагалюк А.В., Паливода Ю.Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування : навчальний посібник Тернопіль: Осадца Ю. В., 2025. – 308 с.
7. Гейчук В.М. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor (Частина І): навч. посіб. Навчальне мережне електронне видання. К.: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2017. 394 с.
8. Данильченко Ю.М., Шевченко О.В., Ковальов В.А., Волошин В.Н. Металообробне обладнання. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. 60 с.
9. Дементій, Л. В. Охорона праці в механічних та складальних цехах / Л. В. Дементій, С. А. Гончарова. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – 312 с. – ISBN 5-7763-1413.

					КРБ 22-037.00.00.000		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Перелік посилань		
Розроб.		Данильченко					
Перевір.		Лещук					
Консульт.							
Н. Контр.		Кобельник					
Зав.каф.		Крупа					
					Літ.	Арк.	Акрушів
					ТНТУ, зр. МВ-41		

10.Жидецький В. Ц., Джигирей В. С. Практикум з охорони праці: навчальний посібник.Львів: Афіша, 2000 – 352 с.

11.Кваліфікаційна робота бакалавра: структура, вимоги до виконання та захист. Методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування галузі знань 13 Механічна інженерія для здобувачів всіх форм здобуття освіти / уклад.: Р. А. Складаров, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Р. Я. Лещук, А. А. Сенік, В. В. Шанайда, А. В. Гагалюк, В. М. Буховець. – Тернопіль : ТНТУ, 2025. 78 с.

12.Кобельник В.Р. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів / Кобельник В.Р, Крупа В.В., Тимошенко Н.М. // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези допов. – Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.

13.Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01: / Кобельник Володимир Романович; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2013. - 21 с.

14.Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.

15.Кочергін І. А. Конструювання і розрахунок металорізальних верстатів і верстатних комплексів. Курсове проектування: Посібник для вузів. - Мн .: Виш. шк., 1991. - 382 с.

16.Крупа В. В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.

17.Кузнецов Ю. М., Складаров Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнецов, Р. А. Складаров; під ред. Ю. М. Кузнецова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18.Кузнєцов Ю.М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах/ Ю.М. Кузнєцов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин [Текст] - К.: - Тернопіль: Тернограф, 2011. -692с.

19.Кухарський О.М., Кузьмін М.І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.

20.Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці: навчальний посібник. / Н. С. Равська та ін. Житомир: ЖІТІ, 2000. 332 с.

21.Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: «Вища школа», 1993. 560 с.

22.Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

23.Розрахунок та конструювання коробок швидкостей металорізальних верстатів. Методичні вказівки до виконання практичних та розрахунково-графічної робіт / уклад.: В. І. Кальченко, А. В. Кологойда, О. С. Следнікова. Чернігів: ЧНТУ, 2016. 111 с.

24.Технологія машинобудування : навч. посіб. / Є. О. Горбатюк, М. П. Мазур, А. С. Зенкін, В. Д. Каразей. - Львів : Новий світ-2000, 2009. - 358 с

25.Шанайда В. В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001. 163 с.

					КРБ 22-037.00.00.000	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

[illegible]