

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»
МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ
ШЛІФУВАЛЬНО-СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА
ПІДШИПНИКІВ.**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМ-41
Серета Богдан Олександрович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2025 р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Божко Тетяна Євгенівна

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Транспорту та механічної інженерії

Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Р. РЕДЬКО

“ _____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Середі Богдану Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: *Модернізація технології та обладнання шліфувально-складального виробництва підшипників.*

Керівник роботи: *Четвержук Тарас Іванович, к.т.н., доцент,*

затвержені наказом закладу вищої освіти від від «31» грудня 2024 р., № 910/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «01» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Конструкторсько-технологічна документація, відгуки підприємства SKF про роботу обладнання, креслення деталі, річна програма випуску, базовий технологічний процес, нормативні дані _____

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналітичний розділ. 2. Технологічний розділ. 3. Конструкторський розділ. 4. Проектування механічної дільниці 5. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки. _____

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Креслення та 3D модель деталі – 1 лист (ф.А.2), Шпindelний вузол торцешліфувального верстату – 1 лист (ф.А1), КН– 1 лист (ф.А2) бабка шліфувальна (ф.А1).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

1.03.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Загальний розділ	10.04.25	
2.	Технологічний розділ	30.04.25	
3.	Проектування верстаного пристосування та ріжучого інструменту	10.05.25	
4.	Проектування механічної дільниці	15.05.25	
5.	Охорона праці та виробнича безпека	17.05.25	
6.	Оформлення графічної частини	28.05.25	
7.	Інструментальна перевірка на академічний плагіат	5.06.25	
8.	Представлення роботи до захисту	10.06.25	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Середа Б.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Четвержук Т.І.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Середа Б.О. Модернізація технології та обладнання шліфувально-складального виробництва підшипників. Рукопис.

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

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літературних джерел, додатків (згідно структури кваліфікаційної роботи, затвердженої кафедрою).

Робота включає в себе загальний розділ, технологічну і конструкторську частини, а також питання охорони праці. В технологічній частині проекту подані матеріали та розрахунки, пов'язані з описом та відпрацюванням виробу на технологічність, розробкою маршрутної та операційної технології оброблення «Клин», вибором методу виготовлення заготовки, розрахунком режимів різання та нормуванням робіт.

В конструкторській частині проекту наведені спроектовано привід головного руху торцешліфувального верстата.

Питання, пов'язані з нормуванням і розрахунком основних виробничих факторів, що забезпечують безпечну роботу машинобудівного підприємства викладені в розділі охорони праці.

Ключові слова: технологічний процес, механічна обробка, заготовка, підшипник кочення, режими різання, шліфувальний верстат.

ABSTRACT

SEREDA B. Modernization of technology and equipment for grinding and storage bearing manufacturing. Manuscript.

Bachelor's qualification work of EP «Applied Mechanics» specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, 5 chapters, conclusions, a list of literary sources, appendices (according to the structure of the qualification work approved by the department).

The work includes a general section, technological and design parts, as well as labor protection issues. The technological part of the project presents materials and calculations related to the description and testing of the product for manufacturability, the development of the route and operational technology of processing «Wedge», the choice of the method of manufacturing the workpiece, the calculation of cutting modes and the standardization of work. The design part of the project presents the designed drive of the main movement of the face grinding machine. Issues related to the standardization and calculation of the main production factors that ensure the safe operation of the machine-building enterprise are set out in the labor protection section.

Key words: technological process, machining, workpiece, rolling bearing, cutting modes, grinding machine.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1. Аналіз видів шліфування.....	8
1.2. Шліфувальне обладнання для підшипникового виробництва.....	16
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	19
2.1. Технологія шліфування кілець підшипника серії 305.....	19
2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Клин» для складання підшипників.....	25
2.3. Розробка технології складання вузла для розподілу кульок підшипника.....	38
2.4. Розрахунок ПДВ (напружено-деформованого стану) деталі «Клин» за допомогою системи SolidWorks.....	40
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	44
3.1. Аналіз конструкцій мехатронних пристроїв приводів шліфувальних верстатів з ЧПУ.....	44
3.2. Проектування і розрахунок головного приводу верстата.....	47
3.3. Розрахунок потужності і вибір приводу.....	48
3.4. Розрахунок шпиндельного вузла.....	49
3.5. Розрахунок жорсткості опор кочення.....	51
РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ДІЛЬНИЦІ.....	55
4.1 Розрахунок площ шліфувальної ділянки	55
4.2. Опис роботи лінії для шліфування кілець кулькових підшипників.....	56
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	59
5.1. Правила експлуатації шліфувальних верстатів. Заходи безпеки при роботі на верстатах даного групи.....	59
5.2. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори на робочому місці	60

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

шліфувальника.....	
5.3. Заходи та засоби захисту від пилу, що утворюється в процесі шліфування. Видалення пилу та вентиляція.....	62
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
ДОДАТКИ	68

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Одним із етапів виготовлення підшипника є шліфування кілець підшипників. Шліфуванням забезпечуються остаточні форми і розміри оброблених кілець підшипника і задається необхідна шорсткість поверхонь. Шліфувальні операції виконуються на технологічних лініях, що складаються з декількох видів шліфувальних верстатів, вимірювальних комплексів і миючих машин, пов'язаних між собою технологічним транспортом.

Круглошліфувальні, внутрішньошліфувальні, плоскошліфувальні, безцентрово-шліфувальні, контурошліфувальні та інші верстати на сучасних високотехнологічних підприємствах оснащують системами ЧПУ. При цьому виникають технічні проблеми, які пояснюються такими причинами. Процес шліфування характеризується, з одного боку, необхідністю отримання високої точності та якості поверхні при мінімальному розсіюванні розмірів, з іншого боку – особливістю обробного інструменту, що полягає у швидкій втраті розмірної точності шліфувального круга внаслідок інтенсивного зношування в процесі роботи. Отже, у верстатах необхідні механізми автоматичної компенсації зношування шліфувального круга.

Ефективність виробництва, його технічний прогрес, якість виробленої продукції багато в чому залежать від інноваційного розвитку виробництва нового обладнання, машин, верстатів і апаратів. Технологічна підготовка при виробництві збірних одиниць і деталей є одним з основних етапів створення готового виробу.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Аналіз видів шліфування

Шліфування – це абразивна обробка, де інструмент (шліфувальний круг) робить винятково обертальний рух, який вважається основним рухом різання [12], а заготовка нерухома, або виконує будь-який рух відносно ріжучого інструменту [45]. Шліфування вважається одним із передових та універсальних методів фінішної обробки різних поверхонь, до яких висуваються дуже високі вимоги: - якість обробки, точність розміру, геометрія форми. Проаналізуємо деякі види шліфування:

Кругле шліфування. Виконується торцем шліфувального круга або його периферією і призначене для обробки різних частин деталей типу тіл обертання. Кругле шліфування вважається «головною, або кінцевою» операцією механічної обробки, яка забезпечує високу точність обробленої деталі. Ця операція може бути реалізована із встановленням деталі в центрах, у цанговому або кулачковому патроні шпинделя самого металообробного верстату. Діаметр круга ніяк не залежить від діаметра деталі та визначається міцністю круга, параметрами верстата та технологічними факторами оброблення.

Кругле шліфування може здійснюватися як торцем, так і периферією круга, при цьому, як ріжучу частину часто використовують торцеву або зовнішню поверхню шліфувального круга [45].

Кругле шліфування буває таких видів:

– із поздовжньою подачею;

Оброблювана деталь, що обертається зі швидкістю поздовжнього ходу, що дорівнює хвилинній подачі круга, здійснює поздовжнє переміщення вздовж своєї осі. Наприкінці кожного або подвійного ходу шліфувальне круг

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ставлять у напрямку, перпендикулярному до осі деталі, на величину припуску, що знімається, рівного поперечній подачі. Застосовується для чорнового та чистового шліфування деталей великої довжини (вали, осі, цапфи, свердла, протяжки). Перевагою є висока точність. Недоліком є неможливість оброблення по всій довжині деталі, так як частина її затиснута в патроні. При шліфуванні тонких та довгих деталей необхідно використовувати додаткову опору. Дана схема шліфування наведена на рисунку 1.1.

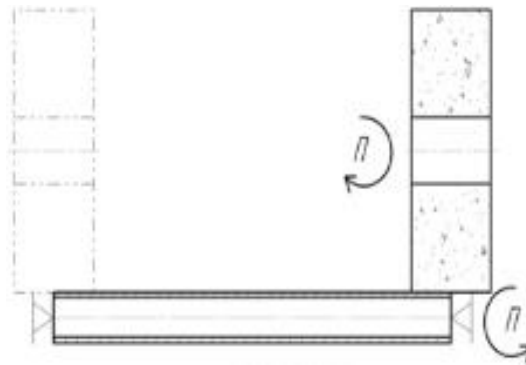


Рисунок 1.1 – Схема круглого шліфування з поздовжньою подачею

- глибинне;

Глибинне шліфування один із різновидів шліфування з поздовжньою подачею круга. Обробку деталі при такому шліфуванні проводять із глибиною різання 0,5...5 мм і більше. Круг при шліфуванні встановлюють на величину припуску, що знімається. Подачу деталі роблять лише в один бік. Різання здійснює конічна частина шліфувального круга з кутом $10^{\circ}30'$ - $10^{\circ}45'$, а оброблену поверхню зачищає циліндрична частина кола. Застосовується для напівчистового та обдирного шліфування жорстких коротких деталей (вали, цапфи, пальці, осі), шліфування пазів та деталей складного профілю. Перевагою даного методу вважається: поєднання чорнового та чистового шліфування, стабільність розмірів прошліфованих деталей, висока продуктивність обробки, досягнення параметрів шорсткості та заданої

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

точності, малий нагрів та сприятливі умови різання деталі. Така схема наведена на рисунку 1.2.

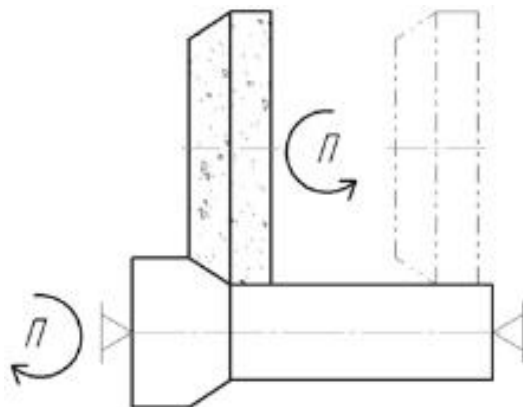


Рисунок 1.2 – Схема глибокого круглого шліфування

- врізне;

Поперечну подачу шліфувального круга на глибину припуску виконують періодично або безперервно. Деталь, що шліфується не має поздовжньої подачі. Зниження шорсткості та підвищення точності круга чинить додатковий осьовий коливальний рух ліворуч або праворуч. Застосовується для чистового і напівчистового шліфування циліндричних та конічних поверхонь (цапфи, шийки валів, кулачки, бурти). Цей метод шліфування має підвищену продуктивність, можливість обробки одночасно декількох поверхонь, трьома або двома встановленими кругами.

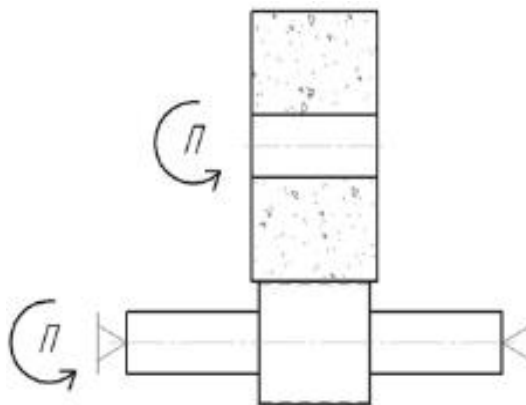


Рисунок 1.3 – Схема врізного круглого шліфування

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Наявність великої ширини зони контакту круга з деталлю відбувається інтенсивне виділення теплоти, що вимагає збільшення використання МОР. Відповідна схема наведена на рисунку 1.3.

- уступами;

Цей метод поєднує в собі шліфування з поздовжньою подачею та врізне. Спочатку шліфується одна ділянка деталі, потім сусідня з нею ділянка з перекриттям на 5-10 мм. Утворюється ступінчастість ділянок двома-трьома поздовжніми ходами. Застосовується для обдирного та чистового шліфування довгих деталей (ступиці зубчастих коліс, ступінчасті вали, конічні та циліндричні хвостовики). Перевагою даного методу є підвищена продуктивність при обробці довгих деталей із забезпеченням параметрів шорсткості поверхні та можливістю досягнення заданої точності. Схема наведена на малюнку 1.4.

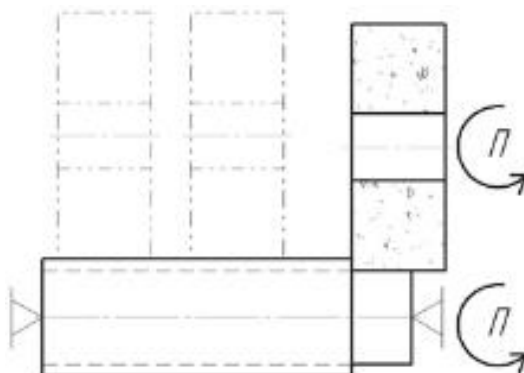


Рисунок 1.4 – Схема круглого шліфування уступами

- з подачею під кутом;

Шліфування за діаметром і торцем деталі кругом одночасно, призводить до того, що вісь шпинделя розміщена під кутом до осі деталі. Шліфування виконується кругом із подачею перпендикулярно до осі його обертання. За даною схемою може проходити шліфування кількох торців та шийок валів одразу. Використовується для чистового та обдирного шліфування спряжених поверхонь (конус – торець, циліндр – торець) відносно малої довжини. Цей метод відзначається високою продуктивністю

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

із забезпеченням заданих параметрів точності та якості обробки. Схема наведена на рисунку 1.5.

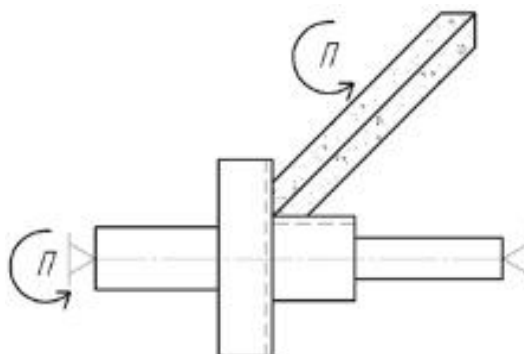


Рисунок 1.5 – Схема круглого шліфування із подачею під кутом

Внутрішнє шліфування. Методом внутрішнього шліфування обробляють профільні, конічні та циліндричні отвори. При внутрішньому безцентровому шліфуванні та шліфуванні у патроні подача виконується шляхом обертання деталі. Так само при шліфуванні великогабаритних деталей деталь нерухома, а шпиндель шліфувального круга здійснює обертання навколо осі отвору, який обробляється. Діаметр круга при такому шліфуванні вибирають найбільшим допустимим отвору, що обробляється.

Внутрішнє шліфування буває:

- з поздовжньою подачею;

Шліфувальний круг, обертаючись, переміщається вліво чи вправо. Подача виконується за кожен подвійний прохід на величину припуску, що знімається. Обертання деталі відбувається у протилежний бік. При збільшенні швидкості, подачі та точності виникає ймовірність високої продуктивності. Недоліком даного методу є великий виліт шпинделя при високій частоті обертання, а також інтенсивне зношування круга і велике нагрівання заготовок. Схема представлена на рисунку 1.6.

Використовується для чистового та обдирного шліфування отворів у деталях великої довжини (циліндри, довб'яки, гільзи, ступиці, фрези).

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

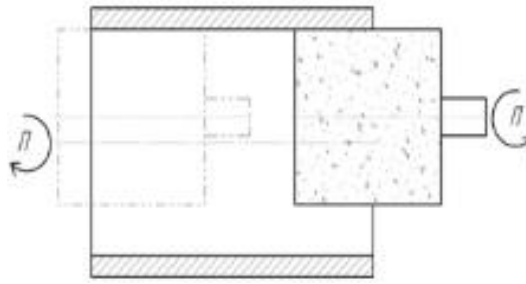


Рисунок 1.6 – Схема внутрішнього шліфування з поздовжньою подачею

Також операції внутрішнього шліфування за аналогією з круглим шліфуванням зовнішніх поверхонь може бути таких видів: врізне, уступами та глибинне.

Для оброблення поверхонь підшипників також використовують безцентрове шліфування. Відмінність безцентрального шліфування в тому, що деталь не закріплюють в центрах або в патроні, а базується по раніше обробленій поверхні або по оброблюваній. Деталь обертається від провідного круга, окружна швидкість якого у 60-100 разів менша, ніж швидкість шліфувального круга.

Безцентрове шліфування буває:

- із поздовжньою подачею;

Шліфувальний та ведучий круги обертаються в одному напрямку. Деталь, встановлюється на опорний ніж, обертається у протилежному напрямку. Переміщення деталі з поздовжньою подачею відбувається внаслідок кута нахилу ведучого круга та виникнення сил тертя на неї. Служить для чистового та обдирного шліфування гладких циліндричних поверхонь (пальці, кільця підшипників, великі вали, штирі, тонкостінні циліндри). Продуктивність даного методу перевищує кілька разів продуктивність шліфування в центрах. Режими шліфування підвищені завдяки ведучому кругу та надійній опорі деталі на ніж. Складність налагодження при високих вимогах до відхилення від циліндричності деталі.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Також викликають складність шліфування деталі, виступи та лиски по довжині. Таку схему наведено на рисунку 1.7.

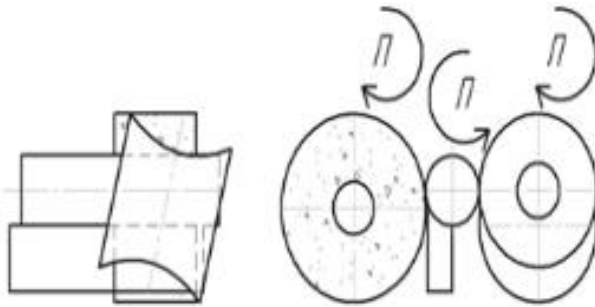


Рисунок 7.1 – Схема безцентрового шліфування із поздовжньою подачею

- врізне;

Шліфувальний та ведучі круги обертаються в одному напрямі. Ведучий круг виконує поперечну подачу на всю величину припуску. Деталь обертається у протилежний бік, опираючись на ведучий круг та на ніж. Служить для чистового та обдирного шліфування ступінчастих, фасонних та циліндричних поверхонь (хрестовини, цапфи, сферичні пальці, стрижні клапанів). Схема зображена на рисунку 1.8.

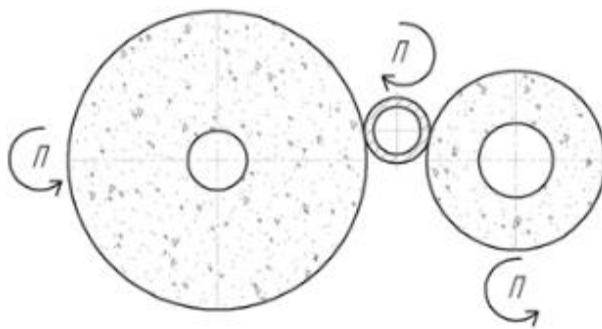


Рисунок 1.8 – Схема безцентрового врізного шліфування

- до упору;

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Деталь спочатку шліфується, як при шліфуванні з поздовжньою подачею, а при торканні її торця ведучий круг відходить назад, і деталь відповідно виходить з оброблення. Подача здійснюється при радіальному переміщенні ведучого круга на деталь.

Чистове шліфування циліндричних та конічних поверхонь деталей щодо невеликих розмірів (хвостовики кінцевого різального інструменту, стрижні клапанів). Перевагою є стабільність розмірів партії оброблених деталей. Недолік – складність налаштування, часте правлення кругів. Відповідна схема наведена на рисунку 1.9.

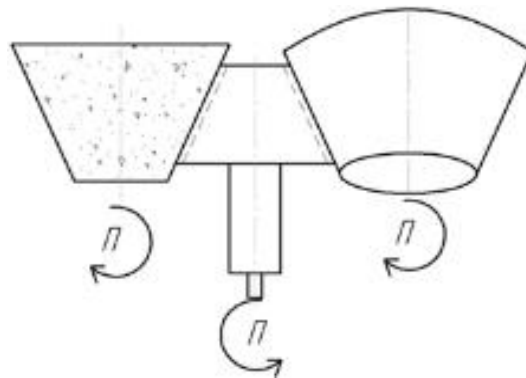


Рисунок 1.9 – Схема безцентрового шліфування до упора

Для оброблення поверхонь кілець підшипників також застосовують плоске шліфування. Плоске шліфування периферією круга виконується шліфувальними кругами діаметром 100-500 мм та шириною 8-75 мм.

Шліфовані деталі в залежності від матеріалу, форми та розмірів закріпляються на електромагнітній плиті або на поверхні основного столу. При шліфуванні торцевих поверхонь застосовують широкі кола типів ПВ та ПВД [45]. Щоб зберегти робочу швидкість круга, часто застосовують верстати, що працюють торцем кола типу К, ЧК, ЧЦ, ПН, а також сегменти, закріплені в спеціальній сегментній головці. Залежно від довжини оброблюваної деталі шліфування периферією круга може здійснюватися двома способами:

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

врізанням (способом безперервної поперечної подачі) або поздовжньою подачею (на прохід).

1.2. Шліфувальне обладнання для підшипникового виробництва

Підшипникове виробництво може бути укомплектоване різним обладнанням. Нижче розглянуто варіанти комплектування, ділянки шліфувального виробництва на корпорації SKF.

Круглошліфувальні верстати. В нашому випадку це спеціалізовані шліфувальні центри з ЧПУ EWAMATIC Line (або його аналоги), що володіють кінематикою та шістьма шпинделями, а також високоточним пристроєм правлення шліфувальних кругів. Круглошліфувальний центр S33, представлений на рисунку 1.10. S33 призначений для одиничної та дрібносерійної обробки шліфуванням в інструментальному виробництві та приладах точної механіки.



Рисунок 1.10 – Круглошліфувальний верстат S-33

Безцентрошліфувальні верстати. Безцентрошліфувальний верстат 3E183. Напівавтомат круглошліфувальний безцентрової моделі 3E183AM призначений для шліфування гладких, ступінчастих, конічних і фасонних поверхонь типу тіл обертання методом врізного або наскрізного шліфування.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Можна шліфувати вироби з чавуну, сталі, кольорових металів та їх сплавів при відповідному виборі абразивного інструменту та матеріалу опорного ножа. Напівавтомат оснащений механізмами автоматичного правлення шліфувального круга та підналагодження шліфувальної бабки.

Внутрішньошліфувальні верстати. Верстат моделі ЗК229А, або його аналоги (рисунок 1.11) призначений для шліфування конічних і циліндричних глухих наскрізних отворів (з кутом при вершині до 60 °): для верстата ЗК228А моделі діаметр становить 50-300 мм і довжина доходить до 320 мм, для верстата 500 мм, а довжина до 500 мм.



Рисунок 1.11 – Верстат круглошліфувальний моделі ЗК229А

Це верстат оснащений торцешліфувальними пристроями, які дозволяють шліфувати зовнішній торець виробу за один установ з шліфуванням отвору.

Може також використовуватися внутрішньошліфувальний універсальний верстат з числовим програмним управлінням ЗМ225ВФ2, (рисунок 1.12). Призначення та область застосування – для шліфування циліндричних та конічних глухих та наскрізних отворів, зовнішніх та внутрішніх торців.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.12 – внутрішньошліфувальний верстат з ЧПУ 3М225ВФ2

Проте різні підприємства з виробництва підшипників (кулькових або роликів) можуть використовувати різне шліфувальне обладнання, ріжучий та вимірювальний інструмент залежно від їхніх технологічних процесів та наявного металообробного обладнання.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Технологія шліфування кілець підшипника серії 305

Технічні характеристики підшипника серії 305 представлені в таблиці 2.1 та на рисунку 2.1 [22].



Рисунок 2.1 – Підшипник кульковий радіальний однорядний серії 305

Даний підшипник [22] має доріжки кочення на внутрішньому та зовнішньому кільцях, зміщені щодо один одного вздовж осі підшипника. Така конструкція дозволяє підшипнику сприймати комбіновані навантаження, тобто навантаження, що діють у радіальному та осьовому напрямках. Осьова вантажопідйомність зростає з збільшенням кута контакту. Кут контакту α – це кут між лінією, що з'єднує точки контакту кульки з доріжками кочення, по яких навантаження передається від однієї доріжки кочення на іншу.

Даний підшипник відкритий з обох боків, що сприяє попаданню всередину пилу та бруду, якщо він не закритий сальником та/або пильником, які запобігають попаданню всередину пилу та бруду, а також не дозволяють

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

мастилу витікати з робочої зони підшипника. Ця серія підшипників використовується для сприйняття радіальних навантажень при високих частотах обертання в обидві сторони у промисловій галузі, у вітчизняному автомобілебудуванні – у коробках відбору потужності, двигунах, масляних насосах і т.д. Осьове навантаження не повинно перевищувати 70% радіального навантаження, що не використовується.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики підшипника 305

Характеристика	Значення
Зовнішній діаметр:	62 мм.
Внутрішній діаметр:	25 мм .
Ширина:	17 мм.
Радіус фаски:	1,1.
Ном. частота обертання при пластичній змазці:	11000 об/хв.
Ном. частота обертання при рідкому мащенні:	14000 об/хв
Кількість кульок:	7 шт.
Діаметр кульки:	11,50 мм
Маса кульки:	0,23 гр.
Вантажопідйомність статична:	11,4 кН.
Вантажопідйомність динамічна:	22,5кН
SKF:	6305
ДСТУ:	305
Внутрішній діаметр зовнішнього кільця:	50,4 мм

Технологія оброблення поверхонь підшипника 305:

Кільця 305.01 та 305.02 для підшипника 305 шліфуються одночасно на двох паралельних лініях.

1) Зовнішнє кільце 305.01

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

1.1) Шліфування торців кільця підшипника 305.01 Обидва торці шліфуються одночасно за 2 проходи на верстаті модернізованому верстаті 3344AE. Схема шліфування та технологічні налагодження шліфування торців кільця підшипника 305.01 представлені рисунку 2.2.

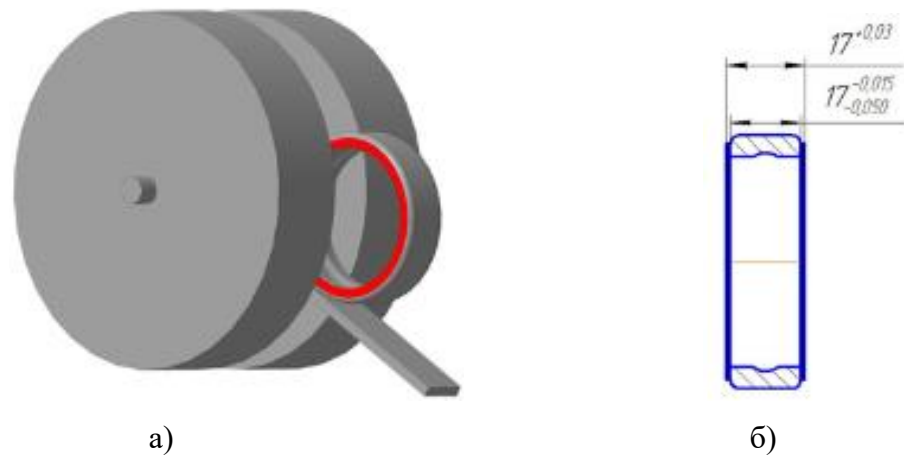


Рисунок 2.2 – а) Схема шліфування торців підшипника 305.01, б) технологічні налагодження шліфування торців даного кільця

1.2) Шліфування зовнішнього діаметра кільця підшипника 305.01. Зовнішній діаметр шліфується за 3 проходи на безцентрошліфувальному верстаті 3В182. Схема шліфування та технологічні налагодження шліфування зовнішнього діаметра кільця підшипника представлена на рисунку 2.3.

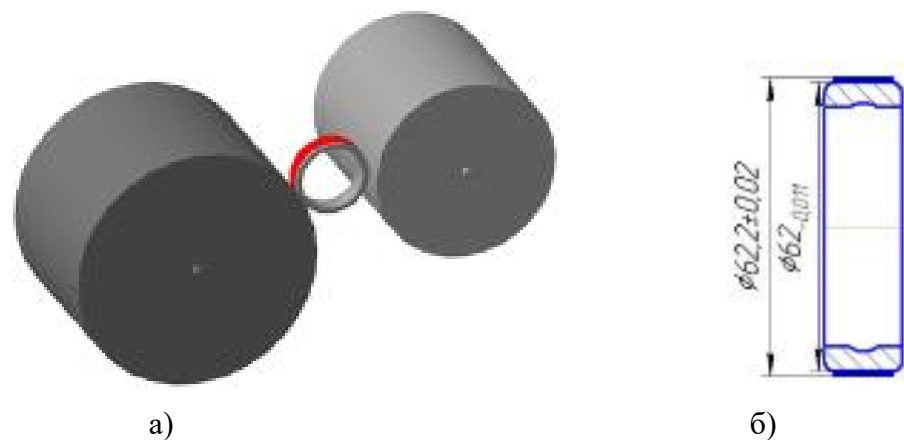


Рисунок 2.3 – а) Схема шліфування зовнішнього діаметра кільця підшипника 305, б) технологічні налагодження

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

1.3) Шліфування доріжки кочення кільця підшипника 305.01. Доріжка кочення шліфується за 1 прохід на верстаті ЗМК147В. Схема шліфування та технологічні налагодження шліфування представлені на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – а) Схема шліфування доріжки кочення, б) технологічні налагодження шліфування

1.4) Суперфініш доріжки кочення кільця підшипника 305.01. Суперфініш виконується за 1 прохід на верстаті ЗМЗ329G. Схема шліфування та технологічні налагодження суперфінішу представлені на рисунку 2.5.

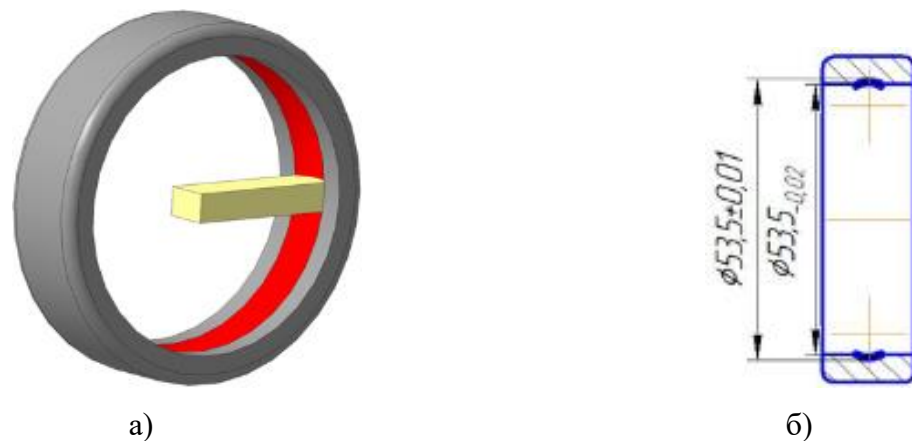


Рисунок 2.5 – а) Схема суперфінішу доріжки кочення, б) технологічні налагодження суперфінішу

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

2) Внутрішнє кільця 305.02.

2.1) Шліфування торців кільця підшипника 305.02. Обидва торці шліфуються одночасно за 2 проходи на верстаті 3344AE ЛШ054. Схема шліфування представлені на малюнку 2.6.

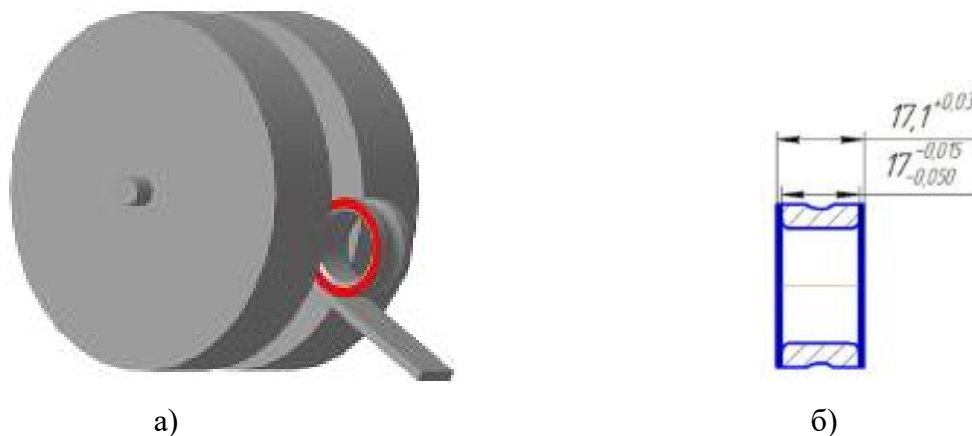


Рисунок 2.6 – а) Схема шліфування торців, б) технологічні налагодження шліфування торців внутрішнього кільця підшипника

2.2) Шліфування доріжки кочення кільця підшипника 305.02. Доріжка кочення шліфується за 1 прохід на верстаті 3МК136В. Схема шліфування та технологічні налагодження шліфування представлені на рисунку 2.7.

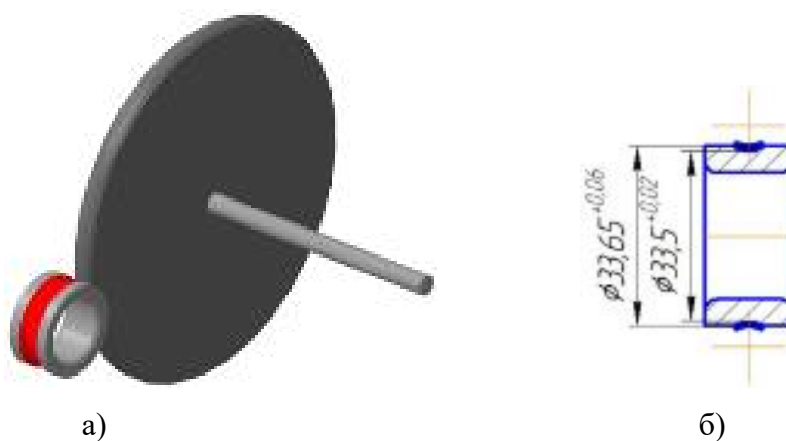


Рисунок 2.7 – а) Схема шліфування, б) технологічні налагодження шліфування доріжки кочення внутрішнього кільця підшипника

2.3) Шліфування отвору кільця підшипника 305.02. Отвір шліфується за 1 прохід на верстаті 3М205В. Схема шліфування зображені на рисунку

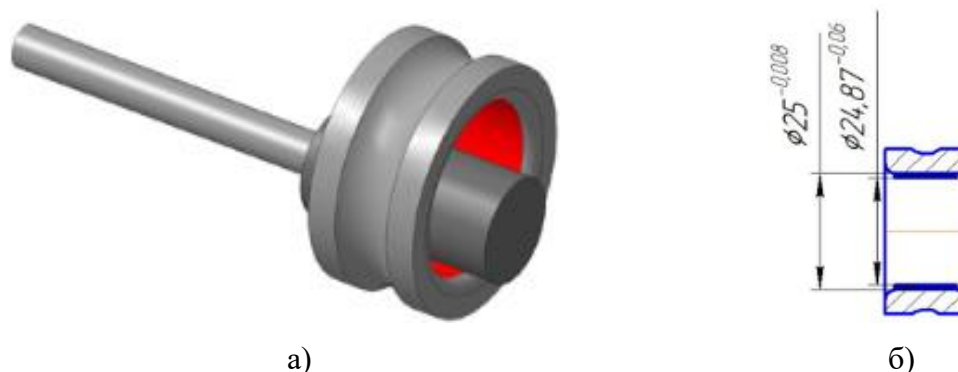


Рисунок 2.8 – а) Схема шліфування отвору кільця підшипника, б) технологічні налагодження шліфування отвору кільця підшипника

2.4) Суперфініш доріжки кочення кільця підшипника 305.02. Суперфініш виконується за 1 прохід на верстаті 3МК315G. Схема шліфування та технологічні налагодження на дану операцію представлені рисунку 2.9.

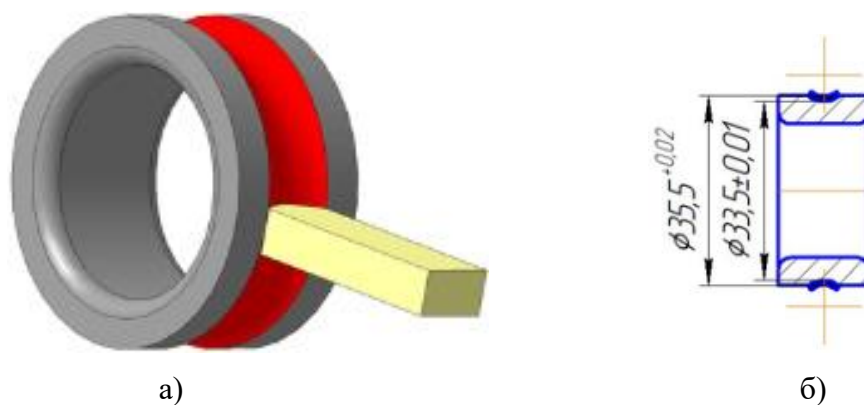


Рисунок 2.9 – а) Суперфініш доріжки кочення кільця підшипника, б) технологічні налагодження шліфування доріжки кочення

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Клин» для складання підшипників

Призначення, конструкція та аналіз технологічності деталі «Клин», креслення та 3D модель якої представлена на рисунку 2.10. Клин – одна з основних деталей конструкції пристосування для збирання підшипників. За допомогою його заданим чином орієнтуються тіла кочення в підшипнику.

Деталь складається з циліндричної поверхні діаметром 51,1 мм, з наскрізним отвором в центрі діаметром 12 мм і 4 отворами з різьбленням М6 з торців для кріплення деталі до складального пристосування. Робочою поверхнею є сегмент довжиною 100 мм із зовнішнім діаметром 49,1 мм та внутрішнім діаметром 41,1 мм із загостренням у вершині 60°.

Матеріал, що використовується для виготовлення даної деталі – Л68. Це сплав міді та цинку, де цинку міститься близько 32%, а решта – мідь згідно «ДСТУ 15527:2005 Сплави мідно-цинкові (латунні), оброблювані тиском. З поправками (ІПС № 6-2005), (ІПС № 9-2005)». Хімічний склад Л68 наведено у таблиці 2.2, фізичні властивості представлені у таблиці 2.3 згідно [19].

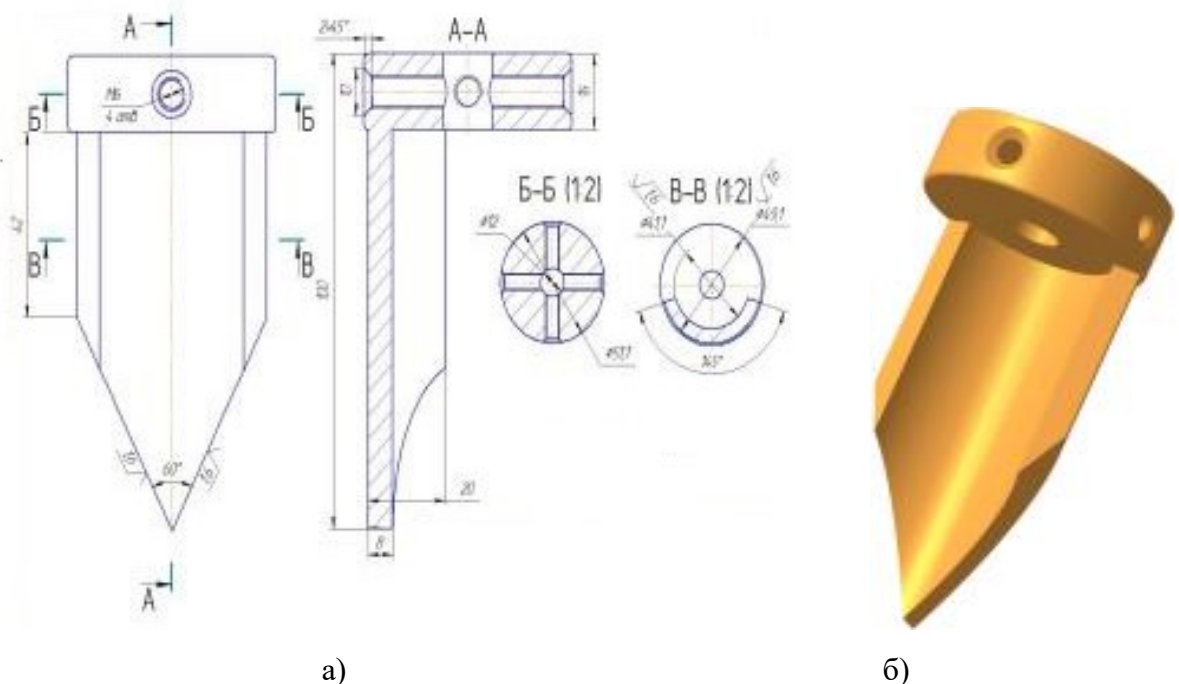


Рисунок 2.10 – а) Креслення деталі «Клин», б) 3-D модель

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 2.2 – Хімічний склад у %

<i>Fe</i>	<i>P</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Sb</i>	<i>Bi</i>	Домішок
до 0,1	до 0,01	67 - 70	до 0.03	29,7- 33	до 0,005	до 0,002	всього 0,3

Таблиця 2.3 – Фізичні властивості матеріалу Л68

<i>T</i>	<i>E</i> , 10 ⁻⁵	<i>a</i> , 10 ⁶	<i>l</i>	<i>r</i>	<i>C</i>	<i>R</i> , 10 ⁹
Град °	МПа	1/Град	Вт/(м·град)	кг/м ³	Дж/(кг·град)	Ом·м
20°	1,12		113	8600		72
100°		19			376,8	

Технологічний контроль креслення деталі. Конструкторське креслення містить усю необхідну інформацію для технологічного проектування (рисунок 2.10). Це зумовлено тим, що [4]:

- 1) Зображення деталі відтворено адекватно;
- 2) Розміри на кресленні вказані правильно;
- 3) На розміри є допуски, вказані за стандартом;
- 4) На поверхні є вимоги щодо шорсткості параметрів *Ra*;

Аналіз технологічності конструкції. Технологічність конструкції деталі на стадії ескізного проектування не може оцінюватися суто економічними показниками. Технологічність конструкції визначена за співвідношенням позитивних та негативних елементів. Елементи технологічності конструкції деталі:

- 1) Деталь виготовлена із технологічного матеріалу – Латунь 68, яка добре обробляється лезовими та абразивними інструментами [16];
- 2) Раціональність та простота конструкції;
- 3) Не висока матеріаломісткість та трудомісткість виготовлення деталі;
- 4) Висока жорсткість деталі;

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

5) Можливість використання типових методів обробки (токарна, свердлильна, фрезерна, шліфувальна) [17];

6) Можливість застосування типового технологічного устаткування;

7) Можливість застосування стандартних стандартних інструментів.

Загалом конструкція деталі є технологічною.

Вибір методу виготовлення та форми заготовки здійснюємо згідно [16]. Метод отримання заготовки визначається призначенням та конструкцією деталі, матеріалом, технічними вимогами, масштабом та серійністю випуску, а також економічністю виготовлення [16, 21].

Вихідні дані необхідні для вибору виду заготовки та способу її отримання:

– Матеріал заготовки – Латунь Л68 (ДСТУ 15527:2005)

– густина матеріалу – $8,500 \cdot 10^3$ кг/м³

– маса деталі, кг – 0,398кг;

– річна програма випуску – 600 шт.

Розглянемо два способи отримання заготовки – зі стандартного прокату та литтям.

1) Собівартість отримання заготовки з прокату.

Прокат може застосовуватися як заготовка для безпосереднього виготовлення деталей або як вихідна заготовка при пластичному формоутворенні.

Спеціальний прокат застосовується в умовах масового або великосерійного виробництва, що значною мірою знижує припуски та обсяги механічної обробки. Ескіз заготовки представлений рисунку 2.11.

Вартість заготовок із прокату визначаємо за формулою:

$$S_{\text{заг.}} = M + \sum C_{\text{о.з.}}, \text{ грн.} \quad (1)$$

де, M – витрати на матеріал заготовки, грн.;

$\sum C_{\text{о.з.}}$ – технологічна собівартість операцій правки, калібрування

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прутків, порізки їх на штучні заготовки розраховуємо за формулою:

$$C_{o.z.} = (C_{п.з.} \cdot T_{шт(ш-к)}) / 60, \text{ грн.}, \quad (2)$$

де, $C_{п.з.}$ – наведені витрати на робочому місці, грн./год;

$T_{шт(ш-к)}$ – штучний або штучно-калькуляційний час виконання заготівельної операції (правки, калібрування, розвантаження та ін.).

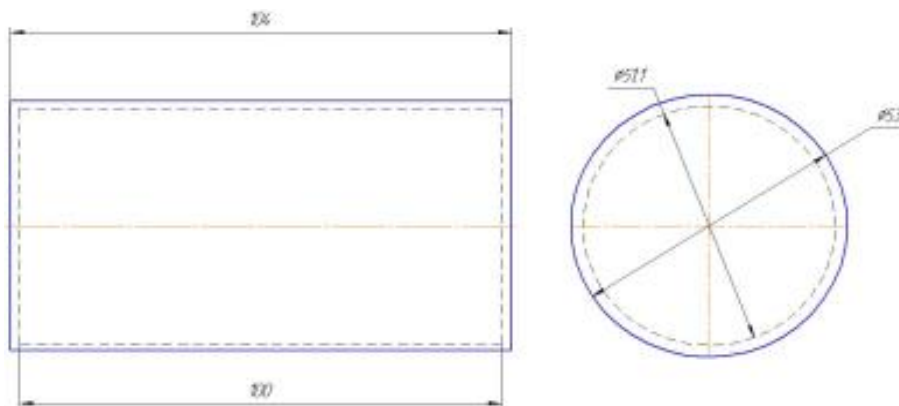


Рисунок 2.11 – Ескіз заготовки із прокату

За даними наведені витрати, що припадають на 1 год роботи обладнання, мають наступні значення: різання заготовок на відрізнаму верстаті моделі PPS-270ТНР, що працюють стрічково-пиловим полотном 2360x19x0,9, грн./год. 280,2, правка на автоматах, грн./год 1000.

Витрати на матеріал визначаються за масою прокату, потрібного на виготовлення деталі, і масою стружки, що здається. При цьому необхідно враховувати стандартну довжину прутків та відходи, внаслідок некратності довжині знаходимо за формулою:

$$M = (Q \cdot S - (Q - q)) \cdot (S_{відх.} / 1000), \text{ грн.}, \quad (3)$$

де Q – маса заготовки, кг;

S – ціна 1 кг матеріалу заготовки, грн.;

q – маса готової деталі, кг;

$S_{відх.}$ – ціна 1 т відходів, грн.

Дану формулу (3) перетворюємо на такий вигляд:

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M = (Q_{\text{мет}} \cdot S - Q_{\text{відх}}) \cdot (S_{\text{відх}}/1000), \text{ грн.}, \quad (4)$$

де $Q_{\text{мет}}$ – маса металу на виготовлення партії деталей, кг;

$Q_{\text{дет}}$ – маса партії деталей, кг.

Як заготовку використовуємо сортовий фасонний прокат: круг гарячекатаний за квалітетом h14. Діаметр прокату призначаємо 55 мм. Стандартний прокат поставляється завдовжки $l = 6$ м.

Визначимо вартість матеріалу, необхідного для виготовлення партії заготовок. Заготовка нарізається поштучно із стандартного прокату довжиною $l = 108$ мм (передбачено припуск на чистове підрізування та шліфування торців по 2,0 мм на бік).

Товщина пропилю $L_p = 0,9$ мм. Визначимо число заготовок з одного прутка довжиною $l = 6$ м: $n = 6000/(108+0,9) = 55,096$, приймаємо $n = 56$ шт. Для виготовлення партії необхідна така кількість прутків, яку визначаємо за формулою:

$$Z = N/n, \text{ шт.}, \quad (5)$$

$$Z = 600/56 = 10,7 \text{ шт.}$$

Для виготовлення партії деталей необхідно $Z = 11$ прутків. Загальна маса металу, необхідна виготовлення партії деталей, встановлюється за такою формулою:

$$Q_{\text{мет}} = (\pi \cdot D^2 \cdot l_{\Sigma} \cdot \rho)/4, \text{ кг} \quad (6)$$

де, D – діаметр прокату, м;

$l_{\Sigma} = l \cdot \Sigma$ – загальна довжина прокату, м;

ρ – густина металу.

Підставивши дані отримуємо:

$$Q_{\text{мет}} = \frac{(3,14 \cdot 0,055^2 \cdot (6 \cdot 11) \cdot 8500)}{4} = 1332,16 \text{ кг,}$$

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо загальну масу партії деталей. Масу деталей партії розраховуємо за формулою:

$$Q_{\text{дет}} = Q \cdot N = 1,380 \cdot 600 = 82,8 \text{ кг} \quad (7)$$

Маса відходів (кінцеві, стружка) встановлюється за формулою:

$$Q_{\text{відх}} = Q_{\text{мет}} - Q_{\text{дет}} = 1332,16 - 82,8 = 1249,36 \approx 1250 \text{ кг}, \quad (8)$$

Вартість тони матеріалу (Латунь Л68). $S = 421000$ грн. Вартість тони стружки $S_{\text{відх}} = 165000$ грн. Тоді Вартість металу визначається за формулою:

$$M = Q_{\text{мет}} \cdot S - Q_{\text{відх}} \cdot S_{\text{відх}} / 1000 \text{ грн.}, \quad (9)$$

$$M = 1332,16 \cdot \frac{421000}{1000} - 1250 \cdot \frac{165000}{1000} = 354589,36 \text{ грн.}$$

Вартість матеріалу на одну деталь:

$$M_1 = \frac{354589,36}{600} = 590,98 \text{ грн.}$$

Вартість отримання заготовки (технологічна собівартість) включає вартість відрізки на стрічково-пилному верстаті, яку визначаємо за формулою:

$$T_{\text{шт}} = 0,15 \cdot D^2 \cdot 10^{-3} \text{ хв.} \quad (10)$$

$$T_{\text{шт}} = 0,15 \cdot 55^2 \cdot 10^{-3} = 0,453 \text{ хв.},$$

$$C_{\text{о.з.}} = \frac{(280,2 \cdot 0,453)}{60} = 2,11 \text{ грн.}$$

Підставивши числові дані отримаємо вартість заготовки з прокату:

$$S_{\text{заг.}} = 590,98 + 2,11 = 593,09 \text{ грн.}$$

2) Вартість заготовки методом лиття.

Ескіз заготовки представлений рисунку 2.12

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

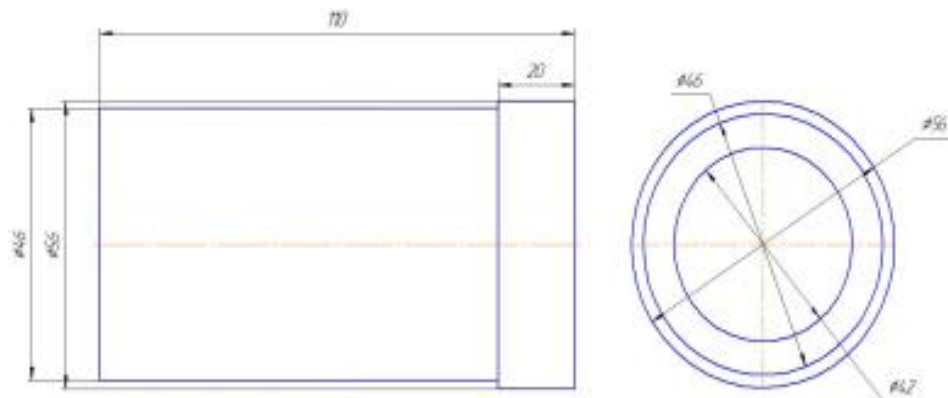


Рисунок 2.12 – Ескіз заготовки, отриманої методом лиття

Вартість заготовок, одержаних методом лиття, можна з достатньою точністю визначити за формулою:

$$S_{\text{заг}}^2 = ((C_i \cdot Q_3 \cdot k_t \cdot k_c \cdot k_b \cdot k_m \cdot k_n) / 1000) - (Q_3 - Q) S_{\text{відх}} / 1000, \text{ грн.} \quad (11)$$

де, C_i – базова вартість тони заготовок, грн./т;

k_t, k_c, k_b, k_m, k_n – коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу та об'єму виробництва заготовок.

За основу приймаємо вартість 1 тони лиття $C = 590\,000$ грн. Коефіцієнти: $k_t = 1$ залежить від точності; $k_c = 0,75$; $k_b = 2$; $k_m = 1,4$ коефіцієнт матеріалу; $k_n = 1$. Маса заготовки $Q_{\text{заг}} = 0,765$ кг. Вартість заготовки одержуваної литтям визначимо виходячи з собівартості:

$$S_{\text{лит}} = (590000 \cdot 0,765 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 / 1000) - (0,765 - 0,398) \cdot 165000 / 1000 \text{ грн}$$

$$S_{\text{лит}} = 413,4 \text{ грн.}$$

Порівнявши ці два методи, ми отримали що вартість однієї заготовки одержуваної литтям, дешевша, ніж заготівля з прокату, приблизно в 1,43 разів.

Складаємо план обробки деталей.

При дослідженні та розробці технологічного процесу слід керуватися такими принципами відповідно [4, 6, 7]:

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– При обробці у заготовок усіх поверхонь як технологічні бази для першої операції доцільно використовувати поверхні з найменшими припусками;

– Насамперед слід обробляти ті поверхні, які є базовими у подальшій обробці;

– Далі виконують обробку тих поверхонь, при знятті стружки з яких меншою мірою зменшується жорсткість деталі;

– На початку технологічного процесу слід здійснювати ті операції, в яких є велика ймовірність отримання браку через дефект.

– Технологічний процес записується поопераційно, з перерахуванням усіх переходів. Види оброблення деталі: токарна, свердлильна, фрезерна, шліфувальна, слюсарна.

Маршрут виготовлення деталі «Клин» включає такі операції: 1 – токарна; 2 – свердлильна з ЧПУ; 3 – вертикально-фрезерна; 4 – шліфувальна; 5 – слюсарна; 6 – контрольна.

Маршрут обробки деталі та підібране відповідне металообробне обладнання представлено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технологічний маршрут обробки деталі «Клин»

Операція	Зміст технологічних переходів	Металообробне обладнання
005 Токарна	1. Підрізати торець 2. Точити діаметр 51,1 мм. 3. Свердлити діаметр 12 мм.	Універсальний токарно-гвинторізний верстат 1К62
	Переустановити заготовку	
	1. Точити діаметр 49,1 мм. 2. Розточити отвір діаметром 41,1	Універсальний токарно-гвинторізний верстат 1К62
010 Свердлильна з ЧПУ	1. Свердлити отвори 4 шт. діаметром 5 мм. 2. Зенкерувати 4 отвори діаметром 10 мм 2×45° 3. Нарізати різьбу М6 в 4 отворах.	Координатно-свердильний з ЧПУ 2Р135РФ2
	Переустановити заготовку	

015 Вертикально-фрезерна	1. Фрезерувати обідок 2. Фрезерувати клин	Вертикально-фрезерний 6P80Г
020 Шліфувальна	1. Шліфувати внутрішній діаметр 51,1. 2. Шліфувати діаметр 41,1 3. Шліфувати клин.	Круглошліфувальний 3M151 Плоскошліфувальний 3Г71М
025 Слюсарна	Гострі крайки притупити, маркувати.	Слюсарний стіл
030 Контрольна	1. Перевірка габаритних розмірів. 2. Перевірка габаритних розмірів.	Контрольний стіл

Вибір та розрахунок припусків на обробку.

Визначаємо припуск на обробку циліндричної зовнішньої поверхні $\varnothing 51,1h9$. Шорсткість даної поверхні має бути не більше ніж $Ra = 6,3$. Деталь – тіло обертання, яке закріплене в самоцентруючому по зовнішньому діаметру з притиском до торцевої поверхні.

Технологічний маршрут виготовлення даної деталі записуємо у таблиці 2.5. У таблицю також записуємо відповідні заготовки та кожному технологічному переходу значення елементів припуску. Сумарне просторове відхилення визначається геометричним додаванням.

Сумарне просторове відхилення визначаємо за формулою:

$$\rho_k = \Delta_k \cdot l \text{ мкм}, \quad (12)$$

де, $l=100$ мм – довжина вільоту деталі із патрона;

$\Delta_k=0,7$ мкм – питома кривизна заготовок з вилівки діаметрами від 25 до 50 мм після виправлення.

Підставивши числові дані у формулу (12) отримуємо:

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta_k l = 0,7 \cdot 15 = 10,5 \text{ мкм.}$$

Визначаємо залишкове просторове відхилення:

– Після попереднього точіння:

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 10,5 = 0,63 \text{ мкм.}$$

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

– Після остаточного точіння:

$$\rho_2 = 0,04 \cdot 10,5 = 0,42 \text{ мкм.}$$

Проводимо розрахунок мінімальних значень припусків користуючись основною формулою:

$$2Z_{\min i} = 2 \cdot (R_{zi-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}), \text{ мкм} \quad (13)$$

Визначаємо мінімальний припуск:

– Під попереднє розточування:

$$2Z_{\min 1} = 2 \cdot (50 + 50 + 0,63) = 100,63 \text{ мкм.}$$

– Під чистове розточування:

$$2Z_{\min 2} = 2 \cdot (30 + 30 + 0,63) = 2 \cdot 60,63 \text{ мкм,}$$

$$2Z_{\min 3} = 2 \cdot (5 + 15 + 0,63) = 2 \cdot 20,63 \text{ мкм.}$$

Розрахунковий розмір (d_p) заповнюється, починаючи з кінцевого (в даному випадку згідно креслення) розміру, послідовним додаванням мінімального розрахункового припуску, кожного технологічного переходу.

$$d_{p2} = 51,092 + 2 \cdot 0,020 = 51,137 \text{ мм,}$$

$$d_{p1} = 51,137 + 2 \cdot 0,060 = 51,257 \text{ мм.}$$

$$d_{p3ar} = 51,257 + 2 \cdot 0,100 = 51,457 \text{ мм.}$$

Записавши у відповідній графі розрахункової таблиці значення допусків на кожен технологічний перехід і заготовку, у графі «Найбільший граничний розмір» визначимо їх значення кожного технологічного переходу, округляючи розрахункові розміри збільшенням їх значень. Округлення проводимо до того ж знаку десяткового дробу, з яким надано допуск на розмір для кожного переходу. Найбільші граничні розміри обчислюємо додаванням допуску до округленого найменшого граничного розміру:

$$d_{\max 2} = 51,092 + 0,008 = 51,1 \text{ мм,}$$

$$d_{\max 1} = 51,137 + 0,019 = 51,156 \text{ мм,}$$

$$d_{\max 3ar} = 51,257 + 0,046 = 51,303 \text{ мм.}$$

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Граничні значення припусків $Z_{\max}^{\text{пр}}$ визначаємо, як різницю найбільших граничних розмірів, а $Z_{\min}^{\text{пр}}$ – як різниця найменших граничних розмірів попереднього та виконуваного переходів [4].

$$2Z_{\max 3}^{\text{пр}} = 51,1 - 51,156 = 0,056 \text{ мм (56 мкм)},$$

$$2Z_{\max 2}^{\text{пр}} = 51,156 - 51,303 = 0,147 \text{ мм (147 мкм)},$$

$$2Z_{\max 1}^{\text{пр}} = 51,303 - 51,577 = 0,274 \text{ мм (274 мкм)},$$

$$2Z_{\min 3}^{\text{пр}} = 51,092 - 51,137 = 0,045 \text{ мм (45 мкм)},$$

$$2Z_{\min 2}^{\text{пр}} = 51,137 - 51,257 = 0,12 \text{ мм (120 мкм)}.$$

Загальні припуски $Z_{0 \min}$ та $Z_{0 \max}$ розраховуємо так само, як і в попередньому прикладі, підсумовуючи проміжні припуски та записуючи їх значення внизу відповідних граф.

Далі проводимо розрахунок режимів різання. Режим різання встановлюємо, виходячи з особливостей оброблюваної деталі, характеристики різального інструменту та верстата. Проводимо розрахунок з прикладу технологічного переходу – чорнове точіння.

1) Довжину робочого ходу визначаємо за формулою [21]:

$$L_{\text{р.х.}} = L_{\text{різ.}} + u + L_{\text{доп.}}, \text{ мм} \quad (14)$$

де, $L_{\text{різ.}}$ – довжина різання, мм;

u – подвод, врезание, перебег инструмента, мм;

$L_{\text{доп.}}$ – додаткова довжина ходу, викликана в окремих випадках особливостями налагодження та конфігурації деталі, мм.

$$L_{\text{р.х.}} = 27,5 + 5 = 32,5 \text{ мм.}$$

2) Глибина різання встановлюється за формулою [21]:

$$t = \frac{(D-d)}{2}, \text{ мм} \quad (15)$$

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де, D – найбільший діаметр заготовки, мм;

d – найменший діаметр заготовки, мм.

$$t = \frac{(55 - 52)}{2} = 1,5 \text{ мм}$$

Так як для чорнової обробки глибину різання приймають $t = 3-5$ мм, то чорнову на цій ділянці виконаємо 1 раз.

3) Визначаємо подачу:

Для чорнової обробки приймають $S=0,3\dots1,5$ мм/об, для чистової – $0,1\dots0,4$ мм/об.

$$S_0 = 1,5 \text{ мм/об.},$$

Орієнтовні значення швидкості різання для зовнішнього точіння для матеріалу ЛЗ8, за допомогою різня з твердого сплаву Т15К6. Відповідно будуть становити:

Чорнова обробка – 100-140 м/с; чистова обробка – 150-200 м/с.

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв}, \quad (16)$$

де V – швидкість різання, м/хв; D – найбільший діаметр заготовки, мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 100}{3,14 \cdot 58} = 549 \text{ об/хв}$$

Приймаємо $n = 500$ об/хв

4) Розрахунок дійсної швидкості різання визначаємо за формулою [20]:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ м/хв} \quad (17)$$

де D – найбільший діаметр заготовки, мм; n – частота обертання, об/хв.

$$V = \frac{3,14 \cdot 58 \cdot 500}{1000} = 91,06 \text{ м/хв}$$

5) Хвилину подачу розраховуємо з формулою згідно [4]:

$$S_{\min} = S \cdot n = 1,5 \cdot 500 = 750 \text{ мм/хв}$$

Режими різання зводимо та представляємо у таблиці 2.5.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 – Режими різання

Технологічні переходи	Складові режимів різання					
	L, мм	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	S, мм/хв
Підрізати торець	58	3	1,5	91,06	500	800
Чорнове точіння	26	1,5	1	104	1300	1300
Чистове точіння	26	0,5	0,2	104	1300	260
Свердлити отвір	17	12	0,08	101,5	1900	152
Точити	106	2	1,5	133,13	400	600
Розточити отвір	84	1,5	0,5	105,5	400	200
Свердлити 4 отвори	25	5	0,08	102,05	1300	100
Зенкерувати 4 отвори	18	5	0,4	96,08	1700	100
Нарізати різьбу	4	1	0,06	99,2	7900	3000
Фрезерувати обідок	84	3	1,5	105,5	400	600
Фрезерувати клин	45	2	1,5	98,91	700	1000

Технічне нормування часу операцій. У виробництві визначаємо норму штучно-калькуляційного часу для всіх операцій, крім шліфувальних за формулою згідно [4]:

$$T_{ш-к} = \frac{T_{п-з}}{n + T_0 + (T_{у.с.} + T_{з.о.} + T_{уп} + T_{вим}) \cdot k + T_{об.відп}} \text{ шт.} \quad (19)$$

Для шліфувальних операцій встановлюємо за формулою:

$$T_{ш-к} = \frac{T_{п-з}}{n + T_0 + (T_{у.с.} + T_{з.о.} + T_{уп} + T_{вим}) \cdot k + T_{тех} + T_{орг} + T_{відп.}} \text{ шт.} \quad (20)$$

де $T_{п-з}$ – підготовчо-заключний час – 30 хв;

n – кількість деталей в партії – 600 шт;

T_0 – основний час, хв;

$T_{у.с.}$ – час на установку та зняття деталі, хв;

$T_{з.о.}$ – час на закріплення і розкріплення деталі, хв;

$T_{уп}$ – час на управління, хв;

$T_{вим}$ – час на вимірювання деталі, хв;

$k=1$ – коефіцієнт дрібносерійного виробництва;

$T_{тех}$ – час на технічне обслуговування робочого місця;

$T_{орг}$ – час на організаційне обслуговування, хв;

						021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			37

$T_{\text{відп}}$ – час перерв на відпочинок та особисті потреби, хв;

$T_{\text{об.отд}}$ – час на обслуговування робочого місця, відпочинок та природні.

Результати розрахунків $T_{\text{ш-к}}$ заносимо до таблиці 2.6

Таблиця 2.6 – Зведена таблиця технічних норм часу за операціями, хв.

Назва операції	T_0	$T_{\text{у.с.}} + T_{\text{з.о.}}$	$T_{\text{уп}}$	$T_{\text{взм}}$	$T_{\text{тех}}$	$T_{\text{от.}}$	$T_{\text{шт.}}$	$T_{\text{п-з}}$	$T_{\text{ш-к}}$
Токарна	1,388	0,5	0,42	0,12	-	2,6	1,985	30	3,14
Вертикально-фрезерна	1,55	0,7	0,59	0,14	-	2,8	2,324	27	4,6
Свердлильна	1,328	0,5	0,45	0,09	-	1,7	1,235	15	2,75
Шліфувальна	0,5	0,2	0,08	0,07	0,5	0,8	0,043	11	1,6
Сумарний час									12,09

Проводимо вибір ріжучого інструменту згідно [4, 24] та зводимо у таблицю 2.7:

Таблиця 2.7 – Зведена таблиця ріжучого інструменту

Ріжучий інструмент	Тип інструменту
Прохідний різець	Різець 2102-0005, Т5К10, ДСТУ 18877:2008
Фрезерування	Фреза 1832 ГОСТ 3752-71
Шліфування	Шліфувальний круг 1П 25А 40 СМ15 К7
Свердло centruвальне	2317-0113, ДСТУ ISO 2541:2018
Свердло Ø 12мм	2301-0023 ДСТУ ISO 2541:2018
Свердло Ø 6,5мм	2301-0046 ДСТУ ISO 2541:2018
Мітчик М6	ДСТУ ISO 11148-1:2014
Зенкер Ø 11,75 мм	ДСТУ ISO 11148-3:2014

Як вимірювальний інструмент обираємо згідно [20]:

Штангенциркуль ШЦЦ-1-125-0,01; Калібр-пробка М12; Калібр-пробка М6; Мікрометр МК 50-1, Нутромір 10-18.

Для розробки керуючої програми складемо розрахунково-технологічну карту. Вона міститиме всю інформацію для створення послідовності обробки отворів, призначення інструментів. Цю інформацію перенесемо в додаток Б.

2.3. Розробка технології складання вузла для розподілу кульок підшипника

Для розробки технологічного процесу збирання вузла розподілу кульок підшипника необхідно розробити технологічну схему збирання цього вузла. Вона буде першим етапом розробки технологічного процесу, оскільки визначає маршрут складальної одиниці. Технологічна схема складання буде складатися на основі креслень складального вузла. На послідовність складання впливає:

- Функціональний взаємозв'язок елементів виробу;
- Конструкція базових елементів;
- Умови монтажу силових та кінематичних передач;
- Встановлення легко пошкоджуваних елементів в кінці складання;
- Розміри і маса з'єднувальних елементів;
- Ступінь взаємозамінності елементів виробу.

На початку буде складатися схема загального складання вузла, далі схеми вузлового складання. Варіант схеми складання вибирають з урахуванням зручності складання та контролю якості складання вузла, числа складальників, зменшення необхідного оснащення, зменшення трудомісткості та собівартості складання механізації та автоматизації.

Назва всіх елементів відбувається відповідно до специфікації складального вузла. Головний елемент, з якого починається складання, називається базовим. Розробка технологічного складання вузла починається з визначення базового елемента. Процес складання показує пряму горизонтальну лінію, яка називається лінією складання. Технологічна схема збирання починається з прямокутника із зображенням базового елемента і закінчується прямокутником, що зображує складальну одиницю. З верхньої сторони лінії складання в напрямку від базового елемента до виробу, що збирається, розташовують у порядку послідовності складання прямокутники, що зображують безпосередньо входять в нього деталі.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

З нижнього боку – всі складальні одиниці. Для кожної складальної одиниці, розташованої з нижньої сторони лінії складання, можуть бути побудовані свої аналогічні схеми збирання. Технологічна схема складання позначається написами, які визначають характер з'єднання, контролю під час виконання складальних робіт, де вони не визначені типом елементів, що з'єднуються. Рознесений вигляд вузла згонки кульок складального пристосування представлений на рисунку 2.13.

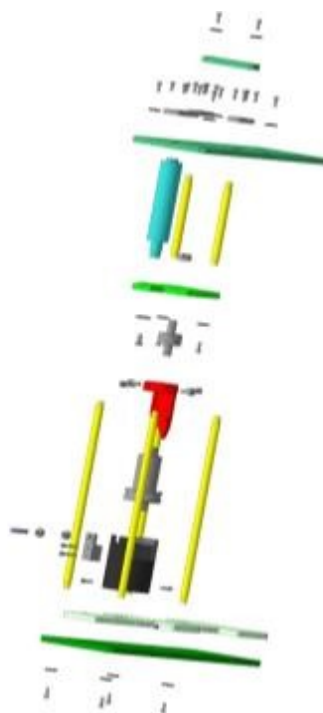


Рисунок 2.13 – Вузол згонки кульок складального пристосування

2.4. Розрахунок ПДВ (напружено-деформованого стану) деталі «Клин» за допомогою системи SolidWorks

Для розрахунку ми беремо деталь «Клин», яка є однією з основних деталей конструкції пристосування для збирання підшипників. Відкриваємо в SolidWorks файл з моделлю деталі Клин (див. рисунок 2.10 б).

Розбиваємо деталь на кінцеві елементи за допомогою функції Mesh – Create в програмі SolidWorks (рисунок 2.14).

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



Рисунок 2.14 – Розбиття деталі методом кінцевих елементів

Далі задаємо матеріал деталі – латунь. Фіксуємо деталь у точках опори. Задаємо навантаження, які діють на деталь (Рисунок 2.14).

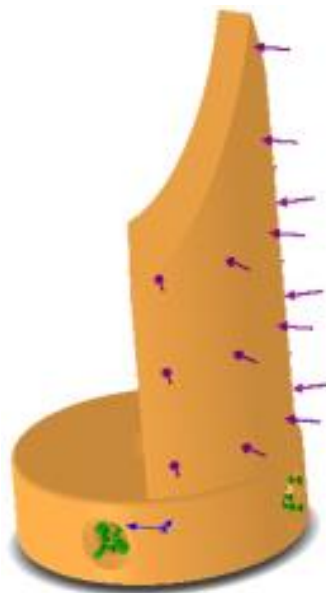


Рисунок 2.15 – Прикладення навантажень

Потім у рядку «Меню» вибираємо команду виконати, що позначає перший варіант розрахунку навантажень. запускаємо розрахунок за допомогою функції розрахунок.

Проаналізуємо отримані результати.

1) Статичне навантаження.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Зміна кольорів поверхні деталі показує зміну напружень на різних її ділянках – Рисунок 2.16.

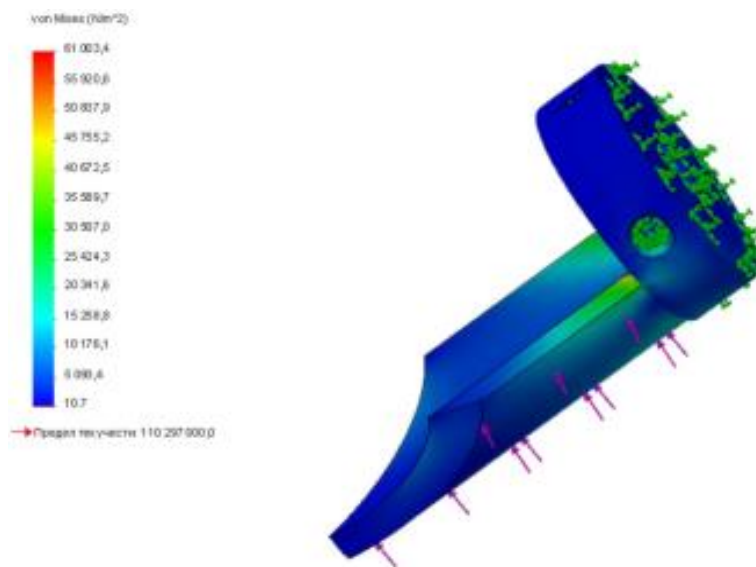


Рисунок 2.16 – Статична навантаження

2) Деформація деталі «Клин» представлена на рисунку 2.17.

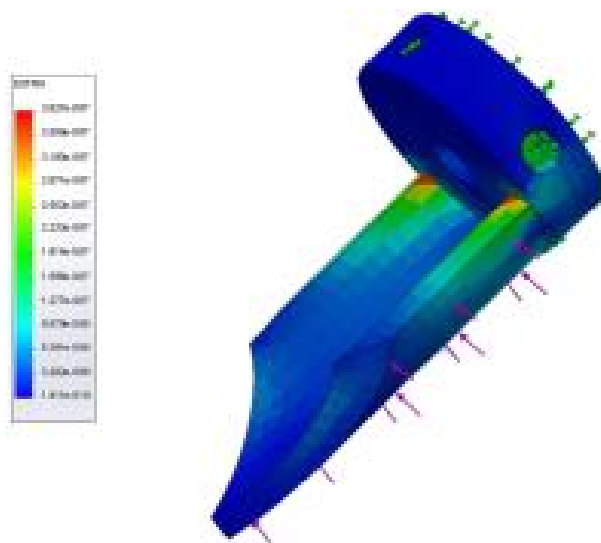


Рисунок 2.17 – Статична деформація деталі

3) Перевірка проектування. Змодельовано розподіл запасу міцності та представлено на рисунку 2.18.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

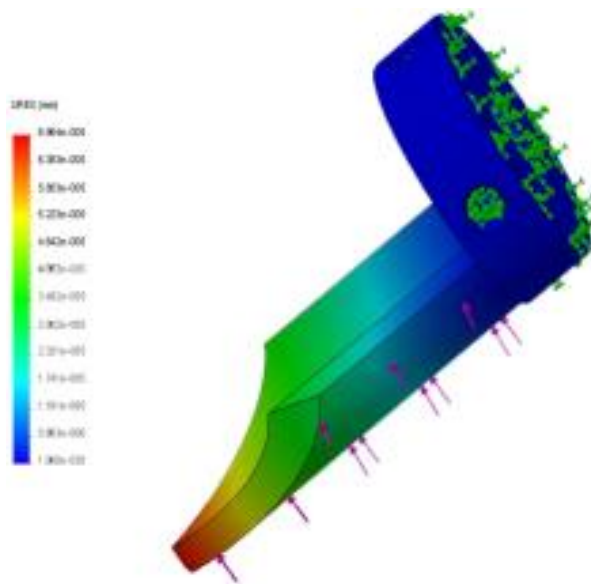


Рисунок 2.18 – Коефіцієнт запасу міцності

Результати розрахунку підтверджують, що деталь «Клин» спроектована правильно, задана оптимальна товщина стінок – максимальне навантаження не перевищує допустимого, а деформація невелика. Це означає, що деталь спроектована правильно і має великий термін експлуатації при навантаженнях, які не перевищують розрахункові.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Аналіз конструкцій мехатронних пристроїв приводів шліфувальних верстатів з ЧПУ

Шліфувальні верстати призначені переважно для фінішної обробки заготовок абразивними або алмазними кругами. Верстати забезпечують точні розміри, правильну геометричну форму та високу якість поверхні деталі. На цих верстатах можна обробляти плоскі, зовнішні та внутрішні циліндричні, конічні та фасонні поверхні, шліфувати різьблення та зубці зубчастих коліс, розрізати заготовки.

Шліфування також використовують для обдирних та напівчистових операцій. Основним рухом в усіх шліфувальних верстатів є обертання шліфувального кола ($V_{кр}$, м/с). Рух подачі у верстатів різних типів різні. На круглошліфувальних верстатах [2] можна працювати методом поздовжнього та врізного шліфування. При поздовжньому шліфуванні заготовці задається кругова подача V_3 та поздовжня подача S_1 – зворотно-поступальне переміщення столу. Шліфувальний круг виконує також рух – періодичну поперечну подачу S_2 щодо заготовки. Метод врізання застосовують для шліфування коротких заготовок. У цьому випадку заготовка має кругову подачу V_3 , а круг – радіальну подачу S_2 . Крім того, шліфувальна бабка або стіл можуть здійснювати коливальний осьовий рух S_1 [6].

Внутрішньошліфувальні верстати [7] звичайного типу мають рухи подачі: кругову V_3 (обертання заготовки), поздовжню S_1 (зворотно-поступальний рух заготовки або круга), поперечну S_2 (періодичне поперечне переміщення бабки шліфувального круга). У планетарних верстатах використовують кругову подачу V_3 (обертання осі шліфувального круга

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

щодо осі оброблюваного отвору), періодичну поперечну S_2 і поздовжню S_1 подачі.

У даній роботі розглядаються двосторонні торцешліфувальні шліфувальні автомати. Ці верстати працюють за принципом двостороннього шліфування торцями шліфувальних кругів. При двосторонньому шліфуванні різко підвищується продуктивність завдяки одночасному шліфуванню двох протилежних паралельних сторін заготовки. Це дозволяє обійтися без створення бази, на якій можна шліфувати першу сторону, як це має місце на звичайних плоскошліфувальних верстатах з магнітною плитою, що працюють торцем шліфувального кола. На цих верстатах застосовують різні схеми різання.

Схема різання з прямолінійним переривчастим переміщенням заготовки, що шліфується наведена на рисунку 3.1. Базування заготовок, що шліфуються здійснюється направляючими лінійками 2 і 3 і торцями шліфувальних кругів.

Штовхач 1, здійснюючи зворотно-поступальний рух, переміщає з кожним подвійним ходом стовп заготовок, що шліфуються на відстань, рівну діаметру однієї заготовки, і тим самим робить подачу заготовок. Поворотно-поступальний рух штовхача здійснюють різними механізмами.

Схема різання з прямолінійним безперервним переміщенням заготовки, що шліфується (рисунок 3.1 б). На безперервно рухомому елементі 5 встановлений штир (ніж) 6, який переміщає між торцями шліфувальних кругів заготовку, яка шліфується по напрямних лінійках 2 і 4. У входу в зону шліфування встановлена щічка 7 для направлення заготовки, а при виході з зони різання – щічка. Спеціальним приладом вимірюють заготовку, що шліфується, і при необхідності проводять роздільне підналагодження шліфувальних кругів. Рушійними елементами можуть бути ланцюгова передача із шхавхаючими штирями, пластинчастий ланцюг або ремінна передача.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

налагодженні та компенсацію зношування шліфувального круга здійснюють механізмом подачі. Переміщують піноль 18 за допомогою гвинта 7 при обертанні гайки 9, яка нарізана в маточині черв'ячного колеса, закріпленого з черв'яком 8. Черв'як отримує рух з двох сторін залежно від того, який двигун включений – M1 або M2. При включенні двигуна M1 відбувається налагоджувальне переміщення пінолі від електродвигуна через 10 черв'ячну передачу. При включенні двигуна M2 здійснюється підналагодження пінолі в автоматичному циклі роботи верстата або вручну від маховичка Б. Автоматичне підналагодження здійснюють від гідравлічного циліндра 5, що переміщає собачку 4, яка повертає храпове колесо, 3, кероване рукояткою 6. Для правки шліфувальних кругів застосовують алмаз, який встановлений на важелі 12, що обертається валом 11 від рухомого приводу.

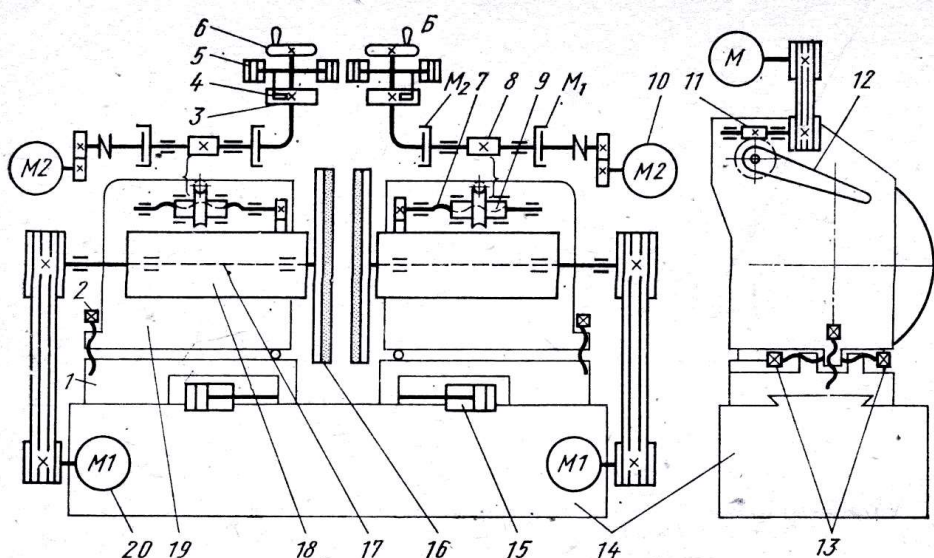


Рисунок 3.1 – Кінематична схема двостороннього торцешліфувального автомату з горизонтальним розміщення шпинделів

3.2. Проектування і розрахунок головного приводу верстата

Найважливішими вихідними даними для проектування приводу головного руху є діапазон регулювання частоти обертання R_n та потужність P , що передається приводом. Ці технічні характеристики залежать від

службового призначення верстата, їх визначають на основі аналізу технологічних процесів обробки множини деталей та відповідної номенклатури ріжучого інструменту, обумовлених технічним завданням на проектування. При цьому $Rn = n_{\max}/n_{\min}$. Для приводів з головним обертальним рухом n_{\max} і n_{\min} – максимальна і мінімальна частоти обертання шпинделя, визначені по граничним (максимальним і мінімальним) всім операціям, швидкостям різання V_{\max} і V_{\min} і граничним їм розмірам обробки D_{\max} і D_{\min} :

$$n_{\max} = 1000 \cdot V_{\max} \quad (3.1)$$

Вибір Rn і P доцільно проводити на основі виробничих статистичних даних щодо використання верстатів відповідного типу і розміру на різних швидкостях різання та при різних потужностях.

3.3. Розрахунок потужності і вибір приводу

Ефективна потужність при шліфуванні торцем кола:

$$N = C_N \cdot V_z \cdot r \cdot t^x \cdot b^z \quad (3.2)$$

де N – Ефективна потужність, кВт;

V_z – швидкість обертального чи поступального руху заготовки, м/хв;

t – глибина шліфування, мм;

b – ширина шліфування, що дорівнює поперечному розміру поверхні заготовки, мм;

$$C_N = 5,2$$

$$r = 0,3;$$

$$x = 0,25;$$

$$z = 0,3$$

Швидкість заготовки: $V_z = 2-3$ м/хв;

Швидкість круга: $V_k = 25 - 30$ м/с;

Глибина шліфування: попереднє

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t = 0,1 - 0,15 \text{ мм}$$

$$\text{кінцеве } t = 0,005 \text{ мм}$$

ширина шліфування:

$$b_1 = 360 \text{ мм (для заготовки } \varnothing 120 \text{ мм)}$$

$$b_2 = 368 \text{ мм (для заготовки } \varnothing 80 \text{ мм)}$$

Попереднє шліфування:

$$N_1 = 5,2 \cdot 2^{0,3} \cdot 0,1^{0,25} \cdot 360^{0,3} = 20,8 \text{ кВт} \quad (3.3)$$

$$N_2 = 5,2 \cdot 2^{0,3} \cdot 0,1^{0,25} \cdot 368^{0,3} = 21,1 \text{ кВт}$$

Фінішне шліфування:

$$N_1 = 5,2 \cdot 2^{0,3} \cdot 0,005^{0,25} \cdot 360^{0,3} = 10 \text{ кВт}$$

$$N_2 = 5,2 \cdot 2^{0,3} \cdot 0,005^{0,25} \cdot 368^{0,3} = 10,2 \text{ кВт}$$

3.4. Розрахунок шпиндельного вузла

Проектними параметрами шпиндельних вузлів є незалежні та залежні змінні параметри, які повністю та однозначно визначають конструкцію шпиндельного вузла [5]. До незалежних проектних параметрів належать:

I. Компонувальні параметри: тип опор, компонування опор, число опор, тип системи змащення;

II. Геометричні параметри: d – діаметр шпинделя на передній опорі, a – довжина переднього кінця шпинделя, l – відстань між опорами шпинделя, b – відстань від передньої опори до приводного елемента;

III. Внутрішні параметри опор: e – радіальний внутрішній зазор-натяг опор, A_0 – попередній натяг опор, H – зазор-натяг посадки опор, точність опор з'єднаних деталей, параметри опор ковзання; До залежних проектних параметрів належать:

- а) діаметр шпинделя на передньому кінці;
- б) діаметр шпинделя між опорами;
- с) діаметр шпинделя на задньому кінці;

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідними даними для проектування є наступні параметри:

Клас точності верстата – В;

Потужність $N_{max} = 23,1$ кВт

Частота обертання – $n_{max} = 1440$ об/хв.

Встановлюємо числові значення проектних (які потрібно забезпечити у вузлі верстата, який проектуємо) параметрів відповідно до методики [26].

Точність обертання та обробки. Характеризується радіальним та осьовим биттям переднього кінця шпинделя та допуском круглості оброблених деталей.

Клас точності верстата – В;

Радіальне биття центруючої шийки шпинделя – < 5 мкм;

Осьове биття шпинделя – < 3 мкм;

Радіальне биття шпинделя – $< 2,5$ мкм;

Допуск круглості виробу після чистової обробки – < 3 мкм;

Жорсткість є найважливішим критерієм, який визначає статичну міцність під навантаженням. Для верстатів токарних, фрезерних, розточувальних, шліфувальних, відношення потужності, що передається, до жорсткості знаходиться в межах [23]:

$$\frac{N}{C} = 0,025 \div 0,035 \frac{\text{кВт} * \text{мкм}}{H} \quad (3.4)$$

Температура нагрівання опор Тепловідлення в опорах призводить до нерівномірних температурних деформацій вузлів і можуть призвести до теплового заклинювання опор. Існують рекомендації щодо допустимої температури нагрівання опор [23]. Допустима надмірна температура нагріву зовнішнього кільця підшипника становить 20 °С для шліфувальних верстатів класу точності В.

Довговічність шпинде (ШВ) більшості верстатів не регламентована. Виняток становлять шліфувальні головки та алмазно-розточувальні головки, для яких у ряді випадків встановлюються гарантовані терміни служби. На

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

довговічність шпиндельних опор, поряд з іншими факторами, суттєво впливає якість виготовлення, ефективність ущільнення опор та дотримання вимог з експлуатації. В даний час довговічність шпиндельних вузлів на підшипниках кочення коливається від 100 до 20 000 годин і вище. Шпиндельні вузли на гідростатичних та гідродинамічних підшипниках теоретично рахуються з необмеженою довговічністю.

3.5. Розрахунок жорсткості опор кочення

Оскільки на жорсткість ШУ істотно впливає діаметр шпинделя в передній опорі та між опорами, то в першому наближенні для вибору d можна користуватися співвідношенням:

$$\frac{N}{d} = 0,25 \div 0,35 \Rightarrow d = \frac{23,1}{0,25} = 92,4 \text{ мм} \quad (3.5)$$

Приймемо діаметр шпинделя $d_{\text{шп}} = 130 \text{ мм}$. Для визначення компоувальної схеми необхідно скористатися співвідношенням [6]:

$$d_{\text{шп}} n = 130 \cdot 1440 = 187200 \text{ мм} \cdot \text{об/хв}$$

За заданими умовами вибираємо 4 компоувальна схему підшипників (рисунок 3.3).

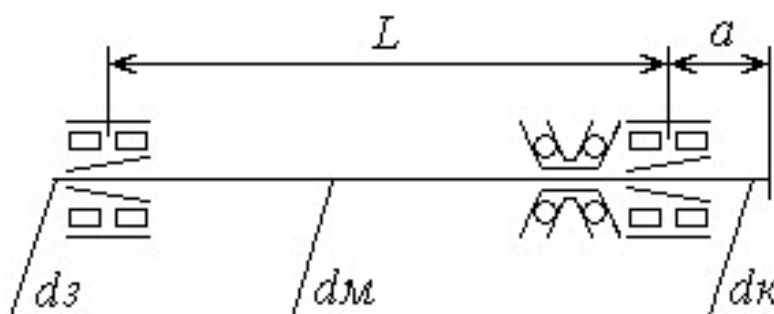


Рисунок 3.3 – компоувальна схему підшипників шпиндельного вузла
Вибираємо підшипники:

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

для передньої опори: – упорно-радіальні здвоєні з кутом контакту $\alpha = 600$ (позначення 178826)

$$d = 130 \text{ мм};$$

$$D = 200 \text{ мм};$$

$$H = 84 \text{ мм};$$

$C = 8800 \text{ Н}$ – динамічна вантажопідйомність

радіальні дворядні з отвором у зовнішньому кільці 4162900К

$$d = 130 \text{ мм};$$

$$D = 180 \text{ мм};$$

$$B = 50 \text{ мм};$$

$C = 16000 \text{ Н}$ – динамічна вантажопідйомність

для задньої опори:

радіальні дворядні з отвором у зовнішньому кільці 4162900К

$$d = 120 \text{ мм};$$

$$D = 165 \text{ мм};$$

$$B = 45 \text{ мм};$$

$C = 15000 \text{ Н}$ – динамічна вантажопідйомність.

Визначаємо залежні проектні параметри [5]. Спочатку обрану міжосьову відстань визначаємо за формулою:

$$l = (3 \div 5)d \tag{3.6}$$

$$l = 4 * 130 = 520 \text{ мм}$$

Визначаємо діаметр шпинделя на передньому кінці за ДСТУ:

$$d_k \cong (1 \div 1,2)d \tag{3.7}$$

$$d_k \cong 1 * d = 1 * 130 = 130 \text{ мм}$$

Діаметр шпинделя між опорами:

$$d_m = (1 \div 0,9)d \tag{3.8}$$

$$d_m = 1,4 * d = 1,4 * 130 \cong 182 \text{ мм}$$

Діаметр шпинделя на задньому кінці:

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_3 = (1 \div 0,8)d \quad (3.9)$$

$$d_3 = 0,9 * d = 0,9 * 130 \cong 120 \text{ мм}$$

Креслимо передній кінець шпинделя з місцем для ущільнення та визначається довжина переднього кінця «а». Розмір «а» береться від середини першого переднього підшипника до переднього кінця шпинделя:

$$a = 129 \text{ мм} - \text{згідно креслення.}$$

На сьогодні підшипники кочення випускаються класів точності згідно ДСТУ ISO 4378-1:2018 [13] У шпиндельних вузлах використовуються підшипники класів точності категорії «А». За точністю шпиндельні підшипники доцільно порівнювати за радіальним або осьовим биттям кожного кільця. Радіальне биття кожного з кілець підшипника при його обертанні можна як розрахувати так:

$$\bar{\Delta}_n = \bar{\Delta}_{n\varepsilon} + \bar{\Delta}_{n\sigma}, \quad (3.10)$$

де, $\bar{\Delta}_{n\varepsilon}$ – биття, причиною якого є ексцентриситет;

$\bar{\Delta}_{n\sigma}$ – так зване «блукаюче» биття, причиною якого є похибки тіл кочення та доріжок кочення.

Здійсимо розрахунок допустимого биття кожного підшипника згідно [27]

$$\frac{\Delta_{ш\varepsilon} + \Delta_{2\varepsilon}}{\Delta_{1\varepsilon} + \Delta_{2\varepsilon}} = \frac{a+l}{l}$$

$$\Delta_{ш\varepsilon} = \Delta_{1\varepsilon} \left(\frac{a+l}{l} \right) + \Delta_{2\varepsilon} \frac{a}{l} \quad (3.11)$$

де a – довжина переднього кінця шпинделя;

l – міжопорна відстань.

Радіальна жорсткість кожної опори розглядається залежно від:

$$C_r = \frac{F_r}{\delta_r' + \delta_r''}, \quad (3.12)$$

де, F_r – сила, що діє на опору (реакція опори), H ;

δ_r' – пружне зміщення (податливість) у підшипнику (тіл кочення та кілець), мм;

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

δ_r'' – пружне зміщення (податливість) на посадкових поверхнях, мм;

Податливість на посадкових поверхнях визначають за такою формулою:

$$\delta_r'' = \frac{4F_r K_2'}{\pi dB} \left(1 + \frac{d}{D}\right) \quad (3.13)$$

Так як сила різання (не повинна бути меншою за 600Н) в даному випадку виходить маленька, розрахуємо силу різання за вагою конструкції:

$$V_1 = \frac{\pi(D^2 - d_1^2)}{4} H = \frac{3,14(750^2 - 12^2)}{4} \cdot 60 = 26486967 \text{ мм}^3 \approx 26,5 \text{ дм}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi(D^2 - d_1^2)}{4} H = \frac{3,14(750^2 - 185^2)}{4} \cdot 15 = 6220438 \text{ мм}^3 \approx 6,2 \text{ дм}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi(D^2 - d_1^2)}{4} H = \frac{3,14(415^2 - 12^2)}{4} \cdot 50 = 6754179 \text{ мм}^3 \approx 6,8 \text{ дм}^3$$

$$P_1 = V_1 j = 26,5 \cdot 18 \approx 477 \text{ Н}$$

$$P_2 = V_2 j = 6,2 \cdot 78 \approx 484 \text{ Н}$$

$$P_3 = V_3 j = 6,8 \cdot 78 \approx 530 \text{ Н}$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 477 + 484 + 530 = 1491 \text{ Н}$$

Підставивши дані отримуємо:

$$F_{r1} = \frac{P(a+l)}{l} = \frac{1491(129+520)}{520} = 1860 \text{ Н}$$

$$F_{r2} = \frac{Pa}{l} = \frac{1491 \cdot 129}{520} = 369,9 \text{ Н},$$

де F_{r1} в F_{r2} – радіальна сила, що діє на передню та задню опори, Н;

Тоді для передньої опори:

$$\delta_r'' = \frac{4F_r K_2'}{\pi dB} \left(1 + \frac{d}{D}\right) = \frac{4 \cdot 1860 \cdot 0,0015}{3,14 \cdot 130 \cdot 50} \left(1 + \frac{130}{180}\right) = 0,00094 \text{ мм}$$

Тоді для задньої опори:

$$\delta_r'' = \frac{4F_r K_2'}{\pi dB} \left(1 + \frac{d}{D}\right) = \frac{4 \cdot 369,9 \cdot 0,0015}{3,14 \cdot 120 \cdot 45} \left(1 + \frac{120}{165}\right) = 0,00023 \text{ мм}$$

Згідно проведених розрахунків вибрані нами опори задовільняють проектні параметри ШВ, зокрема точності, жорсткості, радіального та осьового биття та допуску круглості виробу після чистової обробки.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

РОЗДІЛ 4

ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ДІЛЬНИЦІ

4.1 Розрахунок площ шліфувальної ділянки

Основною метою даного розділу є проектування ділянки шліфувального цеху. Шліфувальні цехи машинобудівних підприємств мають різний характер залежно від видів продукції, що виготовляються, їх конструкції, ваги, виду (типу) виробництва, особливостей технологічного процесу та металообробного обладнання. У даній роботі проектується шліфувальний цех виготовлення деталей – кулькових підшипників серії 305 (6305).

Розрахуємо площі ділянки механічного (шліфувального) цеху виходячи із паспортних даних верстатів, а саме їх габаритних розмірів та допоміжного обладнання. Даний цех займає площу 1512 м². Вільна площа 288 м², 144 м² вільних площ виділена під нову лінію шліфування кулькових підшипників серії 305.

Вибираємо ширину цехового проїзду, що дорівнює 2,2 м.

План цеху, представлений на рисунку 4.1 та виконано у масштабі 1:25.

На плані цифрами вказані:

- 1) Верстат 3МК147В – шліфування доріжки кочення кільця 305.01;
- 2) Верстат 3МZ329G – суперфініш доріжки кочення кільця 305.01;
- 3) Верстат 3МК136В – шліфування доріжки кочення кільця 305.02;
- 4) Верстат 3М205В – шліфування отвору кільця підшипника 305.02;
- 5) Верстат 3МК315G – суперфініш доріжки кочення кільця 305.02.

Також при плануванні шліфувальної ділянки слід враховувати, площу яку займають інструментальні ящики, та пристрої вентиляції та пиловловлювачі, які є обов'язковими для встановлення на ділянках чи цехах, де проводиться обробка матеріалів абразивних інструментом.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

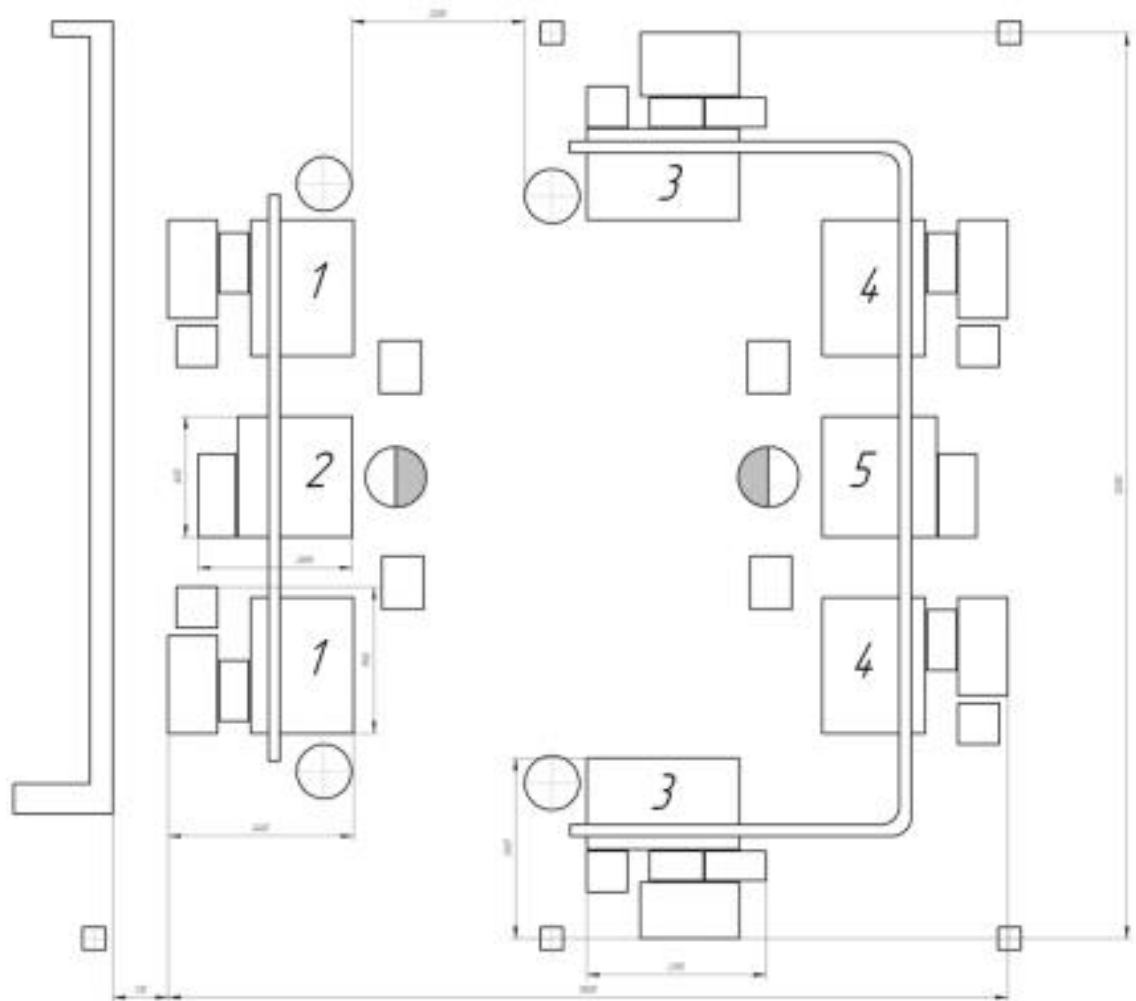


Рисунок 4.1 – Дільниця шліфувального цеху

4.2. Опис роботи лінії для шліфування кілець кулькових підшипників

Верстати з'єднані в дві паралельно працюючі лінії для обробки кілець 305.01 та 305.02, тобто зовнішнього і внутрішнього кільця кулькового підшипника 305.

1) Лінія шліфування кілець 305.01.

У лінії, що проектується, обробка кільця 305.01 починається з шліфування зовнішньої циліндричної поверхні на верстаті ЗМК147В. Верстат ЗМК147В призначений для шліфування доріжки кочення зовнішнього кільця підшипника. Підходить для автоматизованого масового виробництва тихохідних кулькових підшипників. Існує можливість роботи окремо та складі автоматизованій лінії виробництва. Відмінними рисами від інших

										Арк.
										56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ					

верстатів цього класу є:

- На верстаті застосовуються однополюсні електромагнітні безцентрові затискні механізми;
- Як рамки для шліфування та рамки заготовки використовуються надточні хрестові роликові рейки, з малим опором тертя, високою точністю, довгим терміном служби та підвищеною жорсткістю;
- На даному верстаті застосовуються тримач-дуга з гідравлічним приводом, що забезпечує надійну роботу та високу точність;
- На такому верстаті застосовуються шпинделі з високою точністю, потужністю та жорсткістю. Високошвидкісне шліфування може досягти 60 м/с. Шпиндель забезпечує велику швидкість подачі, високу ефективність та хорошу шорсткість поверхні;
- На цьому верстаті застосовуються серводвигуни та кулькові гвинти, які забезпечують точність та стабільність подачі;
- На даному верстаті встановлені пристрої корекції відліку, автоматичної правки точного шліфування та правки після грубого шліфування. Після правки нового шліфувального круга може ввести цикл шліфування.

Основні технічні характеристики верстату представлені у [6].

Фінішну обробку кільця 305.01 проводять на верстаті суперфінішування 3MZ329G. Він призначений для операції суперфінішу доріжки кочення зовнішнього кільця підшипника. Даний верстат використовується для обробки кілець із внутрішнім діаметром 26-90мм.

Основні переваги верстата:

- висока точність роботи, хороша стабільність;
 - Простота зміни параметрів роботи верстата;
 - Електрична та пневматична системи керуються через РК-дисплей.
- Автоматичний цикл обробки оснащений функцією автоматичної діагностики,

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

за допомогою якої можна легко виявити дефект.

2) Лінія шліфування кілець 305.02.

У проектованій лінії обробка кільця 305.02 починається з шліфування зовнішньої циліндричної поверхні на верстаті 3МК136В. Він призначений для шліфування жолоба (западини) внутрішнього кільця підшипника.

Після обробки жолоба внутрішнього кільця підшипника, який буде базою для наступних операцій, підшипник транспортується на верстат 3М205В для шліфування отвору кільця підшипника. Основні технічні характеристики верстату представлені у [6].

Остання операція обробки кільця 305.02 – суперфініш на верстаті 3МЗ315G. Верстат даного типу використовується для обробки кілець із внутрішнім діаметром 10 - 15мм. Основні характеристики верстата також наведені у [6].

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Правила експлуатації шліфувальних верстатів. Заходи безпеки при роботі на верстатах даного групи

Шліфувальні верстати – одна з найбільш поширених та розповсюджених груп металообробних верстатів на машинобудівних підприємствах [5]. Це пояснюється високою продуктивністю процесу шліфування (особливо швидкісного, та високошвидкісного), а також його точністю [6]. Ці верстати використовуються для фінішної обробки більшості видів продукції в машинобудуванні, причому не лише з металу, а й із каменю, пластмас, композитних та інших матеріалів. Різноманітність конструктивних рішень шліфувальних верстатів, типів використовуваного інструменту та пристосіблень дуже ускладнює вирішення проблеми забезпечення безпеки праці під час їх експлуатації.

Основні вимоги щодо експлуатації шліфувальних верстатів включають наступні моменти [6, 10]. По-перше, перед початком роботи необхідно перевірити справність всіх вузлів і деталей верстата. По-друге, під час експлуатації верстата необхідно дотримуватись вимог щодо забезпечення особистої безпеки [14]. Також необхідно дотримуватися режиму роботи верстата, вказаного в технічній документації. Це включає правильний вибір швидкості шліфування, навантаження на шпиндель, а також частоти заміни абразивних кругів. Крім того, необхідно стежити за чистотою і порядком на робочому місці. Загалом дотримання правил експлуатації шліфувальних верстатів є необхідною умовою для забезпечення безпеки та високої якості обробки поверхонь.

Робітники зобов'язані дотримуватися встановлених вимог поведінки з виробничим обладнанням, дотримуватися інструкцій з охорони праці на

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

робочих місцях, користуватися засобами індивідуального захисту, що видаються ним [14]. Загальна система заходів, які забезпечують безпечні та нешкідливі умови праці під час роботи на шліфувальних верстатах, визначається вимогами державних стандартів, галузевими стандартами, внутрішніми правилами підприємств із дотримання охорони праці та виробничої безпеки. Зокрема, «ДСТУ 2293:2014. Охорона праці. Терміни та визначення основних понять» [10], «ДСТУ ISO 45001:2019 (ISO 45001:2018, IDT) Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування» [14] та іншими.

Заходи безпеки при роботі на верстатах даного групи. Перед початком роботи круг, який встановлений на шліфувальному верстаті, повинен бути перевірений на ходу при робочому числі оборотів не менше 2-х хвилин. Роботу можна розпочати лише переконавшись у тому, що шліф. круг не має биття [24].

Шліфувальні верстати з горизонтальною віссю обертання круга обов'язково повинні бути оснащені захисним екраном для очей з безосколкового матеріалу товщиною не менше 3 мм. Конструкція екрана повинна передбачати переустановлення його відповідно до розмірів оброблюваної деталі та ступеня зношення шліфувального круга. Екран по відношенню до круга повинен розташовуватися симетрично, а ширина екрану повинна бути більше висоти круга не менше ніж на 150 мм [25]. При неможливості використання захисного екрану повинні застосовуватися захисні окуляри зі зміцненим склом. При закріпленні круга застосовувати насадки на гайкові ключі та ударний інструмент забороняється.

5.2. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори на робочому місці шліфувальника

Ідентифікація небезпечних та шкідливих виробничих факторів включає низку стадій [10, 14]:

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- виявлення небезпечних та шкідливих факторів, визначення їх повної номенклатури;
- оцінка впливу негативних факторів на людину, визначення допустимих рівнів впливу та величин прийняттого ризику;
- визначення (інструментальне або розрахункове) просторово-часових та кількісних характеристик негативних факторів;
- встановлення причин виникнення небезпеки;
- оцінка наслідків прояву небезпеки.

Головною та найбільш складною складовою процесу ідентифікації виробничих небезпек є встановлення можливих причин прояву небезпеки. Цілком ідентифікувати небезпеку дуже важко. Причини деяких аварій та катастроф залишаються нез'ясованими тривалий час. Ідентифікація небезпек може бути різного рівня: повної, наближеної, орієнтовної. Важливе значення першої стадії ідентифікації небезпек має класифікація небезпечних і шкідливих виробничих чинників. За впливом на людину їх поділяються на такі групи [14]: фізичні, хімічні та психофізіологічні.

Широке поширення травмування під час шліфування пов'язане з виникненням небезпечних факторів, більшість з яких обумовлена наявністю в верстатах рухомих неогороджених елементів. До небезпечних факторів відносять [14] шліфувальні шпинделі, патрони для кріплення заготовок, абразивно-металевий пил (при обробці без використання мастильно-охолоджуючої рідини (МОР)), гострі кромки та грані, задирки на поверхні оброблюваних заготовок, рухомі частини додаткових вантажопідійомних пристроїв.

При встановленні та закріпленні абразивного інструменту, а також оброблюваних деталей можливе механічне травмування рук верстатника. Тяжкі травми ніг мають місце при падінні перерахованих предметів. Такі ж травми можуть стати наслідком падіння верстатника через ковзання, причиною чого є потрапляння на підлогу МОР або мастильного матеріалу.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Можливі опіки рук верстатників при контакті з поверхнями, що обробляються, особливо сильні при швидкісному шліфуванні, коли температура цих поверхонь дуже висока.

5.3. Заходи та засоби захисту від пилу, що утворюється в процесі шліфування. Видалення пилу та вентиляція

Пил, який утворюється під час шліфування заготовок, з одного боку він утворюється видалення (зрізання) із заготовки частини матеріалу, а з іншого боку, через зношення самого абразивного інструменту. Якщо пил потрапляє в повітря, існує ризик контакту зі шкірою, або, що ще гірше: його можна вдихнути. Ключові значення мають саме тип пилу, тривалість впливу пилу, а також склад і розмір так званих завислих у повітря частинок. На ці фактори, в свою чергу, переважно впливають властивості заготовки і матеріалу використовуваного абразиву [24].

Пил є причиною багатьох професійних захворювань. Особливо шкідливим для здоров'я вважається надзвичайно дрібний пил, який утворюється при шліфуванні та частина якого навіть не видно неозброєним оком. Відповідно чим дрібніші частки, то простіше їм потрапити в організм людини через дихальні шляхи. І що менше зернистість абразиву, то дрібніші частки пилу. Наприклад, частинці дрібнодисперсного пилу розміром 1 мкм потрібно до семи годин, щоб осісти на підлогу, а це означає, що протягом цього періоду її можна вдихати.

Існує дві категорії пилу: пил категорії А та пил категорії Е [14]. Пил категорії Е – це весь «пил, що вдихається». У свою чергу, пил категорії А – це частина пилу, що вдихається та потрапляє в альвеолярні мішечки легень (альвеоли), оскільки він занадто дрібний, щоб затримуватися в носі або в горлі. Щодо обох типів пилу необхідно дотримуватись суворих обмежень: З 2001 року граничне значення для пилу категорії Е становить 10 мг/м³. Граничне значення для особливо шкідливого пилу категорії А, який

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

потрапляє до альвеол, нещодавно було знижено до 1,25 мг/м³.

Видалення пилу необхідно не тільки при шліфуванні алюмінію або чавуну, коли це є обов'язковим, але і при шліфуванні інших матеріалів, якщо пилове навантаження неможливо мінімізувати технічними засобами. Якщо завдання з обробки цього матеріалу не передбачає, пил необхідно повністю зібрати в місці виникнення, витягти і безпечно видалити з робочої зони. Для цього використовуються різні інженерні методи: від повністю герметичної закритої робочої зони, яка з'єднана з витяжною системою, до застосування напіввідкритих систем зі шліфувальними столами з видаленням пилу і вбудованими в інструмент пристроями прямої витяжки.

Окрім вентиляції та використання відповідних абразивів (найменш небезпечних за хімічним складом), робітники повинні використовувати відповідні засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). За наявності пилу, що вдихається, потрібен відповідний захист очей (захисні окуляри) і органів дихання (мінімум FFP2), а також захисний костюм і рукавички. FFP2 – це клас фільтруючих масок, які використовуються для захисту органів дихання від шкідливих частинок у повітрі, таких як пил, дим, туман та аерозолі.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі бакалавра проаналізовано технологію шліфування кілець підшипника серії 305 за допомогою модернізованого торцешліфувального верстату. Модернізовано вузол згонки кульок підшипника. Розроблено технологічний процес деталі «Клин» та розраховано напружено-деформований стан методами імітаційного моделювання за допомогою систем автоматизованого проектування «SolidWorks». Дано коротка характеристика самої деталі, матеріалу. Було обрано метод виготовлення та форму заготівлі. Складено маршрут обробки. Розраховано припуски на механічну обробку, режими різання, зроблено вибір металорізального обладнання та різального інструменту, обрано верстатні та інструментальні пристрої, засоби вимірювання та контролю розмірів при виготовленні деталі «Клин». Розроблено управляючу програму для верстата з ЧПУ.

У конструкторському розділі спроектовано головний привід верстата із розрахунком жорсткості опор кочення шпіндельного вузла

Спроектовано механічну шліфувальну дільницю з оброблення кілець кулькового підшипника серії 305. Проведено розрахунки необхідного обладнання, виробничої площі дільниці, розроблено компонування та планування дільниці.

В розділі охорона праці проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори на робочому місці шліфувальника а також запропоновано заходи та засоби захисту від пилу, що утворюється в процесі шліфування.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Halchuk T. N., Povstyanoy O. Yu., Bembenek M., Redko R. G., Chetverzhuk T. I., Polinkevych R. M. (2023). Impact of technological system's characteristics on the machining accuracy of bearing rings. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 10(1), pp. A22-A30, doi: 10.21272/jes.2023.10(1).a4.
2. Larshin V., et al. Gear grinding stock alignment in advance of grinding. In: Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 170-179.
3. Marchuk, V., et al. Simulation of dimensional accuracy in an automated grinding system of surfaces of rotation. *Перспективні технології та прилади*, 2019, 14: 82-87.
4. Бондаренко С. Г. Основи технології машинобудування : навчальний посібник / С. Г. Бондаренко – Львів : Магнолія, 2018. – 500 с.
5. Бочков В.М. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник. / В.М. Бочков, Р.І. Сілін, О.В. Гаврильченко. За ред. Р.І. Сіліна. – Львів: Видавництво «Бескид Бід», 2008. – 448с.
6. Бурек Я. Верстатне обладнання : навч. посіб. / Я. Бурек, І.В. Гурей, З.А. Стоцько – Львів: Вид-во ун-ту «Львівська політехніка», 2014. – 168 с.
7. Вплив абразивного інструменту на шорсткість поверхонь композитних підшипників поліграфічної техніки при тонкому шліфуванні / А.П. Гавриш, А.В. Шевчук, Т.А. Роїк. // *Технологія і техніка друкарства*. – 2013. — № 3. – С. 119 -127.
8. Гайдамака А. В. Підшипники кочення. Базові знання та напрямки вдосконалення: навчальний посібник. / А. В. Гайдамака. – Х. : НТУ «ХП», 2009. – 248 с.
9. ДСТУ 10250-1:2008 Поковки сталеві ковані для машинобудування загальні вимоги. Частина 1. Загальні вимоги.
10. ДСТУ 2293:2014. Охорона праці. Терміни та визначення основних

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

понять.

11. ДСТУ 7809:2015 Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови.

12. ДСТУ 8981:2020. Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічну обробку.

13. ДСТУ ISO 4378-1:2018 Вальниці ковзання. Терміни та визначення, класифікація та умовні позначки. Частина 1. Конструкція матеріалів для вальниць та їхні властивості.

14. ДСТУ ISO 45001:2019 (ISO 45001:2018, IDT) Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування.

15. ДСТУ EN 10020:2007. Сталі. Визначення і класифікація (EN 10020:2000). – Вид. офіц. – на заміну ДСТУ EN 10020:2002. – К.: Держспоживстандарт України. 2009. – IV, 5с.

16. Дусанюк Ж. П. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки :навч. посіб. / Ж. П. Дусанюк та ін. Вінниця, 2009. – 199 с.

17. Залога, В.О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні. Навчальний посібник / В.О. Залога, В.Д. Гончаров, О.О. Залога. – Суми: СумДУ, 2013. – 371 с.

18. Ковальов, В. Д., Васильченко, Я. В., Міхєєв, А. О., Четвержук, Т. І. (2024). Управління точністю траєкторних переміщень виконавчих органів верстата на гідростатичних підшипниках. Перспективні технології та прилади, 1(25), 64-72. DOI: <https://doi.org/10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2024-25-10>

19. Матеріалознавство та технологія матеріалів (у схемах і завданнях): навч. посіб. / Т.П. Говорун, О.П. Гапонова, С.В. Марченко. Суми: СумДУ, 2020. – 163 с.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

20. Основи технології машинобудування: навчальний посібник / Дерібо О.В., Дусанюк Ж.П., Репінський С.В. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 106 с.

21. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Ю.Є. Паливода, А.Є. Дячун, Р.Я. Лещук. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

22. Підшипник ВЕL радіальний кульковий 6305 (ДСТУ 305)

23. Степанов М.С. et al. Дослідження впливу температури робочої рідини в підшипниках шпинделя круглошліфувального верстату на похибку його положення відносно оброблюваної деталі. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні, 2022, 2: 49-55.

24. Теорія різання. Лезове та абразивне оброблення металів: навчальний посібник/ І. Є. Грицай. – Львів : Львівська політехніка, 2018. – 232 с.

25. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 386 с.

26. Четвержук Т.І., Полінкевич Р.М., Редько Р.Г., Залета О.М., Скляр Р.А. Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів. Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки» за галузями знань «Фізико-математичні науки» та «Технічні науки», Випуск 71, Луцьк, 2021, № 71. – 363 с. – С. 322-329.

27. Ярошевич М.П. Теорія механізмів і машин. Навчальний посібник. Луцьк.: ЛНТУ, 2019. 238с.

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

ДОДАТКИ

					021Б – 025.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68