

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Конструювання шпindelної бабки горизонтального
двошпindelного торцешліфувального автомату**

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МВ-41
спеціальності _____

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

	_____	Гончарик П.І.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	Буховець В.М.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	Кобельник В.Р.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	Крупа В.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	_____
	(підпис)	(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 Гончарику Петру Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Конструювання шпindelної бабки горизонтального двошпindelного торцешліфувального автомату

Керівник роботи Буховець Валерій Миколайович, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «21» 01 2026 року № 4/9-45

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22.06.2026р.

3. Вихідні дані до роботи Креслення деталі «Ролик підшипника»; конструкторська документація по горизонтальному двошпindelному торцешліфувальному автомату; матеріали по конструкціях шпindelних бабок торцешліфувальних верстатів

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

1. Аналітичний розділ

2. Технологічний розділ

3. Конструкторський розділ

4. Безпека життєдіяльності, охорона праці

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

1. Технологічний процес та операційна технологія виготовлення деталі (1 лист формату А1)

2. Кінематична схема горизонтального двошпindelного торцешліфувального автомату (1 лист формату А1)

3. Бабка шпindelна (2 листи формату А1)

АНОТАЦІЯ

Гончарик П.І. Конструювання шпиндельної бабки горизонтального двошпиндельного торцешліфувального автомату. 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2026 р.

В кваліфікаційній роботі приведено аналіз способів шліфування торців циліндричних деталей, призначення двошпиндельного торцешліфувального автомату, особливості його компоновки та кінематику, а також проведено аналіз конструкції його основних вузлів та конструкції аналогічних верстатів провідних фірм-виробників. Розроблено операційну технологію торцевого шліфування торців ролика підшипника, вибрано шліфувальний інструмент та режими різання. Проведено конструювання шпиндельної бабки горизонтального двошпиндельного торцешліфувального автомату. Вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: ролик підшипника, двостороннє плоске шліфування, торцешліфувальний верстат, шпиндельна бабка, технологічний процес, шліфувальний круг, жорсткість.

Goncharyk P.I. Design of the spindle headstock of a horizontal twin-spindle face grinding machine. 133 – Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2026.

The qualification work provides an analysis of the methods of grinding the ends of cylindrical parts, the purpose of a twin-spindle face grinding machine, the features of its layout and kinematics, and also an analysis of the design of its main components and the design of similar machines from leading manufacturers. The operating technology for face grinding of the ends of the bearing roller has been developed, the grinding tool

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	<i>Гончарик П.І.</i>				Анотація	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Буховець В.М.</i>					<i>Н</i>	<i>3</i>	<i>2</i>
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник В.Р.</i>					<i>ТНТУ ім. І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		
<i>Затв.</i>	<i>Крупа В.В.</i>							

and cutting modes have been selected. The headstock of a horizontal twin-spindle face grinding machine has been designed. The issues of occupational health and safety have been resolved.

Keywords: bearing roller, double-sided flat grinding, face grinding machine, headstock, technological process, grinding wheel, stiffness.

					<i>КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		<i>4</i>

ЗМІСТ

	ВСТУП	7
1.	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1.	Характеристика об'єкту виробництва	8
1.2.	Аналіз способів шліфування торців циліндричних деталей	10
1.2.1.	Шліфування периферією круга	10
1.2.2.	Шліфування одним торцем круга	11
1.2.3.	Двостороннє торцеве шліфування	12
1.3.	Призначення, компоновка та кінематика горизонтального двошпindelного торцешліфувального автомату	14
1.4.	Аналіз конструкції основних вузлів горизонтального двошпindelного торцешліфувального автомату	18
1.5.	Аналіз конструкції двошпindelних торцешліфувальних верстатів	21
1.6.	Вибір напрямку розробки та завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра	25
2.	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	28
2.1.	Типовий маршрут виготовлення роликів підшипників кочення	28
2.2.	Розроблення технологічного маршруту виготовлення роликів підшипників кочення	29
2.3.	Вибір технологічних баз	30
2.4.	Вибір металообробного обладнання	32
2.5.	Розроблення технологічних операцій двостороннього торцевого шліфування	33
2.5.1.	Операційна технологія торцешліфувальних операцій	33
2.5.2.	Вибір різального інструменту для торцешліфувальних операцій	33
2.5.3.	Вибір режимів різання для торцешліфувальних операцій	35

КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ				
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>
<i>Розробив</i>		<i>Гончарик П.І.</i>		
<i>Перевірів</i>		<i>Буховець В.М.</i>		
<i>Н. контр.</i>		<i>Кобельник В.Р.</i>		
<i>Затв.</i>		<i>Крупа В.В.</i>		
Зміст				
		<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
		Н	5	2
ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль				

2.5.3.	Вибір змашувально-охолоджувальної рідини для торцешліфувальних операцій	37
3.	КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	38
3.1.	Структура приводу головного руху	38
3.2.	Силовий та кінематичний розрахунок приводу шліфувального круга	39
3.3.	Автоматизований розрахунок зубчато-пасової передачі	40
3.4.	Проектування шпиндельного вузла шліфувальної бабки	44
3.4.1.	Вибір компоновальної схеми шпиндельного вузла та типу опор	44
3.4.2.	Визначення жорсткості підшипників опор шпиндельного вузла	46
3.3.3	Розрахунок оптимальної віддалі між опорами	49
3.4.4	Розрахунок радіальної жорсткості шпиндельного вузла	52
3.4.5	Розрахунок власної частоти та амплітуди коливань шпинделя	53
4.	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	55
4.1.	Характеристика умов праці, виробничого середовища на дільниці абразивної обробки	55
4.2.	Правила техніки безпеки при експлуатації шліфувальних кругів	57
4.3.	Правила техніки безпеки при роботі на шліфувальному верстаті	59
	ВИСНОВКИ	63
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66
	ДОДАТКИ	70

ВСТУП

Одним із високопродуктивних методів абразивної обробки торцевих деталей є двостороннє торцеве шліфування, що забезпечує максимальну ефективність та найвищу якість одночасно. Одночасна обробка двох сторін значно скорочує час циклу обробки, що приводить до підвищення продуктивності, а також забезпечує жорсткі допуски на площинність та паралельність. Завдяки точній фіксації та рівномірному тиску зменшується ризик деформації тонких деталей, що приводить до зменшення браку.

Технологічна продуктивність одночасної двосторонньої обробки шліфуванням пропорційна швидкості різання, яка визначає частоту обертання. Тому конструкція шпиндельних бабок двошпиндельних горизонтальних торцешліфувальних верстатів буде суттєво впливати на технологічну продуктивність обробки шліфуванням та точність і якість поверхні. Розроблення конструкції шпиндельної бабки таких верстатів з використанням сучасних привідних технологій та на основі сучасних конструктивних рішень для забезпечення заданої продуктивності обробки торців деталей є актуальною конструкторською задачею.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена конструюванню шпиндельної бабки двошпиндельного горизонтального торцешліфувального верстата із шпиндельним вузлом високої жорсткості для забезпечення відповідної продуктивності обробки та забезпечення високої точності шліфування торців деталей. Окрім того, робота передбачає розробку операційної технології торцешліфувальних операцій, вибір шліфувальних кругів для торцевого чорного і чистового шліфування та режимів обробки для обробки торців ролика підшипника.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	Вступ	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Гончарик П.І.</i>					<i>Н</i>	<i>7</i>	<i>1</i>
<i>Перевірів</i>	<i>Буховець В.М.</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Кобельник В.Р.</i>							
<i>Затв.</i>	<i>Крупа В.В.</i>							
						<i>ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль</i>		

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Характеристика об'єкту виробництва

Деталь «Ролик підшипника» (додаток 1) відноситься до коротких циліндричних роликів з прямолінійною твірною і плоскими торцями та використовується в якості тіл кочення у радіальному роликовому підшипнику моделі 32618Л, що має два борти на зовнішньому кільці та внутрішнє кільце без бортів (рис. 1).

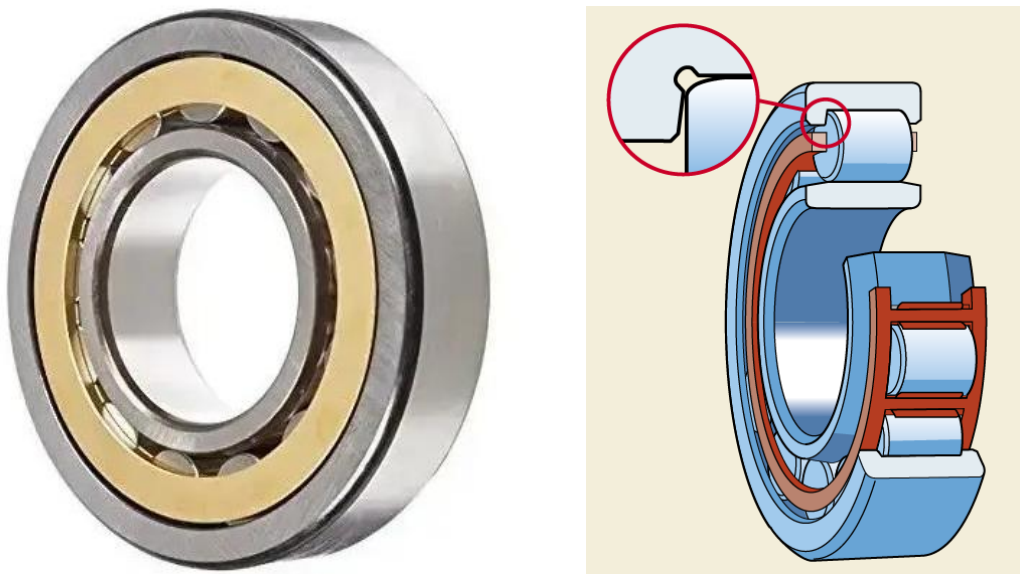


Рисунок 1.1 – Конструкція радіального роликового підшипника серії 32600

Ролики однорядного циліндричного роликопідшипника завжди рухаються в межах напрямних бортів, виконаних разом із зовнішнім кільцем.

Технічні вимоги до деталі «Ролик підшипника» регламентуються ДСТУ ГОСТ 22696:2018 [1] та приведені на її кресленні (рис. 1.2).

Ролик підшипника має бути виготовлений зі сталі марки ШХ 15 за ГОСТ 801-78. Це високовуглецева хромиста підшипникова сталь, що відрізняється

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розробив	Гончарик П.І.				Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Буховець В.М.				Н	8	20
Н. контр.	Кобельник В.Р.				ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м.Тернопіль		
Затв.	Крупа В.В.						
Аналітичний розділ							

високою твердістю, зносостійкістю, контактною міцністю, тріщиностійкістю і покращеною стійкістю до втоми металу і трибологічних навантажень [2].

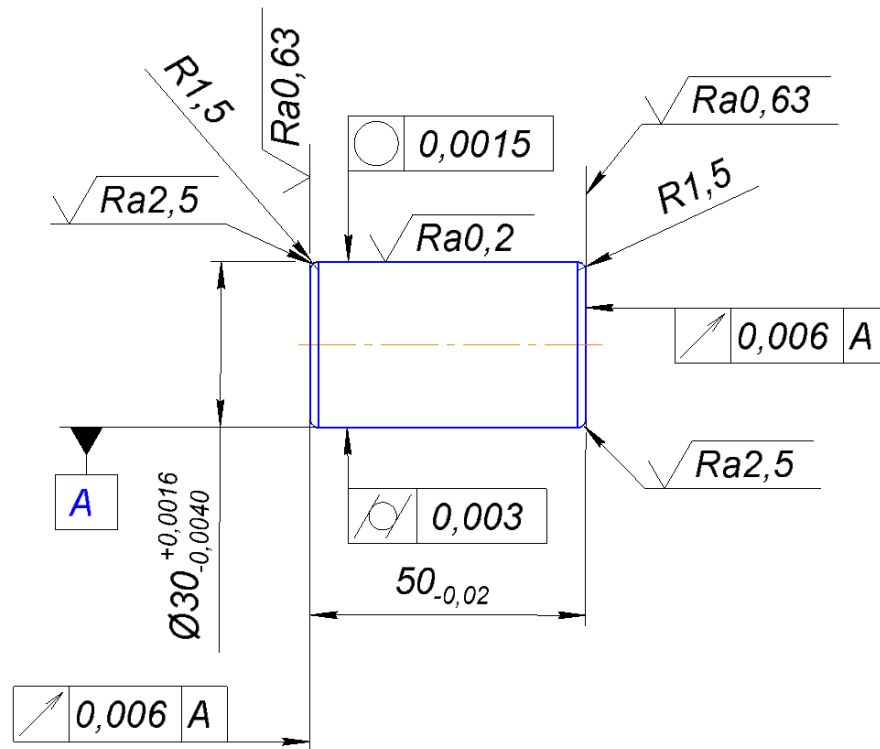


Рисунок 1.2 – Креслення деталі «Ролик підшипника»

Твердість ролика підшипника має бути HRC 60...64 [1]. Ролик має бути виготовлений по ступеню точності III [1].

Деталь має просту конструкцію і не має важкодоступних місць для обробки. Відхилення розмірів, класи шорсткості поверхонь вимагають використання шліфувальних верстатів для чистової обробки. При шліфуванні циліндричної поверхні кочення потрібно забезпечити циліндричність не більше 3 мкм., а відхилення від круглості при цьому має бути не більше 1,5 мкм. Для забезпечення радіального биття торців деталі не більше 6 мкм потрібно використати торцешліфувальний верстат. Також ДСТУ ГОСТ 22696:2018 [1] регламентує також недопущення сідлоподібності поверхні кочення та увігнутості торців ролика підшипника. Окрім того, ролик підшипника не повинен мати тріщин, раковин, корозії, а також плям вторинного загартування або вторинного відпуску. ДСТУ ГОСТ 22696:2018 [1] не допускаються забоїни, вм'ятини, а на робочій поверхні ролика підшипника не допускаються опіки та сліди зневуглення.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

Основні поверхні деталі «Ролик підшипника» та способи їх обробки приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Основні поверхні деталі «Ролик підшипника» та способи їх обробки

№ п/п	Назва поверхні, розміри, мм	Допуск (відхилення)	Шорсткість, мкм	Вид обробки
1.	2 торці, L = 50 мм	-0,02	Ra 0,63	Чорнове шліфування Чистове шліфування після гартування
2.	Циліндрична поверхня, D = 30 мм	+0,0016 -0,004	Ra 0,2	Чорнове шліфування Чистове шліфування після гартування

1.2 Аналіз способів шліфування торців циліндричних деталей

1.2.1 Шліфування периферією круга

При шліфуванні периферією круга шліфувальний круг приводиться в обертний рух та подається на відповідну глибину різання. Заготовці при цьому надається прямолінійний зворотньо-поступальний рух. Після здійснення такого руху заготовки шліфувальний круг знову переміщується на потрібну глибину різання. В результаті наступного поступального руху заготовки знімається наступний шар металу. Зняття припуску при такому способі шліфування здійснюється за кілька проходів. Використовується при обробці поверхонь невисокої жорсткості деталей з підвищеними вимогами до точності розмірів і при високій твердості матеріалу деталей [3, 4].

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.2.2 Шліфування одним торцем круга

При шліфуванні торцем круга оброблювана деталь та інструмент контактують по більшій за розмірами площі контакту ніж при шліфуванні периферією круга, що приводить до зростання поверхні, по якій виділене в процесі різання тепло потрапляє в деталь [3, 4]. При такому способі шліфування в роботу вступає більша кількість різальних зерен, що забезпечує повільне зношення інструментальної поверхні, а також її стабільність при відносно великих швидкостях подачі [3, 4]. Тому такий спосіб обробки є високопродуктивним, оскільки стружка знімається одночасно великою кількістю абразивних зерен. Характерними особливостями способу шліфування торцем круга, у порівнянні з іншими способами, є підвищена контактна температура шліфування та збільшення пружних відтискань обробної системи [3, 4].

Існують схеми шліфування торцем круга із повертанням його осі на деякий кут, який вибирається з урахуванням перекриття припуску, що знімається. Така схема дозволяє підвищити продуктивність і забезпечує доцільне використання різальних властивостей робочої поверхні круга. При цьому за рахунок затягування деталей в клинову зону, що поступово звужується їх рух в робочій зоні полегшується [4].

Способи подачі деталей в зону обробки приведені на рис. 1.3. [5]. На рис. 1.3,а приведена схема торцевого шліфування з використанням одностороннього індексного стола, який забезпечує подачу заготовок в зону обробки шляхом його обертання із пристосуваннями, в яких вони закріплені. Метод маятникової подачі заготовок в зону обробки з використанням одностороннього індексного столу, приведений на рис. 1.3,б. Спосіб, приведений на рис. 1.3,в передбачає два шпинделі та дозволяє виконувати чорнове та чистове шліфування на одному верстаті. Деталі при цьому закріплені в пристосуваннях і розміщені на односторонньому індексному столі, який забезпечує їх подачу в зону обробки шляхом повороту. Метод подачі деталей в зону обробки шляхом переміщення столу приведений на рис. 1.3,г. і використовується для обробки великогабаритних

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

заготовок з великою площею шліфування.

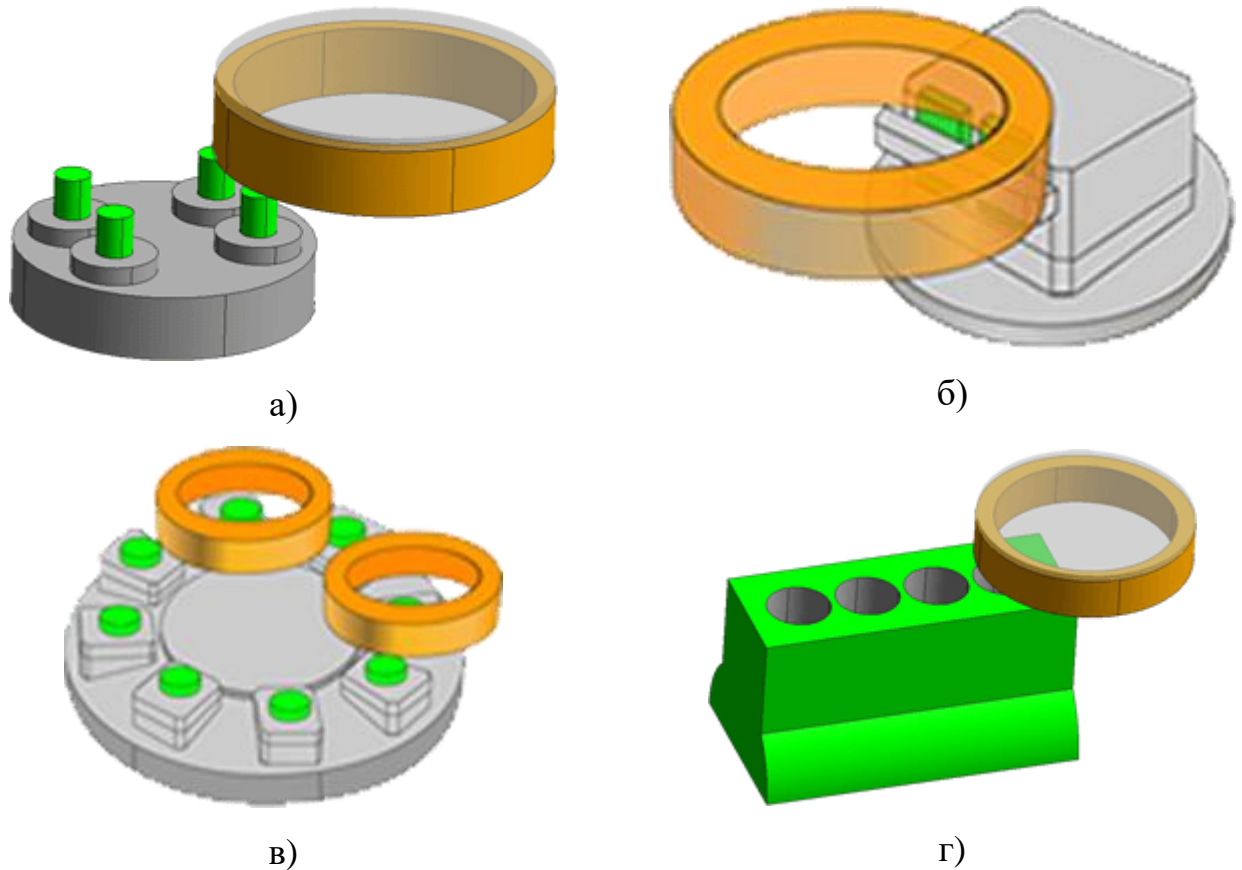


Рисунок 1.3 – Способи подачі деталей в зону обробки при шліфуванні одним торцем круга

1.2.3 Двостороннє торцеве шліфування

Метод двостороннього шліфування з одночасним використанням двох кругів застосовується з метою забезпечення двох чітко паралельних площин на деталі [4].

Спосіб двостороннього шліфування кругами з плоскими торцями, які паралельні до торців оброблюваних деталей, забезпечує зняття припуску периферійною ділянкою круга, а потім забірним конусом круга, що утворився в результаті зношення. Після цього здійснюється чистове шліфування торцями кругів. Недоліком цього способу є низька продуктивність, оскільки торцевою поверхнею круга знімання металу не відбувається [4]. Такий спосіб в основному застосовують для обробки високоточних торців з малими припусками, а також

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

при обробці на напівавтоматах для двостороннього і одностороннього шліфування великогабаритних плоских поверхонь [4].

З метою збільшення продуктивності використовується шліфування кругами з плоскими торцями, осі яких орієнтовані у вертикальній і горизонтальній площинах. Ця орієнтація відбувається на деякі невеликі кути, які залежать від величини припуску. При цьому обробка торців деталі здійснюється перехідною ділянкою між периферією круга і його торцем. Така схема обробки забезпечує зрізання припуску на значно більшій дузі контакту заготовки з кругом, а завдяки рівномірному розподілу припуску забезпечується значно менша теплонапруженість процесу [4, 6]. Недоліком є нижча точність обробки, оскільки вона формується на ділянці при виході деталей із зони обробки [4, 6].

Способи подачі деталей в зону обробки між двома шліфувальними кругами приведені на рис. 1.3. [7, 8]. В основному використовуються три схеми обробки різноманітних деталей спареними кругами на двосторонніх торцешліфувальних верстатах: з круговою подачею деталей у зону обробки; з лінійною подачею деталей у зону обробки; з індексною подачею деталей у зону обробки; із зворотно-поступальною подачею деталей у зону обробки [7, 8].

Схема кругової подачі деталей у зону обробки приведена на рис.1.4,а. Деталі закріплюються в барабані подачі деталей у зону обробки. Шліфування виконується торцевою поверхнею шліфувальних кругів, орієнтованих у вертикальній та горизонтальній площинах на невеликі кути кругів. Це найпоширеніший спосіб подачі різноманітних деталей з круглим та некруглим профілем, який відрізняється високою продуктивністю і точністю.

Схема лінійної подачі деталей у зону обробки зображена на рис.1.4,б. В цій схемі деталі розміщені між лінійками, а обробка виконується торцевою поверхнею орієнтованих шліфувальних кругів. Цей спосіб найбільше підходить для подачі різноманітних деталей в зону обробки, що є тілами обертання.

Обертова система подачі заготовок з індексуванням рис.1.4,в. найбільше підходить для заготовок, які потребують великого зняття матеріалу та точності.

Зворотно-поступальна подача деталей у зону обробки рис.1.4,г. передбачає

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

закріплення заготовки в пристосуванні та її подачу у затиснутому стані вперед і назад.

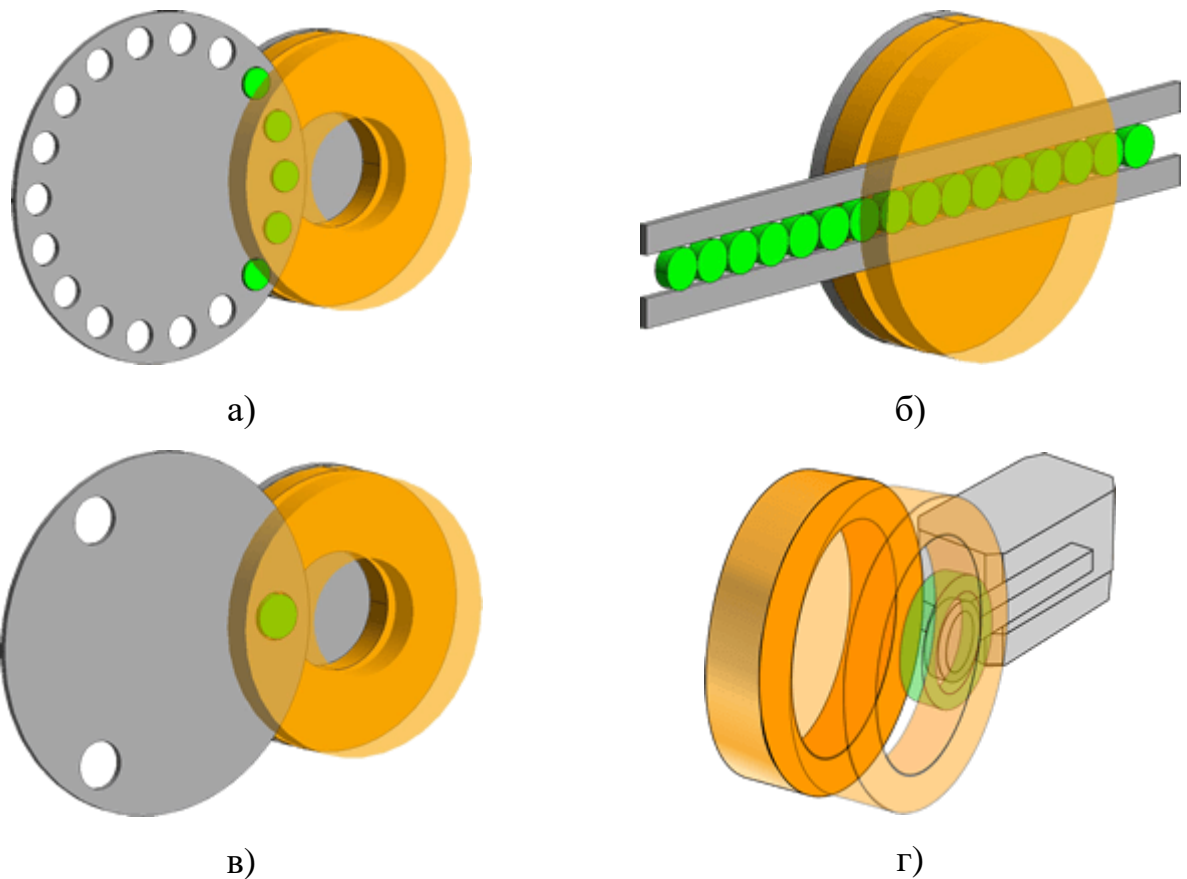


Рисунок 1.4 – Способи подачі деталей в зону обробки при шліфуванні на двосторонніх торцешліфувальних верстатах

1.3 Призначення, компоновка та кінематика горизонтального двошпindelного торцешліфувального автомату

Двошпindelний торцешліфувальний автомат мод 3342АФ (рис. 1.5) призначений для шліфування торців деталей торцевою поверхнею орієнтованих шліфувальних кругів з круговою подачею деталей у зону обробки.

Автомат моделі 3342АФ складається з блоку станини 1, на якому змонтовані блок лівої шліфувальної бабки 2 та блок правої шліфувальної бабки 3. Між ними знаходиться центральна частина, що включає огороження 5 шліфувальних кругів і блок подачі заготовок 8. Блок станини є виливком жорсткої коробчатої форми. На верхній площині встановлюють огорожі 5 шліфувальних кругів та блоки

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

шліфувальних бабок 2 і 3. У центральному пазу на верхній площині станини змонтовано дві каретки, що служать для переміщення блоків шліфувальних бабок 2 і 3. До передньої сторони станини прикріплено тумбу 8 з приводом редуктора диска завантаження.

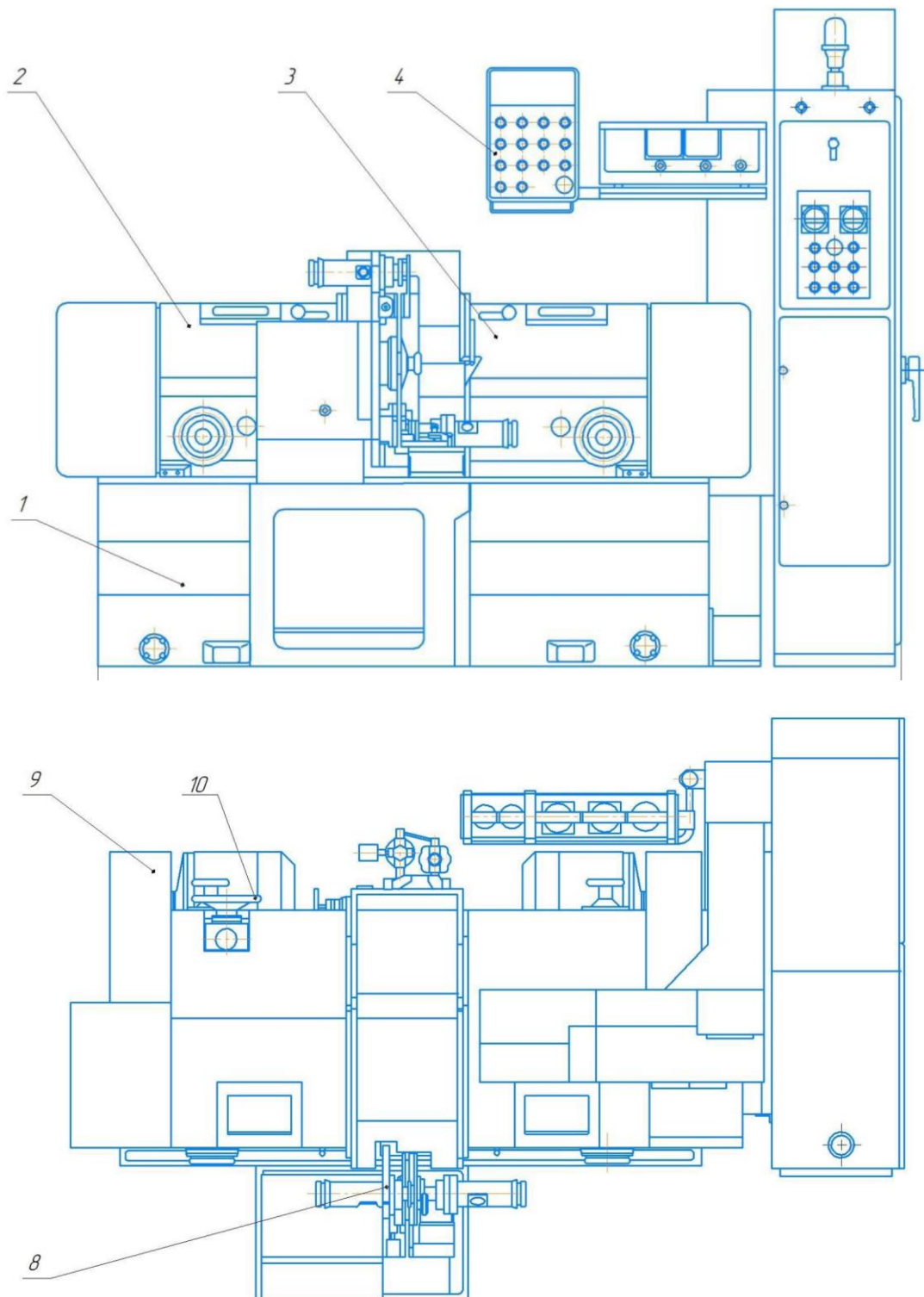


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд двостороннього торцешліфувального автомату
мод. 3342 АФ

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

Кінематична схема торцешліфувального автомату мод. 3342 АФ приведена на рис. 1.6. Від електродвигунів 1 через зубчасто-пасову передачу 2 приводяться в обертання шпинделі 3 шліфувальних кругів. Поступальні переміщення пінолей із шпинделями шліфувальних кругів по напрямних кочення здійснюються механізмами подачі.

Привід ручної подачі здійснюється від маховика, зв'язаного з валом 21, на якому розташований черв'як 22 через черв'ячне колесо 23, змонтоване на гвинті 25, і гайку 24, закріплену на пінолі.

Привід автоматичної подачі здійснюється від електродвигуна 10. Протилежний кінець валу 21 жорстко з'єднаний з валом 20, який через муфту зв'язаний з коробкою подач, що представляє собою черв'ячно-планетарний редуктор з управлінням від електромагнітних муфт.

Прискорене переміщення пінолі здійснюється тоді, коли електромагнітна муфта замикає вал 12 з черв'ячним колесом 13, при цьому планетарний редуктор вимкнений. Рух від електродвигуна 10 через пару косозубих шестерень 9 і черв'ячну пару 13, 14 передається на вал механізму подачі пінолі.

Робоче переміщення пінолі здійснюється тоді, коли електромагнітна муфта замикає вал 12 на корпус коробки, при цьому планетарний ряд включений. Рух від електродвигуна через 10 пару косозубих шестерень 9, черв'як 14 і черв'ячне колесо 13 передається на водило. На водилі розташований блок 15 шестерень і 17, який, обкочуючись на шестірні 16, передає момент на шестерню 19 і далі на вал 20 механізму подачі пінолі.

Рух важелів правки здійснюється від електродвигуна 5 редуктора пристрою правки через черв'ячну пару 6 і черв'ячну пару 8 і далі через вал 4 на вал 11 пристрою правки. Момент на другий пристрій правки передається через еластичну муфту 18. На валу цього пристрою змонтовані упори управління.

Кулачкова муфта виконує роль запобіжної муфти при включенні двигуна. При включенні кулачкової муфти колесо 6 і вал 7 роз'єднуються і коливання важелів правки можна здійснювати вручну від маховика, закріпленого на валу 7 через черв'ячну пару 8.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

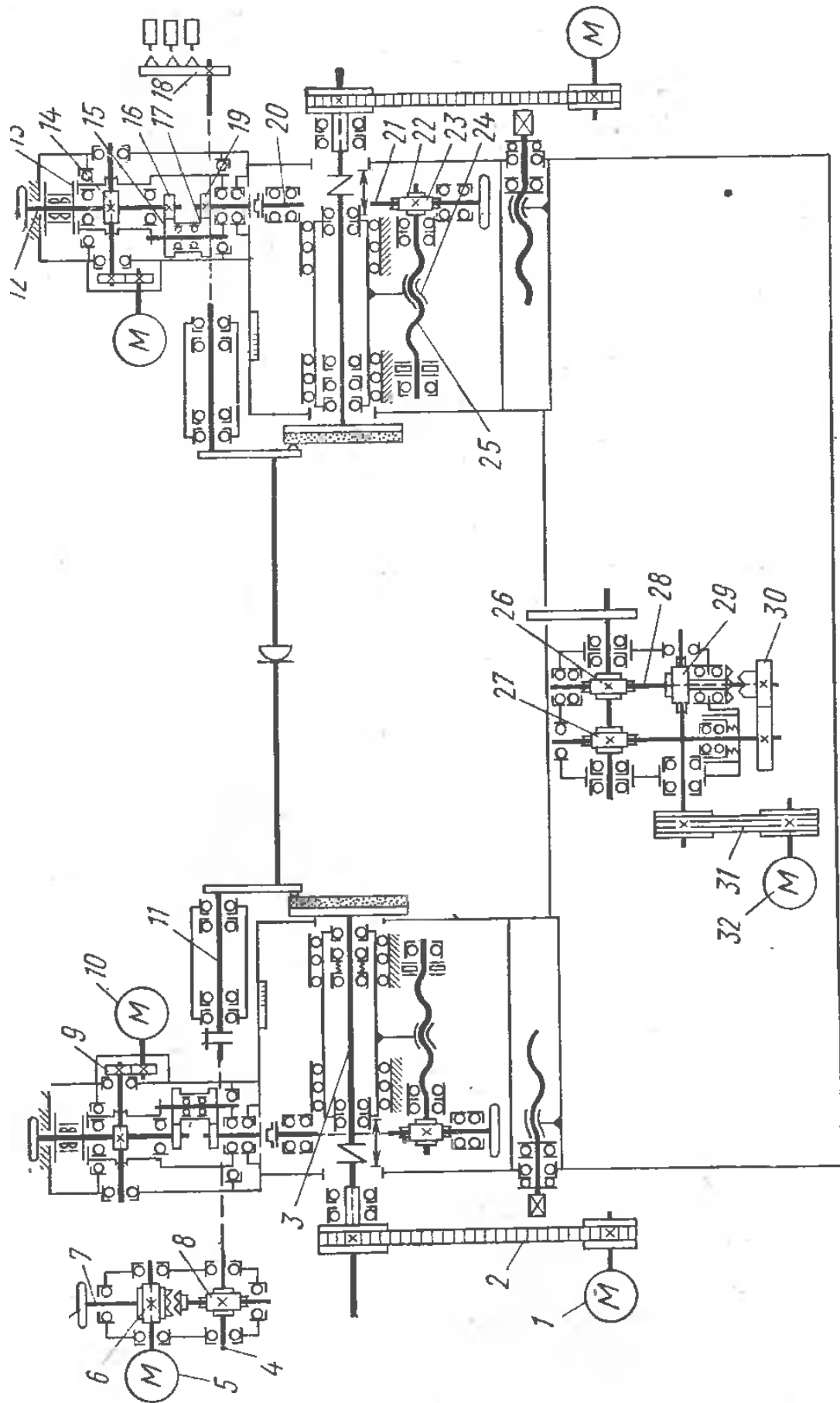


Рисунок 1.6. – Кінематична схема двостороннього торцешліфувального автомату мод. 3342 АФ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ

Арк.

17

Привід диска завантаження здійснюється від електродвигуна 32 через пасову передачу 31, черв'ячну пару 29, запобіжну муфту, черв'ячну пару 26. Для вибірки люфтів на вихідному валу змонтовано другу черв'ячну пару 27 з приводом від валу 28 через зубчасту пару 30.

1.4 Аналіз конструкції основних вузлів горизонтального двошпindelного торцешліфувального автомату

Блоки шліфувальних бабок (рис. 1.7) конструктивно однакові і включають шліфувальну бабку 4, в якій змонтована піноль 3, шпindel 1 шліфувального круга і механізм подачі 9 пінолі.

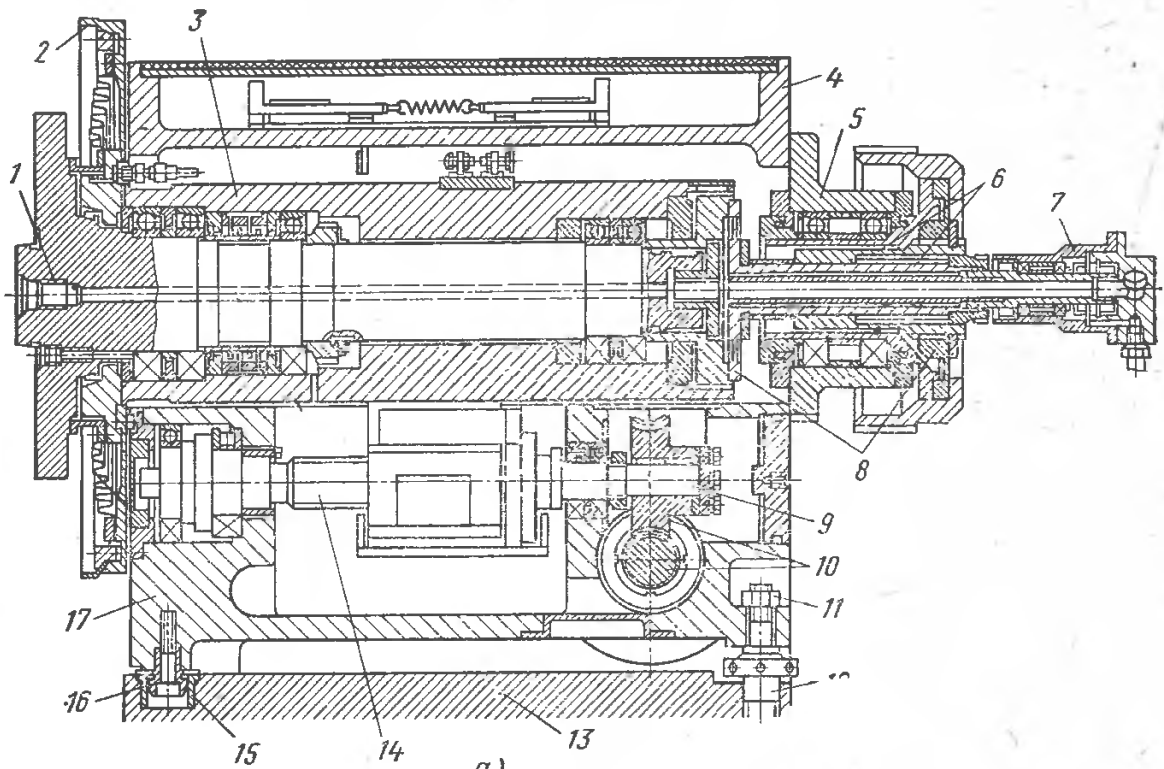


Рисунок 1.7 – Блок шліфувальної бабки

На корпусі бабки встановлюється пристрій для правки шліфувальних кругів, а також коробка подач, опори 5 шківів, пристрій 7 для подачі охолодження. Шліфувальна бабка кріпиться до станини у трьох точках. Дві опори розташовані у передній, а третя – у задній частині корпусу шліфувальної бабки. Задня опора являє собою порожнистий гвинт 12 зі сферичним торцем, вкручений у каретку 13

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

станіни. Гвинт 12 контрється гайкою 11. Між передніми опорами розташований центруючий палець 16, що входить без зазору в стакан каретки 15 станини 13. Для ущільнення стику між корпусом шліфувальної бабки і корпусом огороження шліфувальних кругів від підтікання охолоджуючої рідини встановлено кільце ущільнювача 2.

Шпиндель шліфувального круга встановлений на прецизійних радіально-упорних підшипниках кочення, змонтованих з попереднім натягом. Піноль шпинделя круга переміщається по призматичних роликівих напрямних, розташованих на нижньому корпусі 17 шліфувальної бабки. Обертовий момент на шпиндель передається шліцевою парою 6 за допомогою еластичної муфти 8.

Блок подачі виробів (рис. 1.8) складається з редуктора приводу диска 1, плити напрямного пристрою 2 з базовими циклами (лівими) та пінолей 3 протибазових щок (правих), що монтується на тумбі. На кронштейні нижньої протибазової щоки монтується вимірювальний пристрій, а на входних щоках (верхніх) - позиціонери 4, 5 робочого положення шліфувальних кругів. Редуктор приводу диска може переміщатися в напрямку, перпендикулярному осі шліфувальних кругів для компенсації отвору діаметра в шліфувальних колах.

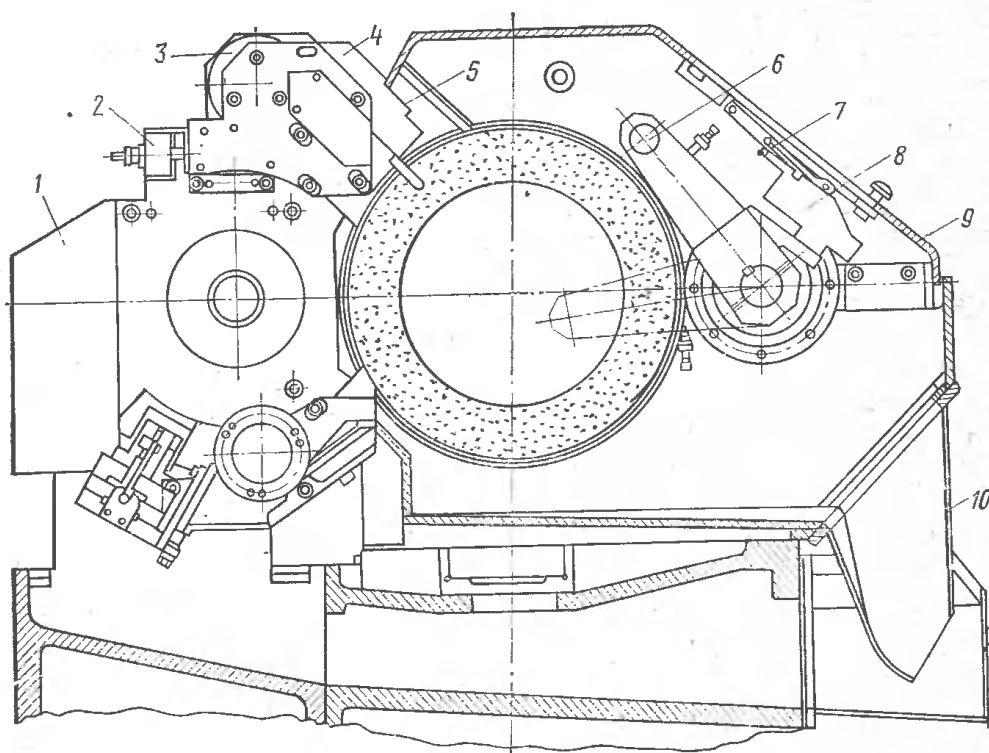


Рисунок 1.8 – Блок подачі виробів

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

Механізм подач (рис. 1.9), являє собою одноступінчастий черв'ячний редуктор з планетарним рядом, встановлений позаду на корпусі шліфувальної бабки. Управління роботою механізму здійснюється двома електромагнітними муфтами 22 і 23. Привід механізму подачі здійснюється від електродвигуна постійного струму зі ступеневим регулюванням частоти обертання від 3000 до 186 об/хв за рахунок зміни напруги збудження ланцюга якоря.

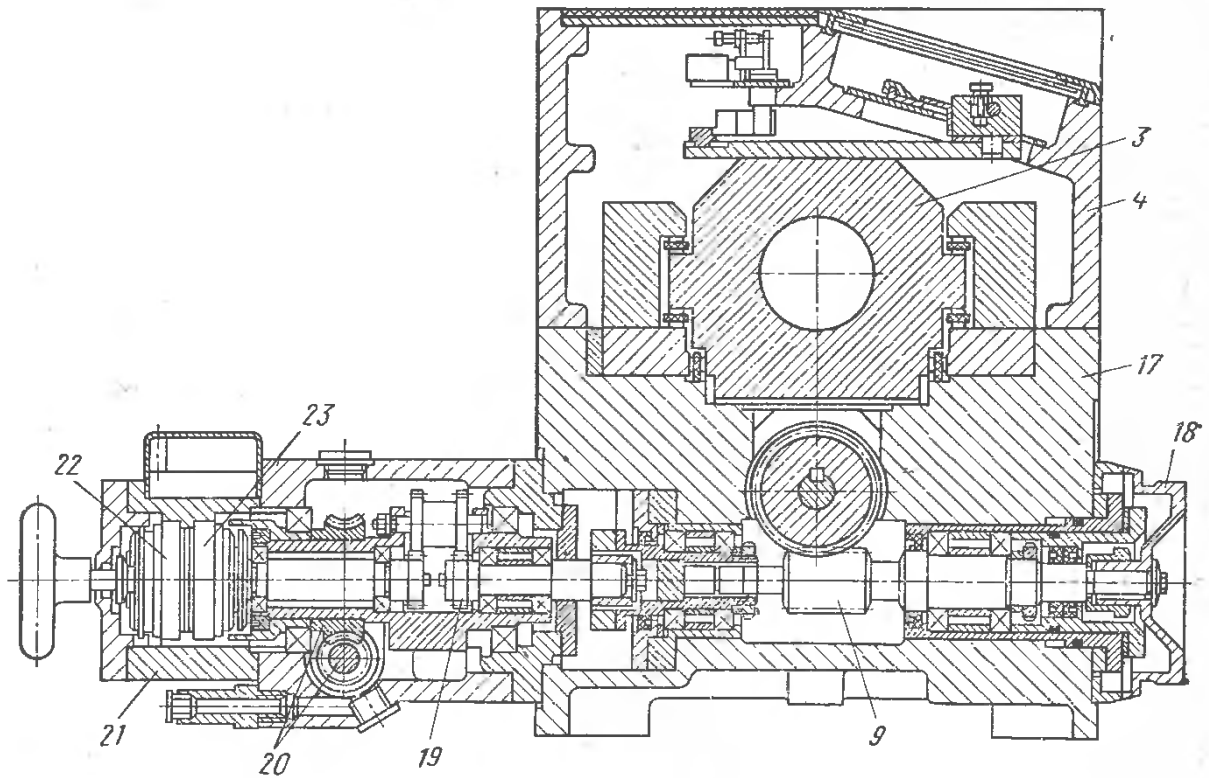


Рисунок 1.9 – Механізм подач пінолі

В залежності від того, яка муфта включена, встановлено дві фіксовані швидкості електродвигунів приводу коробки. При включенні муфти 23 вихідний вал обертається через черв'ячну пару 20, при цьому забезпечується швидке переміщення пінолі 3 зі швидкістю 60 мм/хв. При включенні муфти 22 обертання вихідного валу здійснюється через черв'ячну пару 20 і планетарний редуктор 19, при цьому забезпечується повільне переміщення пінолі зі швидкістю 15 мкм/с при частоті обертання електродвигуна 2800 об/хв, а також подачі шліфувального круга на зняття при правці або 1 мкм/с при частоті обертання електродвигуна 186 об/хв для налагодження шліфувальних кругів. Величина імпульсу переміщення шліфувального круга на зняття при правці або при компенсації зношування

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

визначається часом роботи електродвигуна.

Для переміщення пінолі вручну від маховика 18 живлення на електромагнітні муфти подається тільки в момент виконання відповідної команди на переміщення пінолі від кнопки або відліково-командного пристрою.

1.5 Аналіз конструкції двошпindelних торцешліфувальних верстатів

Двосторонній горизонтальний торцешліфувальний верстат з ЧПК мод. DDW 400 XR фірми DISKUS (Німеччина) [9] призначений для шліфування бічними гранями шліфувальних кругів заготовок з плоскопаралельними поверхнями і забезпечує високі допуски паралельності, площинності та якості поверхні (рис. 1.10). Компактна конструкція верстату з горизонтальними шліфувальними шпинделями дозволяє розподілити сили, що діють в процесі обробки, забезпечуючи при цьому дуже високу осьову жорсткість.

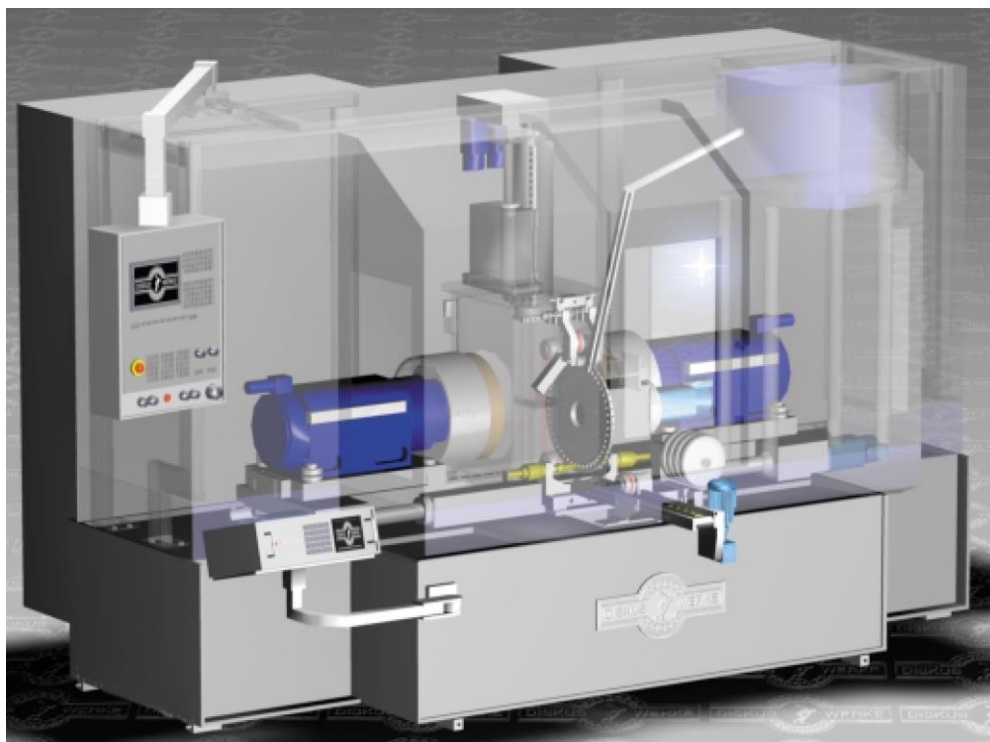


Рисунок 1.10 – Двосторонній горизонтальний торцешліфувальний верстат з ЧПК мод. DDW 400 XR фірми DISKUS (Німеччина)

Верстат забезпечує плавне регулювання швидкості шліфування залежно від умов оброблюваної заготовки (до 63 м/с), плавне регулювання подачі

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

шліфувальних кругів, а також плавне регулювання швидкості та подачі правки завдяки мехатронним привідним системам. Шпиндельні бабки мають системи стабілізації температури двигунів шпинделів та системи подачі охолоджувальної рідини через центр шпинделя. Підшипники шліфувальних шпинделів мають попередній натяг та змащені консистентним мастилом на весь термін служби.

Двосторонній горизонтальний торцешліфувальний верстат з ЧПК мод. SATURN фірми Erwin Junker Maschinenfabrik GmbH (Німеччина) [9] призначений для одночасної обробки заготовки з паралельними торцями двома вертикальними шліфувальними кругами (рис. 1.11). При наскрізному шліфуванні шліфувальні круги нахилені під невеликим кутом один до одного, так що заготовка, що проходить через зону шліфування, досягає свого кінцевого розміру лише після виходу із зони обробки. При врізному шліфуванні шліфувальні круги розташовані точно паралельно один одному і рухаються одночасно, доки не буде досягнуто кінцевого розміру. При цьому диск із тримачами заготовки неперервно обертається з низькою швидкістю.



Рисунок 1.11 – Двосторонній горизонтальний торцешліфувальний верстат з ЧПК мод. SATURN фірми Erwin Junker Maschinenfabrik GmbH (Німеччина)

Верстат забезпечує високу продуктивність, автоматичне завантаження та розвантаження, автоматичний контроль і вимірювання та легку заміну

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		22

шліфувального круга.

Станина верстата виготовлена із сірого чавуну та вирізняється своїми демпфуючими властивостями та жорсткістю на кручення.

Жорсткі шліфувальні шпиндельні головки переміщуються в попередньо натягнутих роликів танкетках, а подача по осі шпинделя здійснюється за допомогою високоточних кулькових гвинтів та сервоприводів і контролюється ЧПК по датчиках зі скляними шкалами. Поворот та нахил шліфувальних кругів регулюються вручну під час налаштування. За бажанням цього також можна досягти за допомогою системи ЧПК.

Привід шліфувального шпинделя має плавне регулювання периферійної швидкості від 15 м/с до 80 м/с. Шпиндель встановлений на прецизійних підшипниках кочення та має подачу охолоджувальної рідини.

Верстат оснащений стаціонарним інструментом для правки (голчастою пластиною або алмазним інструментом з одним лезом) або шліфувальним кругом. Налаштування шліфувального вузла відповідно до повороту та нахилу шліфувальних кругів повністю автоматично компенсується керуючою електронікою. Поворотний рух шліфувального важеля контролюється сервоприводом із системою вимірювання положення та безступінчастою швидкістю переміщення.

На вхідній та вихідній точках зони шліфування верстат оснащений двома протилежно розташованими напрямними пластинами. На вході заготовки напрямні пластини встановлюються на ширину необробленої деталі, а на вихідній – на ширину готової деталі.

Вимірювальна система індивідуально адаптується до заготовки та специфікацій замовника. Записані вимірювання зберігаються та використовуються для корекції розмірів відповідно до підготовленої стратегії вимірювання. Її два вимірювальні зонди розташовані на вихідних напрямних пластинах, а керуюча електроніка з дисплеєм інтегрована в панель керування.

Двосторонній горизонтальний торцешліфувальний верстат з ЧПК мод. DRG-585 фірми Rushan Shuangxing Machine Tool Manufacturing Co., Ltd (Китай) [10] -

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

це високоефективний спеціальний дводисковий шліфувальний верстат для задоволення вимог площинності та паралельності обох кінців оброблюваних заготовок (рис. 1.12). Його конструкція розроблена з теплоізоляцією, що успішно вирішує проблему впливу тепла від процесу шліфування на верстат. Верстат оснащений двома шліфувальними шпиндельними головками, які переміщуються по напрямних кочення в осьовому напрямку від сервоприводів з кульково-гвинтовими передачами з датчиками контролю положення. Він оснащений системою автоматичного завантаження та розвантаження. Частота правки шліфувальних кругів попередньо встановлюється. Коли кількість оброблених деталей досягає встановленого значення, шліфувальні круги автоматично відводяться для правки. Після правки шліфувальні круги автоматично повертається в положення для шліфування.

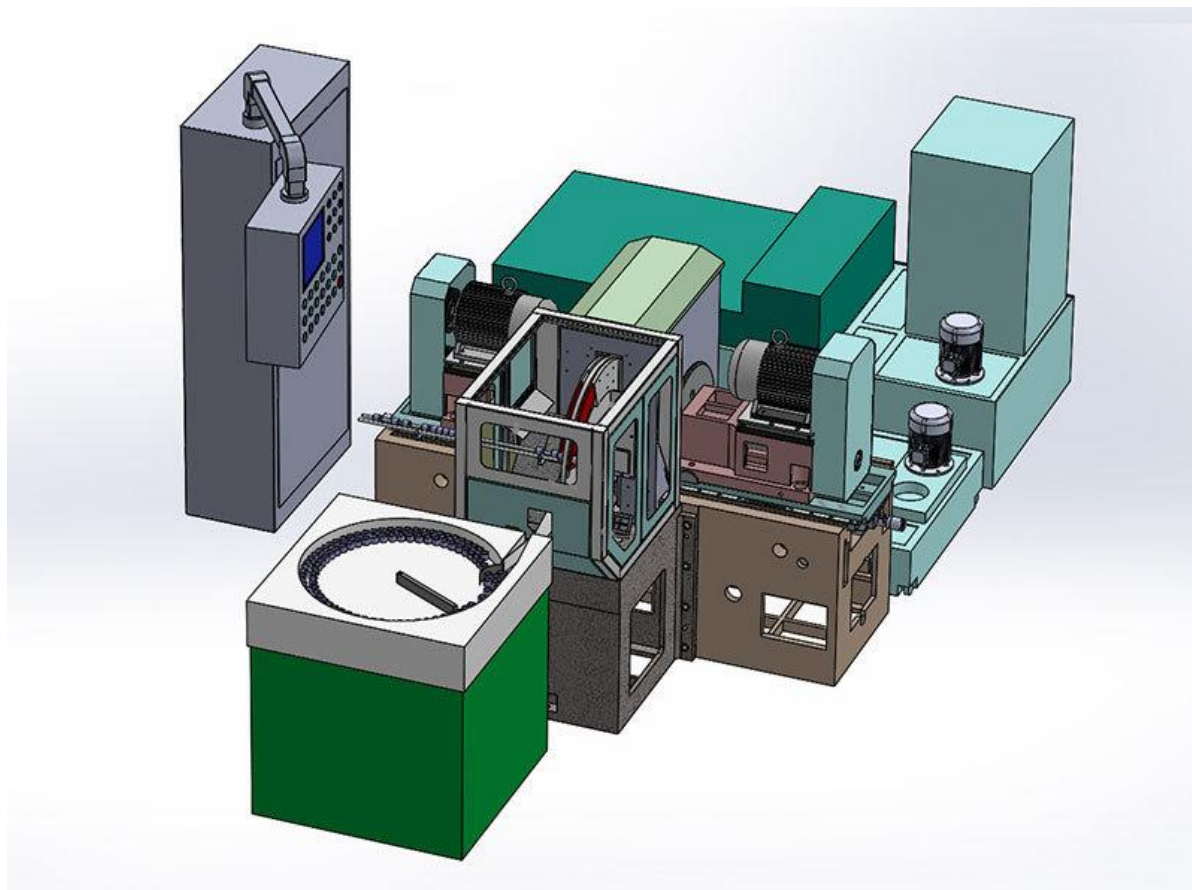


Рисунок 1.12 – Двосторонній горизонтальний торцешліфувальний верстат з ЧПК мод. DRG-585 фірми Rushan Shuangxing Machine Tool Manufacturing Co., Ltd SATURN (Китай)

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

Основні технічні характеристики розглянутих верстатів приведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.1. Основні технічні характеристики двосторонніх горизонтальних торцешліфувальних верстатів

Технічні характеристики	3342 АФ	DDW400XR	SATURN	DRG-585
Діаметр шліфувального круга, мм	450	400	660	500
Ширина шліфувального круга, мм	63	50	75	60
Частота обертання шпинделя, об/хв	1200	2400	2500	1060
Найбільша віддаль між шліфувальними кругами, мм	44	20	180	40
Потужність шпинделя, кВт	15	23	30	15
Розміри верстата, мм	2560x1760x 1980	4100x2700x 2500	3100x4000x 1650	2400x2200x 1600

1.6 Вибір напрямку розробки та завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра

Технологічна продуктивність обробки шліфуванням пропорційна швидкості різання, v , отже, частоті обертання. При збільшенні максимальної частоти обертання відносна втрата продуктивності зменшується, а отже, ефективність торцешліфувального верстату збільшується, а приведені витрати на обробку знижуються. Однак це зниження можливе лише до певних меж, оскільки при зростанні діапазону регулювання приводу неминуче збільшується вартість приводу за рахунок ускладнення конструкції. Зі збільшенням потужності зростає загальна вартість і верстата та його експлуатації, проте зменшується втрата

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

продуктивності від недовикористання режимів різання. Для двошпindelних горизонтальних торцешліфувальних верстатів технологічна продуктивність обробки шліфуванням буде залежати від конструкції шпindelної бабки. Тому розроблення конструкції шпindelної бабки таких верстатів для заданої продуктивності обробки торців деталей є важливою конструкторською задачею.

Метою роботи є конструювання шпindelної бабки двошпindelного горизонтального торцешліфувального верстата із шпindelним вузлом високої жорсткості для забезпечення відповідної продуктивності обробки та забезпечення високої точності шліфування торців деталей.

Основні завдання:

1. Дати характеристику об'єкту виробництва. Проаналізувати вимоги, які ставляться до виготовлення деталі «Ролик підшипника».

2. Провести аналіз способів шліфування торців циліндричних деталей. Встановити особливості, переваги та недоліки способів шліфування периферією круга, одним торцем круга та двостороннього торцевого шліфування

3. Описати призначення двошпindelного торцешліфувального автомату мод. 3342АФ, особливості його компоновки та кінематику ланцюгів головного руху, ручних, автоматизованих робочих і швидких подач шліфувальних бабок, диска завантаження деталей в зону обробки та правки шліфувальних кругів

4. Провести аналіз конструкції блоків шліфувальних бабок, блоку подачі виробів та блоків подач шліфувальних бабок двошпindelного торцешліфувального автомату мод. 3342АФ.

5. Аналіз конструкції двошпindelних торцешліфувальних верстатів провідних фірм-виробників та вибрати напрямок конструювання шпindelної бабки двошпindelного горизонтального торцешліфувального верстата.

6. Розробити операційну технологію обробки ролика підшипника на двошпindelному торцешліфувальному автоматі.

5. Обґрунтувати та вибрати різальний, допоміжний та контроль-вимірювальний інструменти. Провести вибір режимів різання на технологічну операцію торцевого шліфування.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

6. Провести розрахунок потужності приводу та кінематичний розрахунок приводу головного руху.

7. Провести конструювання шпиндельного вузла та здійснити його розрахунок на жорсткість.

8. Провести автоматизований проєктний і перевірочний розрахунки зубчатопасової передачі приводу шпинделя.

9. Передбачити заходи по охороні праці та безпеці життєдіяльності.

					<i>КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		27

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Типовий маршрут виготовлення роликів підшипників кочення

В загальному типовий маршрут виготовлення роликів підшипників кочення приведений на рис. 2.1. [11].

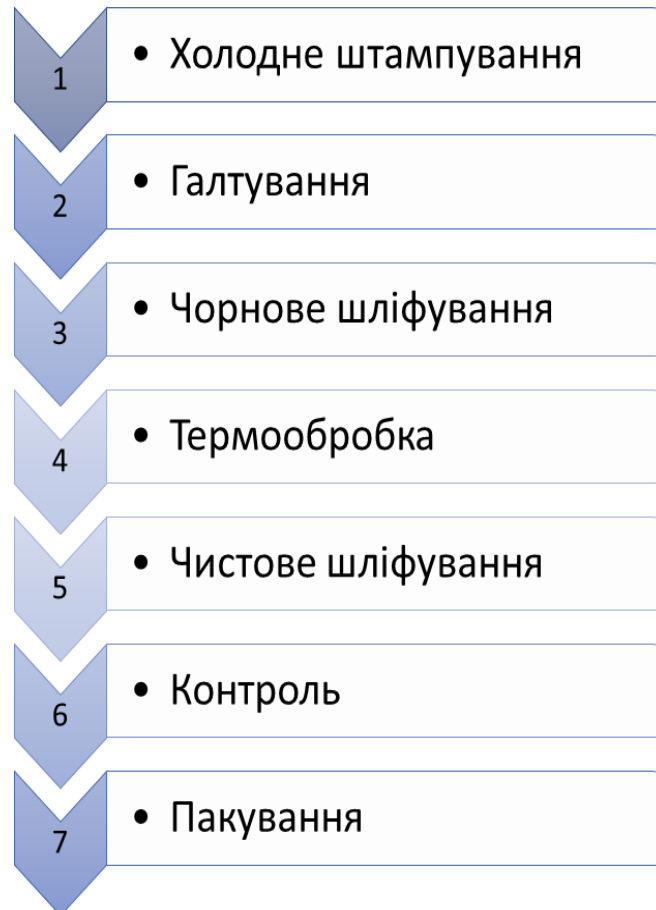


Рисунок 2.1 – Типовий маршрут виготовлення роликів підшипників кочення

Операція штампування здійснюється одним із методів штампування – холодною висадкою з каліброваних прутків. Із-за відсутності нагрівання цей метод дозволяє отримати деталі більш високої точності та із кращою якістю поверхні [11]. Штампування проводиться на автоматах холодної висадки з

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розробив	Гончарик П.І.				Технологічний розділ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Буховець В.М.					Н	28	10
Н. контр.	Кобельник В.Р.				ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м.Тернопіль			
Зате.	Крупа В.В.							

продуктивністю до 200 деталей на хвилину. При цьому коефіцієнт використання матеріалу складає біля 95%.

Операцію галтування включають в технологічний процес з метою видалення з поверхні роликів облою, заусенців, мастила та бруду після операції холодного штампування [11].

Операція чорнового шліфування поверхні кочення та торців ролика необхідна тоді, коли після холодного штампування і галтування залишається облой. Окрім цього ця операція забезпечує стабілізацію припуску на довжину та діаметр для подальшого чистового шліфування [11].

Термообробка роликів підшипників кочення включає гартування та подальший відпуск. При гартуванні ролики нагрівають в печі до температури 850°C протягом 30-50 хв. Після цього їх різко охолоджують протягом 10 хв в маслі, температура якого складає 40°C. Після гартування проводиться відпуск, в процесі якого ролики нагрівають у печі до температури 160°C протягом 4 годин з подальшим повільним охолодженням. Твердість після термообробки ролика складає 60...64 HRC [11].

Після гартування виконуються операції безцентрового чорнового та чистового шліфування в каналі поверхні кочення ролика та двостороннього торцевого шліфування торців ролика [11].

2.2 Розроблення технологічного маршруту виготовлення роликів підшипників кочення

Розроблений технологічний маршрут виготовлення роликів підшипників кочення приведений в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Технологічний маршрут виготовлення деталі

№ операції	Назва технологічної операції	Зміст технологічної операції
005	Штампувальна	Виштампувати заготовку ролика підшипника з каліброваного прутка

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

010	Галтувальна	Видалити з поверхні роликів облой та заусенці
020	Безцетрово-шліфувальна	Чорнове безцентрове шліфування циліндричної поверхні ролика
025	Безцетрово-шліфувальна	Напівчистове безцентрове шліфування циліндричної поверхні ролика
030	Торцешліфувальна	Шліфування торців ролика
040	Термічна	Загартування в індукційній печі нагріванням струмами високої частоти Проведення відпуску
045	Безцетрово-шліфувальна	Чорнове безцентрове шліфування циліндричної поверхні ролика
050	Безцетрово-шліфувальна	Чистове безцентрове шліфування циліндричної поверхні ролика
055	Торцешліфувальна	Чистове шліфування торців ролика
060	Контрольна	Провести контроль на контрольній ділянці для контролю точності і якості поверхонь

2.3 Вибір технологічних баз

При виборі технологічних установочних баз на операціях безцентрального та торцевого шліфування на технологічному обладнанні були враховані приведені на кресленні деталі «Ролик підшипника» (додаток 1) допустимі відхилення взаємного розташування поверхонь та відхилення форми [12, 13].

Схема базування для операцій безцентрального шліфування 020, 025, 045, 050 технологічного процесу приведена на рис. 2.2. Вертикальні і горизонтальні переміщення ролика вздовж осей OZ і OX та повороти навколо цих осей обмежує подвійна напрямна база позначена цифрами 1,2,3,4. Опорна база, яка позначена цифрою 5, обмежує переміщення ролика вздовж осі OY, яка на верстаті при

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

шліфуванні в каналі напрохід забезпечується конструкцією опорного пристрою.

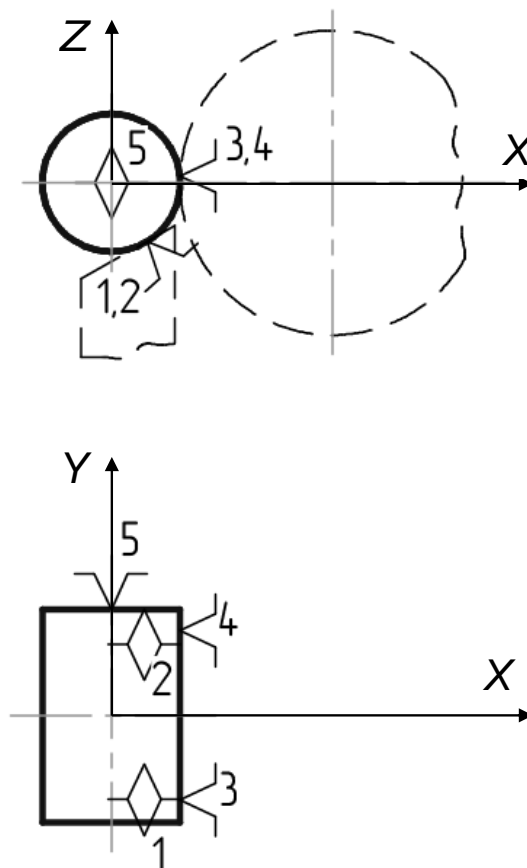


Рисунок 2.2 – Схема базування для операцій безцентрового шліфування 020, 025, 045, 050

Схема базування для операцій двостороннього торцевого шліфування 030, 060 технологічного процесу приведена на рис. 2.3.

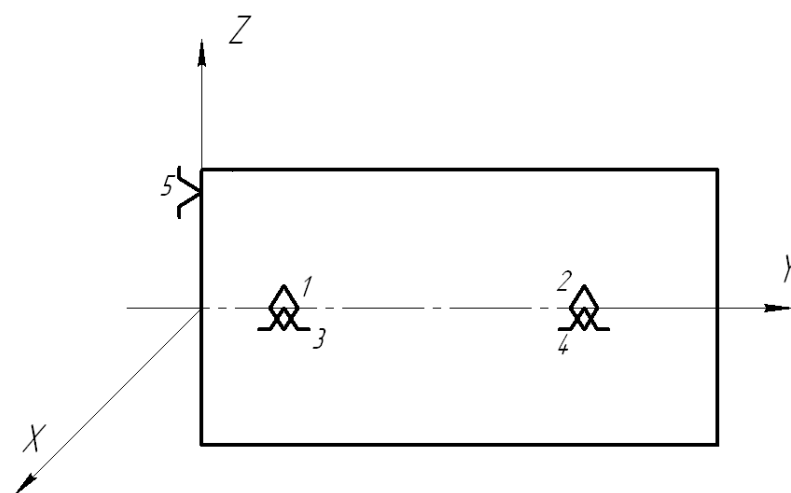


Рисунок 2.3 – Схема базування для операцій двостороннього торцевого шліфування 030, 055

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ

Арк.

31

Основна база - циліндрична поверхня (в отворі), позначена цифрами 1,2,3,4, а допоміжна – торці, які позначені цифрою 5.

2.4 Вибір металообробного обладнання

Згідно рекомендацій [12-15] здійснюємо вибір шліфувальних верстатів для виконання шліфувальних операцій. Результати вибору записуємо у табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Технологічне обладнання для реалізації технологічного процесу

Номер операції	Назва операції	Назва і модель металорізального верстату
020	Безцетрово-шліфувальна	Безцентрово-шліфувальний автомат мод. SASL 200X500 фірми Mikrosa
025	Безцетрово-шліфувальна	Безцентрово-шліфувальний верстат з ЧПК мод. KRONOS L550 фірми Mikrosa
030	Торцешліфувальна	Двошпindelний торцешліфувальний автомат мод. 3342АФ
045	Безцетрово-шліфувальна	Безцентрово-шліфувальний верстат з ЧПК мод. KRONOS L550 фірми Mikrosa
050	Безцетрово-шліфувальна	Безцентрово-шліфувальний верстат з ЧПК мод. KRONOS L550 фірми Mikrosa
055	Торцешліфувальна	Двошпindelний торцешліфувальний автомат мод. 3342АФ

2.5 Розроблення технологічних операцій двостороннього торцевого шліфування

2.5.1 Операційна технологія торцешліфувальних операцій

На основі проведеного аналізу обробки торцевих поверхонь [12-15] запропоновано операційну технологію торцешліфувальних операцій для шліфування торців ролика підшипника кочення, яка приведений у табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Операційна технологія обробки валу

Операція	Схема обробки	Зміст операції
030		Шліфувати одночасно торці витримуючи розмір $50,2_{-0,08}$ мм, забезпечивши Ra 1,25
055		Шліфувати одночасно торці витримуючи розмір $50_{-0,02}$ мм, забезпечивши Ra 0,63 та торцеве биття не більше 0,006 мм

2.5.2 Вибір різального інструменту для торцешліфувальних операцій

Для двостороннього торцевого шліфування роликів підшипників зі сталі ШХ15 необхідно забезпечити високу паралельність площин та відсутність

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

припалів. Для цього використовуються великі круги прямого профілю (Тип 1) з пористою структурою, які повинні бути «м'якими» та з великими порами для відведення стружки та підведення мастильно-охолоджувальної рідини [16]. В якості матеріалу рекомендується 25А (білий електрокорунд), що сприяє самозаточуванню при обробці сталі ШХ15 [16]. Зернистість круга рекомендується для чорнового шліфування F60, а для чистового шліфування F100 [16]. Для обробки цієї марки сталі рекомендується ступінь твердості К для уникнення засалювання круга та термічних дефектів на деталях. Вибираємо за рекомендаціями [16] тип зв'язки – керамічна та номер структури 7.

Для операції 030 Торцешліфувальна вибираємо плоский шліфувальний круг прямого профілю (тип 1) на керамічній зв'язці діаметром 450 мм, висотою 63 мм, отвором 203 мм, який виготовлений із білого електрокорунду 25А, зернистістю F60, середньої твердості К, структури 7 та з робочою швидкістю обробки 35 м/с (рис. 2.3, а) [16]. Марка шліфувального круга – 1 450x63x203 25А F60 К 7 35; виробник – Запорізький абразивний комбінат [16].

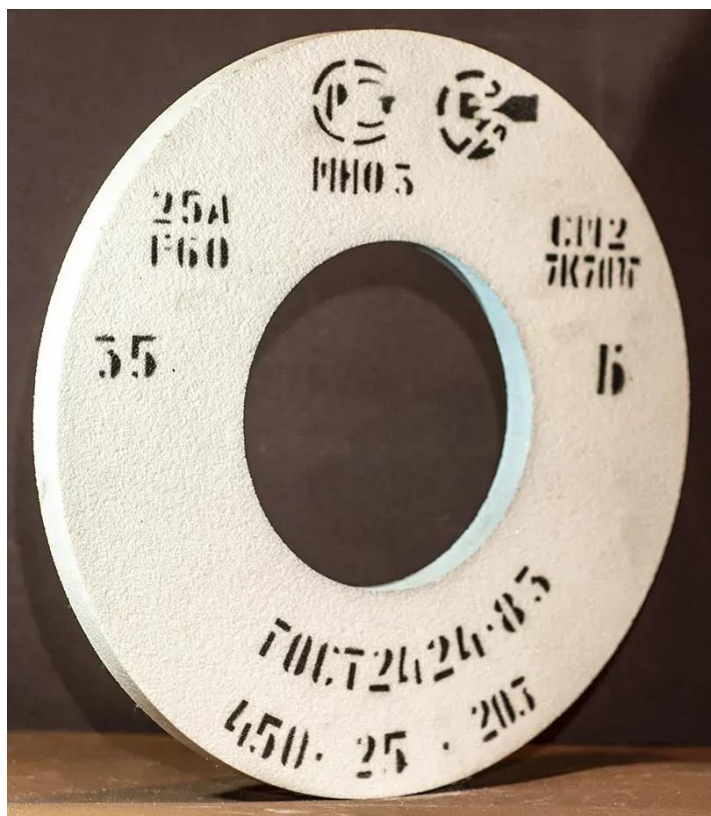


Рисунок 2.4 – Тип 1 плоского шліфувального круга для торцешліфувальних операцій 030 та 060

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		34

Для операції 055 Торцешліфувальна вибираємо плоский шліфувальний круг прямого профілю (тип 1) на керамічній зв'язці діаметром 450 мм, висотою 63 мм, отвором 203 мм, який виготовлений із білого електрокорунду 25А, зернистістю F100, середньої твердості К, структури 7 та з робочою швидкістю обробки 30 м/с (рис. 2.3) [16]. Марка шліфувального круга – 1 450x63x203 25А F100 К 7 30; виробник – Запорізький абразивний комбінат [16].

2.5.3 Вибір режимів різання для торцешліфувальних операцій

Схема двостороннього торцевого шліфування роликів підшипників та позначення режимів обробки приведені на рис. 2.5.

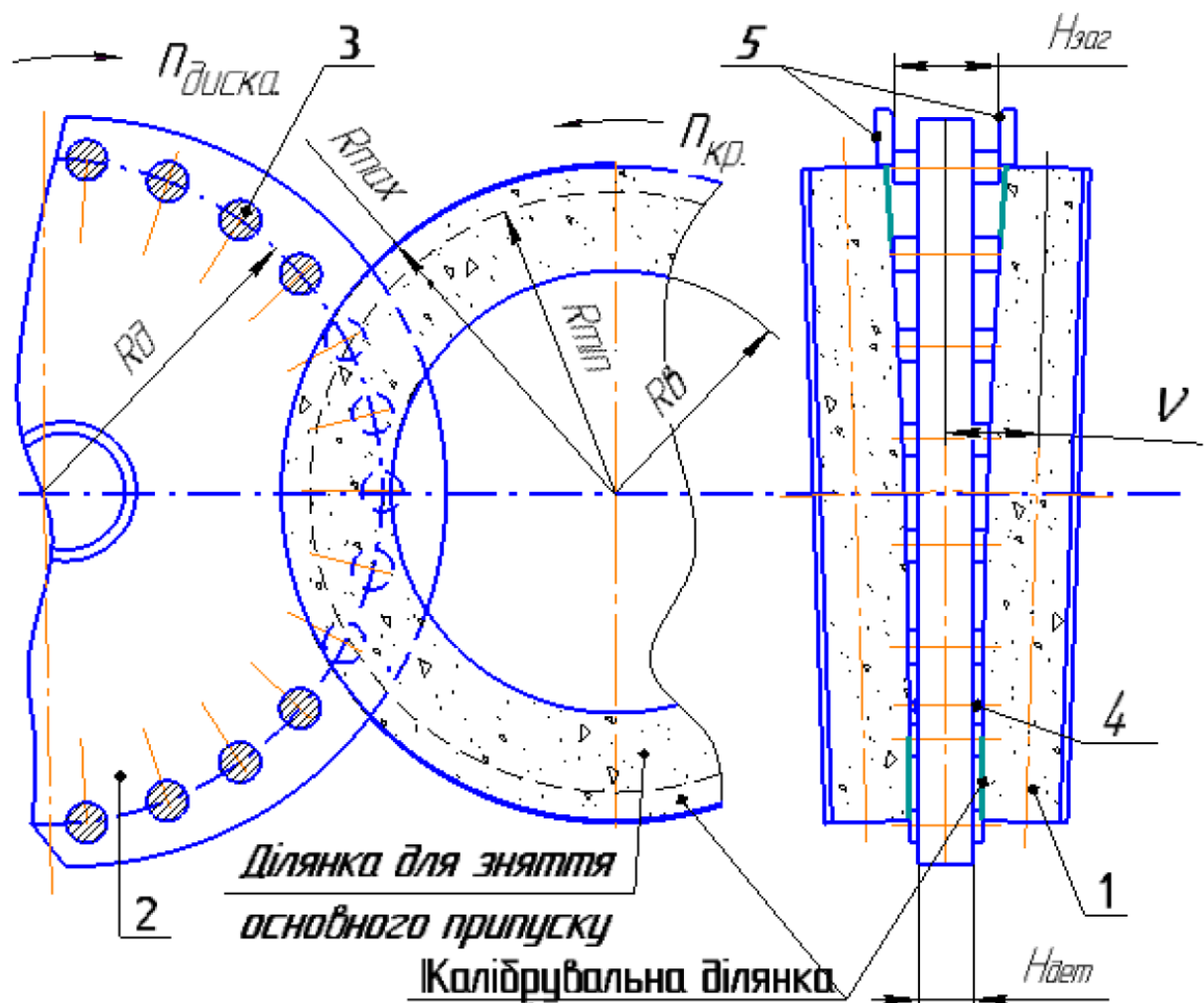


Рисунок 2.5 – Схема двостороннього торцевого шліфування роликів підшипників та позначення режимів обробки

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ

Арк.

35

Операція 030 Торцешліфувальна (чорнова)

1. Глибина різання для чорнового двостороннього торцевого шліфування – 0,15 мм на сторону.

2. Швидкість різання визначається можливостями різального інструменту. Для вибраного шліфувального круга для чорнового двостороннього торцевого шліфування швидкість різання $V=35$ м/с [16].

3. Частота обертання шліфувального круга:

$$n_{кр} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot V}{\pi D}, \text{ об/хв} \quad (2.1)$$

де V – швидкість різання;

D – діаметр шліфувального круга.

Підставивши значення у формулу (2.1), отримаємо

$$n_{кр} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 35}{\pi \cdot 450} = 1486 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо частоту обертання шпинделя шліфувального круга 1200 об/хв.

4. Фактична швидкість різання визначиться за формулою:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{кр}}{1000 \cdot 60}, \text{ м/с} \quad (2.2)$$

Підставивши значення у формулу (2.2), отримаємо

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot 450 \cdot 1200}{1000 \cdot 60} = 28,3 \text{ м/с.}$$

5. Вибираємо швидкість неперервної кругової подачі (швидкість обертання диска, що переміщає деталі) для чорнового шліфування $n_{диска} = 5$ м/хв [17].

Операція 055 Торцешліфувальна (чистова)

1. Глибина різання для чистового двостороннього торцевого шліфування – 0,1 мм на сторону.

2. Швидкість різання визначається можливостями різального інструменту. Для вибраного шліфувального круга для чистового двостороннього торцевого шліфування швидкість різання $V=50$ м/с [16].

3. Частота обертання шліфувального круга за формулою (2.1):

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

$$n_{кр} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 35}{\pi \cdot 450} = 1486 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо частоту обертання шпинделя шліфувального круга 1200 об/хв.

4. Фактична швидкість різання за формулою (2.2):

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot 450 \cdot 1200}{1000 \cdot 60} = 28,3 \text{ м/с.}$$

5. Вибираємо швидкість неперервної кругової подачі (швидкість обертання диска, що переміщає деталі) для чорнового шліфування $n_{диска} = 3 \text{ м/хв}$ [17].

2.5.4 Вибір змащувально-охолоджувальної рідини для торцешліфувальних операцій

Двостороннє торцеве шліфування вимагає високопродуктивних водорозчинних або синтетичних змащувально-охолоджувальних рідин для роботи з високим нагріванням, забезпечення змащення та одночасного видалення дрібної стружки з обох поверхонь. Водорозчинні олії (концентрація 7-10%) або спеціалізовані синтетичні рідини найкраще підходять для запобігання термічним пошкодженням та забезпечення точного високошвидкісного шліфування.

На основі аналізу ринку змащувально-охолоджувальних рідин вибираємо синтетичну змащувально-охолоджувальну рідину G-25J фірми Rustlick [18], яка розроблена спеціально для плоскошліфувальних робіт.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Структура приводу головного руху

Привод головного руху двосторонніх торцешліфувальних верстатів забезпечує обертання двох шліфувальних кругів, що одночасно обробляють протилежні сторони деталі. Найчастіше використовуються два окремі приводи (лівий і правий шпинделі), встановлені горизонтально, що дозволяє обробляти обидві торцеві поверхні одночасно. На основі аналізу конструкції приводів головного руху двосторонніх торцешліфувальних верстатів вибираємо структуру приводу головного руху, приведену на рис. 3.1.

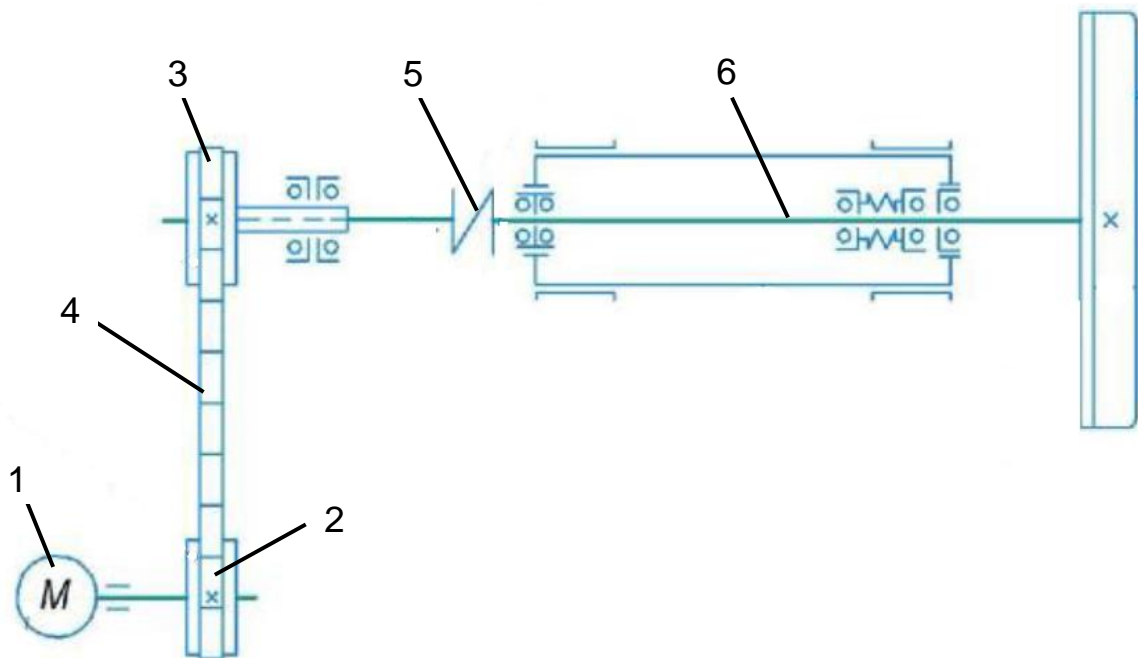


Рисунок 3.1 – Структура приводу головного руху двостороннього торцешліфувального автомату

Шліфувальний шпиндель 6 із шліфувальним кругом приводиться в дію від асинхронного електродвигуна 1 через зубчато-пасову передачу, яка складається із ведучого 2, веденого 3 шківів та зубчатого паса 4, та з'єднувальну муфту 5.

КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розробив	Гончарик П.І.			
Перевірів	Буховець В.М.			
Н. контр.	Кобельник В.Р.			
Затв.	Крупа В.В.			
Конструкторський розділ			Літ.	Аркуш
			Н	38
			ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль	

3.2 Силовий та кінематичний розрахунок приводу шліфувального круга

Потужність при шліфуванні на торцешліфувальному верстаті торцем круга [15]:

$$N = C_N V_3^r t^x b^z, \text{ кВт} \quad (3.1)$$

V_3 – швидкість обертового руху заготовки, м/хв;

t – глибина шліфування, мм;

b – ширина шліфування, яка рівна поперечному розміру поверхні шліфування заготовки, мм;

C_N, r, x, z - коефіцієнти.

За [15] коефіцієнти будуть мати значення: $C_N = 5,2, r = 0,3, x = 0,25, z = 0,3$.

Швидкість заготовки: $V_3 = 3 - 5$ м/хв [17].

Глибина шліфування для чорнового шліфування $t = 0,15$ мм.

Для заготовки з максимальним діаметром 120 мм ширина шліфування становить $b = 360$ мм.

Підставивши значення у формулу (3.1) отримаємо:

$$N = 5,2 \cdot 3^{0,3} \cdot 0,15^{0,25} \cdot 360^{0,3} = 26 \text{ кВт.}$$

Потужність електродвигуна визначиться за залежністю:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N}{\eta}, \text{ кВт} \quad (3.2)$$

де η - коефіцієнт корисної дії приводу шліфувального шпинделя.

Коефіцієнт корисної дії приводу шліфувального шпинделя:

$$\eta = \eta_{\text{зн}} \cdot \eta_n, \quad (3.3)$$

де $\eta_{\text{зн}} = 0,98$ - коефіцієнт корисної дії зубчато-пасової передачі [19];

$\eta_n = 0,99$ - коефіцієнт корисної дії підшипників шліфувального шпинделя [20].

Підставивши значення у (3.3) отримаємо:

$$\eta = 0,98 \cdot 0,99 = 0,97.$$

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

Тоді потужність електродвигуна за (3.2)

$$N_{\text{дв}} = \frac{26}{0,97} = 26,8 \text{ кВт.}$$

Розраховуємо частоту обертання шпинделя:

$$n_{\text{кр}} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot V}{\pi D}, \text{ об/хв} \quad (3.4)$$

де V – швидкість різання;

D – діаметр шліфувального круга.

Швидкість різання для вибраного шліфувального круга марки 1 450x63x203 25A F60 K 7 35 $V=35$ м/с [16].

Підставивши значення у формулу (3.4), отримаємо:

$$n_{\text{кр}} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 35}{\pi \cdot 450} = 1486 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо частоту обертання шліфувального круга $n_{\text{кр}} = 1500$ об/хв.

За визначеною необхідною потужністю електродвигуна та частотою обертання шпинделя вибираємо привідний асинхронний електродвигун з короткозамкнутим ротором мод. 1LE1503-2AB5 IE3 фірми Siemens [21] з наступними технічними характеристиками:

- потужність при 50 Гц – 30 кВт;
- частота обертання фактична - 1500 (1470) об/хв;
- номінальна сила струму – 55 А;
- момент інерції ротора – 0,24 кг·м².

Передавальне відношення зубчато-пасової передачі:

$$i = n_{\text{кр}} / n_{\text{дв}} = 1500/1500 = 1.$$

3.3 Автоматизований розрахунок зубчато-пасової передачі

Для розрахунку основних параметрів зубчато-пасової передачі використовуємо пакет прикладних програм CAP 6.0 фірми Optibelt GmbH [22], яка є провідним виробником пасових передач в Європі.

У вікно прикладної програми CAP 6.0 (рис. 3.2) внесені наступні вихідні

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

дані для автоматизованого розрахунку: потужність, що передається зубчато-пасовою передачею $N = 30$ кВт; частота обертання ведучого зубчатого шківa 1500 об/хв; передавальне число зубчато-пасової передачі $u_{zn} = 1$; орієнтовна попередня віддаль між шківaми – $a = 900$ мм.

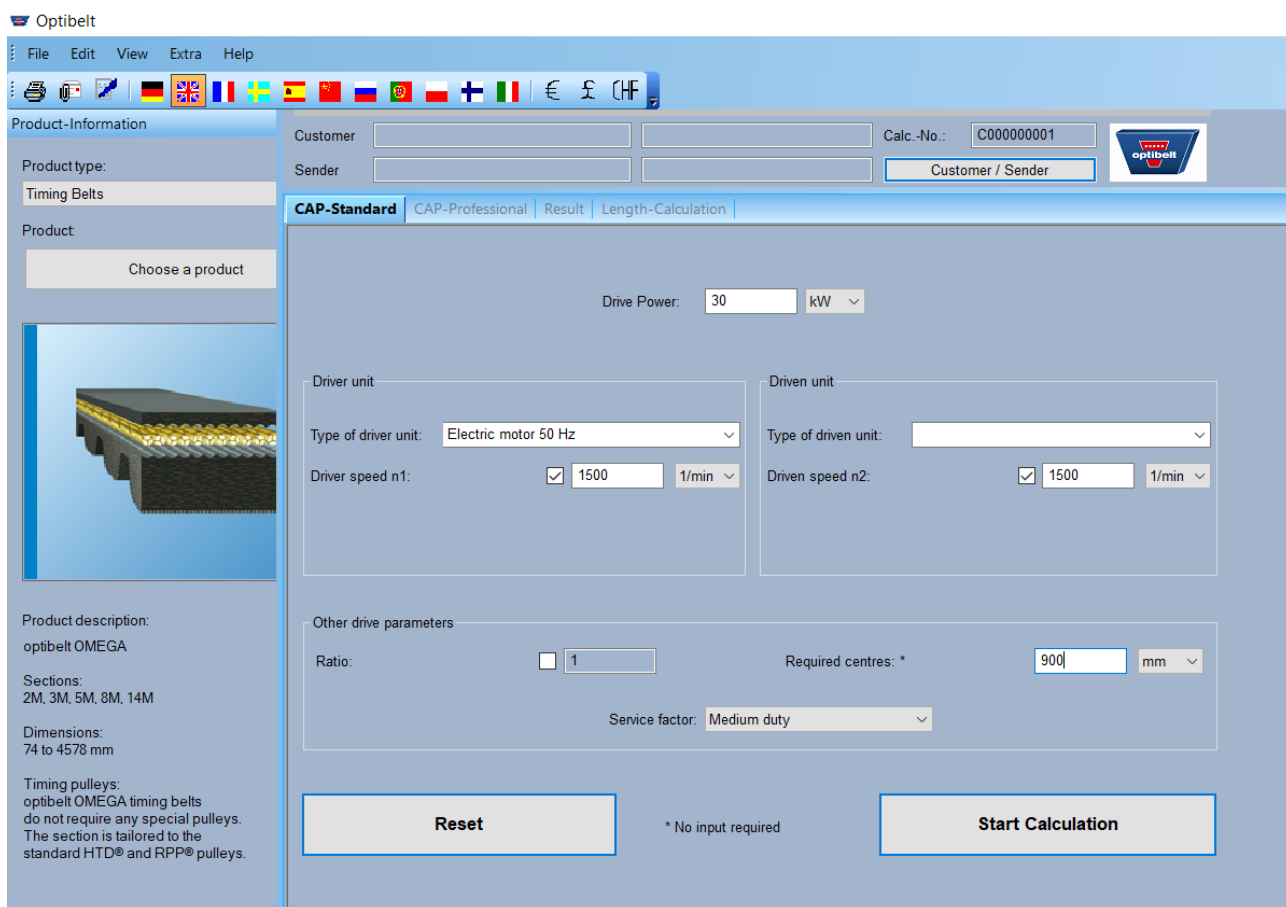


Рисунок 3.2 – Вікно у прикладній програмі CAP 6.0 із вихідними даними

Варіанти вісімнадцяти зубчато-пасових передач, розрахованих у прикладній програмі CAP 6.0, що задовольняють вихідним даним, приведені на рис. 3.3.

Із списку запропонованих варіантів зубчато-пасових передач вибираємо варіант 9. Результати розрахунку у прикладній програмі силових та геометричних параметрів цієї передачі приведені на рис. 3.4 і 3.5, а також у додатку 2.

За результатами розрахунку у прикладній програмі CAP 6.0 по дев'ятому варіанту вибрано зубчатий пас OMEGA 2590 14M 55 фірми Optibelt довжиною 2590 мм.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

Optibelt

File Edit View Extra Help

Product-Information

Product type: Timing Belts

Product: Choose a product

Customer: Calc.-No.: C00000001

Sender: Customer / Sender

CAP-Standard | CAP-Professional | **Result** | Length-Calculation

General view | Details | result list

N	Section	Lw [m...]	b [m...]	a [m...]	z1	d1 [m...]	z2	d2 [m...]	n2 [1/mi...]	v [m...]	i	c2	Price [€]
1	OMEGA 8M	2248	85.00	900	56	143	56	143	1500	11.20	1.00	1.73	---
2	OMEGA 8M	2272	85.00	880	64	163	64	163	1500	12.80	1.00	1.93	---
3	OMEGA 8M	2400	85.00	912	72	183	72	183	1500	14.40	1.00	2.12	---
4	OMEGA 8M	2400	85.00	880	80	204	80	204	1500	16.00	1.00	2.31	---
5	OMEGA 14M	2310	85.00	917	34	152	34	152	1500	11.90	1.00	1.84	---
6	OMEGA 14M	2310	85.00	903	36	160	36	160	1500	12.60	1.00	2.05	---
7	OMEGA 14M	2310	85.00	889	38	169	38	169	1500	13.30	1.00	2.19	---
8	OMEGA 14M	2310	85.00	875	40	178	40	178	1500	14.00	1.00	2.29	---
9	OMEGA 14M	2590	55.00	903	56	250	56	250	1500	19.60	1.00	1.89	---
10	OMEGA 14M	2100	115.00	854	28	125	28	125	1500	9.80	1.00	1.72	---
11	OMEGA 14M	2310	115.00	952	29	129	29	129	1500	10.15	1.00	1.85	---
12	OMEGA 14M	2310	115.00	945	30	134	30	134	1500	10.50	1.00	1.99	---
13	OMEGA 14M	2800	55.00	952	64	285	64	285	1500	22.40	1.00	2.07	---
14	OMEGA 14M	2310	115.00	931	32	143	32	143	1500	11.20	1.00	2.26	---
15	OMEGA 14M	2450	85.00	917	44	196	44	196	1500	15.40	1.00	2.49	---
16	OMEGA 14M	2800	55.00	896	72	321	72	321	1500	25.20	1.00	2.22	---
17	OMEGA 14M	2450	85.00	889	48	214	48	214	1500	16.80	1.00	2.67	---
18	OMEGA 14M	2800	55.00	840	80	357	80	357	1500	28.00	1.00	2.34	---

Product description: optibelt OMEGA

Sections: 2M, 3M, 5M, 8M, 14M

Dimensions:

Рисунок 3.3 – Вікно варіантів зубчато-пасових передач, розрахованих у прикладній програмі CAP 6.0

Optibelt

File Edit View Extra Help

Product-Information

Product type: Timing Belts

Product: Choose a product

Customer: Calc.-No.: C00000001

Sender: Customer / Sender

CAP-Standard | CAP-Professional | **Result** | Length-Calculation

General view | Details | result list

The Drive requires

- Optibelt OMEGA Timing Belts 2590 14M 55
- Optibelt-ZRS Timing belt pulley TB 56-14M-55
- Optibelt-TB taper bush 3020 (Bore-diameter 25-75 mm)
- Optibelt-ZRS Timing belt pulley TB 56-14M-55
- Optibelt-TB taper bush 3020 (Bore-diameter 25-75 mm)

Total price:

Type of driver unit: Electric motor 50 Hz

Driver speed n1: 1500 1/min

Driver power: 30 kW

Type of driven unit:

Driven speed n2: 1500 1/min

Actual centres: 903 mm

Tensioning recommendations

	new belts	used belts
Static belt tension:	968 N	842 N
Load/Deflection tension gauge	88 N	77 N
Deflection:	18.06 mm	18.06 mm
optibelt TT frequency tester (1 Hz - 600 Hz)	23.23 1/s	21.66 1/s

PDF-printing

Our 'General Conditions of Sale' are applicable.

Result optimized for: Price

Рисунок 3.4 – Вікно у прикладній програмі CAP 6.0 із результатами розрахунку силових параметрів

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

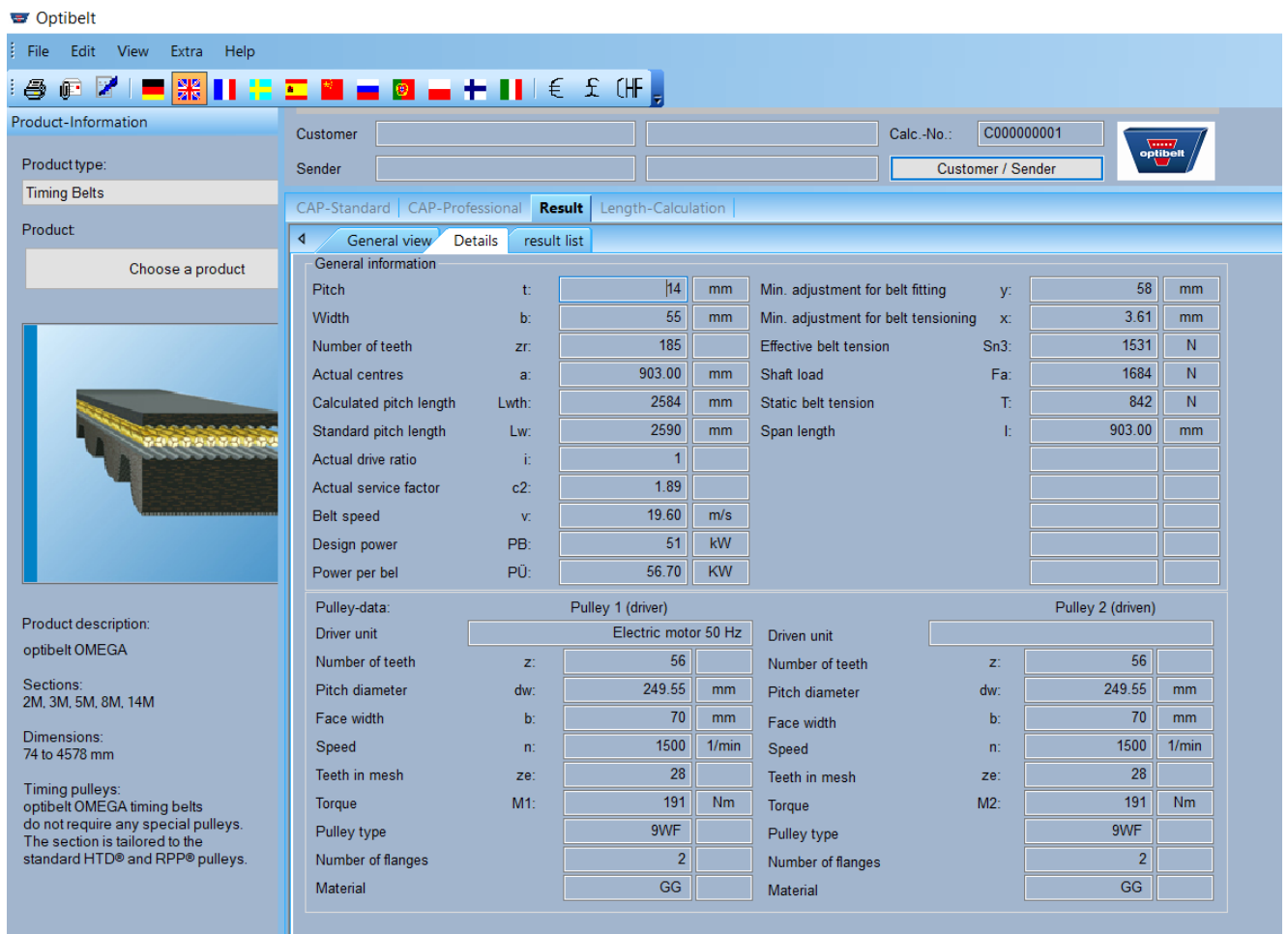


Рисунок 3.5 – Вікно у прикладній програмі CAP 6.0 із результатами розрахунку геометричних параметрів

Розраховані у прикладній програмі параметри зубчато-пасової передачі:

- ширина пасу – $b=55$ мм;
- крок пасу – $t=14$ мм;
- число зубів ведучого шківa – $Z_1=56$;
- число зубів веденого шківa – $Z_2=56$;
- міжосьова віддаль між шпинделем і валом електродвигуна – $a = 900$ мм;
- ширина шківів – $B=70$ мм;
- ділильний діаметр ведучого шківa – $D_1 = 250$ мм;
- ділильний діаметр веденого шківa – $D_2 = 250$ мм;
- швидкість паса – $V=19,6$ м/с;
- крутний момент на ведучому шківі – 191 Н·м.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3.4 Проектування шпиндельного вузла шліфувальної бабки

3.4.1 Вибір компоувальної схеми шпиндельного вузла та типу опор

На вибір компоувальної схеми шпиндельного вузла впливає його максимальна частота обертання, яка для шпинделя шліфувальної бабки $n_{\max}=1500$ об/хв. За рекомендаціями приведеними у [20], вибрано компоувальну схему шпиндельного вузла (рис. 3.6). Для даної компоувальної схеми параметр швидкохідності $d_{n_{\max}} \cdot 10^5 = 2,5-4,0$ мм/хв [20].

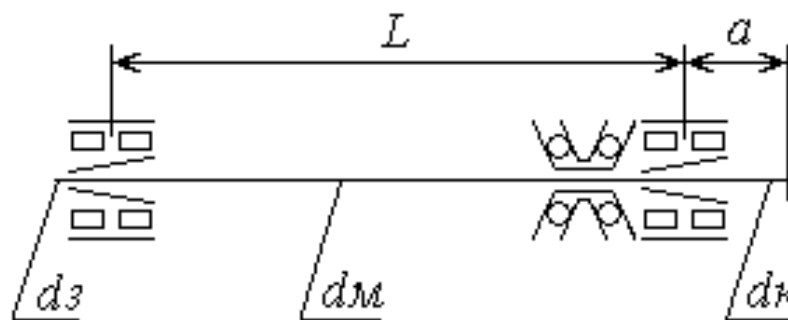


Рисунок 3.6 – Компоувальна схема шпиндельного вузла шліфувальної бабки

Шпиндельний вузол у відповідності до вибраної компоувальної схеми має передню опору, яка складається із радіального дворядного роликового підшипника серії 3182100 для сприйняття радіального навантаження та упорно-радіального кулькового дворядного підшипника серії 178800. Задня опора виконана плаваючою та містить радіальний дворядний роликовий підшипник серії 3182100 для сприйняття радіального навантаження.

Для вибору діаметра шпинделя d в передній опорі в першому наближенні із умови забезпечення його жорсткості використаємо співвідношення [20]:

$$\frac{N}{D} = 0,23 \div 0,35 \quad (3.5)$$

Із залежності (3.5) діаметр шпинделя в передній опорі:

$$d = \frac{N}{0,23 \div 0,25} = \frac{30}{0,23 \div 0,25} = 130,5...86 \text{ мм.}$$

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

Виходячи із конструктивних міркувань приймемо діаметр шпинделя в передній опорі $d_n = 130$ мм та діаметр шпинделя в задній опорі $d_3 = 120$ мм

Визначаємо параметр швидкохідності шпиндельного вузла

$$dn_{max} = 130 \cdot 1500 = 1,95 \cdot 10^5 \text{ мм/хв.}$$

Отже, компоувальна схема шпиндельного вузла вибрана правильно.

Характеристики вибраних радіальних дворядних роликкових підшипників (рис. 3.7, а) передньої та задньої опор приведені в табл. 3.1 [23].

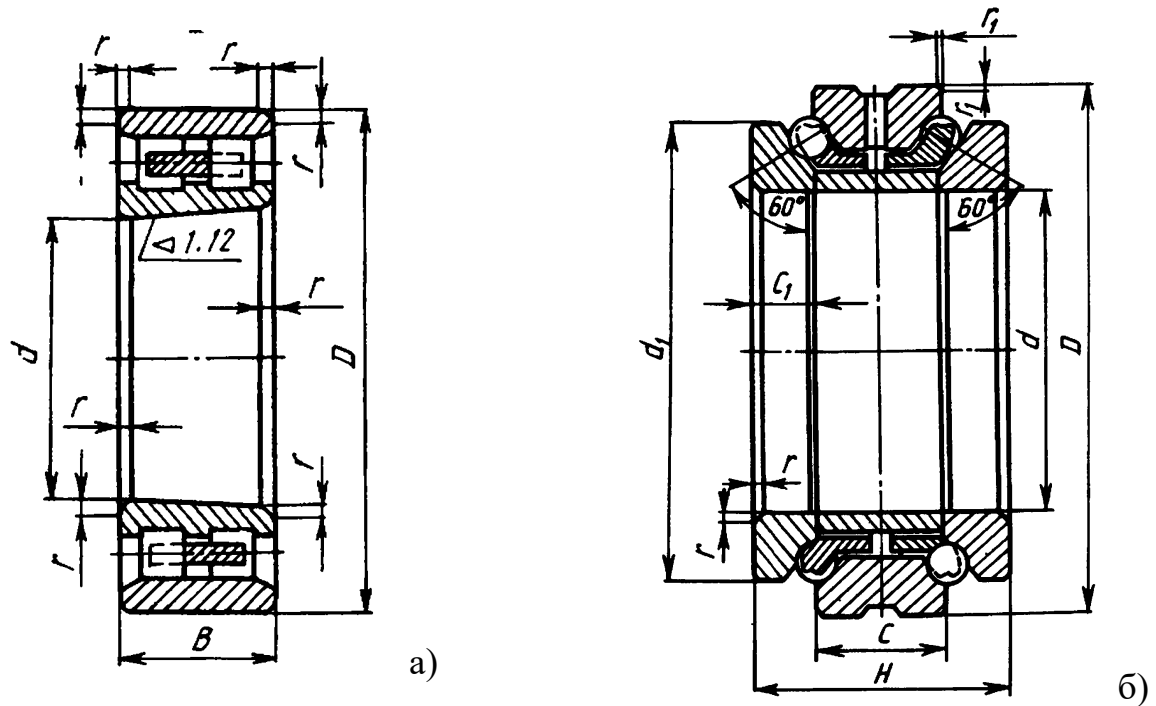


Рисунок 3.7 – Геометричні параметри радіального дворядного роликкового підшипника (а) та упорно-радіального кулькового дворядного підшипника (б)

Таблиця 3.1. Характеристики радіальних дворядних роликкових підшипників

№ з/п	Назва параметру	Значення параметру	
		3182126К	3182124К
1.	Внутрішній діаметр d , мм	130	120
2.	Зовнішній діаметр D , мм	200	180
3.	Ширина підшипника B , мм	52	46
4.	Динамічна вантажопідйомність C_{dyn} , кН	255	204
5.	Статична вантажопідйомність C_0 , кН	250	204
6.	Максимальна частота обертання n_{max} , об/хв	2800	3200

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ

Арк.

45

Характеристики вибраного упорно-радіального кулькового дворядного підшипника (рис. 3.7, б) передньої опори моделі 178826 [24]:

- внутрішній діаметр $d = 130$ мм;
- зовнішній діаметр $D = 200$, мм;
- ширина підшипника $B = 84$ мм;
- ширина зовнішнього кільця $C = 42$ мм;
- динамічна вантажопідйомність $C_{dyn} = 118$ кН;
- статична вантажопідйомність $C_0 = 260$ кН.

За рекомендаціями [20] міжосьова відстань:

$$l = (3 \div 5)d = (3 \div 5) \cdot 130 = 390 \div 650 \text{ мм.}$$

Приймаємо $l = 520$ мм.

Враховуючи конструкцію планшайби із шліфувальним кругом та вбудовані ущільнення виліт шпинделя приймаємо $a = 130$ мм.

3.4.2 Визначення жорсткості підшипників опор шпиндельного вузла

Радіальна жорсткість роликового дворядного підшипника визначається за формулою [20]:

$$C_r = \frac{F_r}{\delta_r' + \delta_r''}, \quad (3.6)$$

де F_r - сила, що діє на опорі (реакція опори), Н;

δ_r' - податливість тіл кочення та кілець у роликовому підшипнику, мм;

δ_r'' - податливість на поверхнях посадки кілець підшипника, мм.

Податливість на поверхнях посадки кілець підшипника визначається за залежністю [20]:

$$\delta_r'' = \frac{4F_r K_2'}{\pi d B} \left(1 + \frac{d}{D} \right), \quad (3.7)$$

де d, D - діаметри підшипника (внутрішній і зовнішній), мм;

B – ширина підшипника, мм;

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

$K'_2 = 0,0015$ – коефіцієнт податливості, мм³/Н.

Так як сила різання при торцевому шліфуванні невелика, то навантаження на опори визначаємо виходячи із ваги конструкції шліфувального круга з планшайбою, яка складає $P = 1491$ Н.

Визначаємо радіальні реакції передньої і задньої опор шпинделя:

$$F_{r1} = \frac{P(a+l)}{l} = \frac{1491(130+520)}{520} = 1860 \text{ Н};$$

$$F_{r2} = \frac{Pa}{l} = \frac{1491 \cdot 130}{520} = 369,9 \text{ Н}.$$

Тоді за залежністю (3.7) податливість на поверхнях посадки кілець підшипника передньої і задньої опори:

$$\delta''_{r1} = \frac{4F_r K'_2}{\pi d B} \left(1 + \frac{d}{D}\right) = \frac{4 \cdot 1860 \cdot 0,0015}{3,14 \cdot 130 \cdot 50} \left(1 + \frac{130}{180}\right) = 0,00094 \text{ мм};$$

$$\delta''_{r2} = \frac{4F_r K'_2}{\pi d B} \left(1 + \frac{d}{D}\right) = \frac{4 \cdot 369,9 \cdot 0,0015}{3,14 \cdot 120 \cdot 45} \left(1 + \frac{120}{165}\right) = 0,00023 \text{ мм}.$$

Податливість тіл кочення та кілець у роликовому підшипнику визначається за залежністю [20]:

$$\delta'_r = K_\delta \cdot \delta_{r0}. \quad (3.8)$$

де δ_{r0} - контактна податливість у роликовому дворядному підшипнику;

K_δ - коефіцієнт, що враховує зазор-натяг у роликовому дворядному підшипнику.

Величина δ_{r0} визначається за залежністю [20]:

$$\delta_{r0} = \frac{0,39(0,1 \cdot F_r)^{0,91}}{1000 \cdot d^{0,84}}. \quad (3.9)$$

Величина K_δ визначається за залежністю [20]:

$$K_\delta = 0,5 + 0,067 \frac{e}{\delta_{r0}} \text{ при } \frac{e}{\delta_{r0}} < -1,2, \quad (3.10)$$

$$K_\delta = 1 + 0,6 \frac{e}{\delta_{r0}} \text{ при } \frac{e}{\delta_{r0}} \geq -1,2, \quad (3.11)$$

де e - внутрішній радіальний зазор-натяг в підшипнику опори, мм.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

При внутрішньому радіальному зазорі-натягу роликового дворядного підшипника передньої і задньої опори $e = 0$ і при $\frac{e}{\delta_{ro}} \geq -1,2$ за залежністю

(3.11):

$$K_{\delta} = 1 + 0,6 \frac{e}{\delta_{ro}} = 1 + 0 = 1.$$

За залежністю (3.9) величина δ_{ro} для передньої опори:

$$\delta_{ro1} = \frac{0,39(0,1 \cdot F_r)^{0,91}}{1000 \cdot d^{0,84}} = \frac{0,39(0,1 \cdot 1860)^{0,91}}{1000 \cdot 130^{0,84}} = \frac{45,32}{59664} \approx 0,0008 \text{ мм.}$$

За залежністю (3.9) величина δ_{ro} для задньої опори:

$$\delta_{ro2} = \frac{0,39(0,1 \cdot F_r)^{0,91}}{1000 \cdot d^{0,84}} = \frac{0,39(0,1 \cdot 369,9)^{0,91}}{1000 \cdot 120^{0,84}} = \frac{10,42}{55784} \approx 0,0002 \text{ мм.}$$

Тоді δ'_r для роликового дворядного підшипника передньої опори за (3.8):

$$\delta'_{r1} = K_{\delta} \cdot \delta_{ro1} = 1 \cdot 0,0008 \approx 0,0008 \text{ мм,}$$

для роликового дворядного підшипника задньої опори

$$\delta'_{r2} = K_{\delta} \cdot \delta_{ro2} = 1 \cdot 0,0002 = 0,0002 \text{ мм.}$$

Радіальна жорсткість роликового дворядного підшипника передньої опори за (3.6):

$$C_{r1} = \frac{F_{r1}}{\delta'_{r1} + \delta''_{r1}} = \frac{1860}{0,0008 + 0,0009} = 1,09 \cdot 10^6 \text{ Н/мм.}$$

Радіальна жорсткість роликового дворядного підшипника задньої опори за (3.6):

$$C_{r2} = \frac{F_{r2}}{\delta'_{r2} + \delta''_{r2}} = \frac{369,9}{0,0002 + 0,00023} = 0,86 \cdot 10^6 \text{ Н/мм.}$$

Осьова жорсткість упорно-радіального підшипника передньої опори визначається за залежністю [20]:

$$C_a = 7000 \cdot K_T \cdot z^{2/3} \cdot D_T^{1/3} \cdot (0,1 \cdot A_0)^{1/3} \cdot (\sin \alpha)^{5/3}, \text{ Н/мм} \quad (3.12)$$

де K_T - коефіцієнт, що враховує якість виготовлення $K_T = 0,8$ (для підшипників 4 класу точності) [20];

z - число тіл кочення, що сприймає осьову силу в одному ряду підшипника;

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

D_T – діаметр тіла кочення що сприймає осьову силу у підшипнику;

α – кут контакту підшипника, що сприймає осьову силу, $\alpha = 60^\circ$;

A_0 – сила осьового попереднього натягу, Н.

Сила осьового попереднього натягу визначається за залежністю [20]:

$$A_0 = 4,6 \cdot 10^{-11} \cdot z \cdot D_T^3 \left(\frac{d + D}{2} \right) \cdot (\sin \alpha)^2 \cdot n_{max}^2, \text{ Н.} \quad (3.13)$$

Підставивши значення у (3.13) отримаємо:

$$A_0 = 4,6 \cdot 10^{-11} \cdot 26 \cdot 16^3 \left(\frac{130 + 180}{2} \right) \cdot (\sin 60^\circ)^2 \cdot 1500^2 = 2154 \text{ Н.}$$

Тоді осьова жорсткість упорно-радіального підшипника передньої опори за залежністю (3.12):

$$C_a = 7000 \cdot 0,8 \cdot 26^{2/3} \cdot 16^{1/3} \cdot (0,1 \cdot 2154)^{1/3} \cdot (\sin 60^\circ)^{5/3} = 0,81 \cdot 10^6 \text{ Н/мм.}$$

3.4.3 Розрахунок оптимальної віддалі між опорами

Загальна податливість шпиндельного вузла складається з податливостей тіла шпинделя, податливості опор, і податливості тіла шпинделя при зсуві.

Податливість переднього кінця шліфувального шпинделя [20]:

$$K = \frac{a^2}{3E} \left[\frac{a}{I_2} + \frac{l(1-\varepsilon)}{I_1} \right] + K_1 \left[\frac{a(1-\varepsilon) + l}{l} \right]^2 + K_2(1-\varepsilon) \left(\frac{a}{l} \right)^2 + \frac{a}{GS_k} + \frac{a^2(1-\varepsilon)}{GS_m l}, \quad (3.14)$$

де l - міжопорна віддаль;

a - виліт переднього кінця шпинделя;

$E = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ – модуль пружності другого роду;

$G = 0,4E = 0,8 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ – модуль зсуву;

I_1, I_2 - осьові моменти інерції перерізу міжопорної частини шпинделя та вильоту шпинделя відповідно;

$\varepsilon = 0,4$ – коефіцієнт защемлення у передній опорі для вибраної компоновальної схеми шпиндельного вузла [20];

K_1, K_2 - податливості передньої і задньої опори відповідно;

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49

S_k, S_m - площі поперечного перерізу переднього кінця шпинделя і міжопорної частини відповідно.

Податливості передньої і задньої опори:

$$K_1 = \frac{1}{C_{r1}} = \frac{1}{1,09 \cdot 10^6} = 0,92 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н};$$

$$K_2 = \frac{1}{C_{r2}} = \frac{1}{0,86 \cdot 10^6} = 1,16 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}.$$

Осьові моменти інерції перерізу міжопорної частини шпинделя та вильоту шпинделя:

$$I_1 = \frac{\pi D_m^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 125^4}{64} = 11978149 \text{ мм}^4;$$

$$I_2 = \frac{\pi D_k^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 185^4}{64} = 57469390 \text{ мм}^4.$$

Площі поперечного перерізу переднього кінця шпинделя і міжопорної частини

$$S_m = \frac{\pi D_m^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 125^2}{4} = 12265 \text{ мм}^2;$$

$$S_k = \frac{\pi D_k^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 185^2}{4} = 526866 \text{ мм}^2.$$

Крива загальної податливості має точку перегину (екстремум), яка характеризує мінімальну податливість шпиндельного вузла (максимальну жорсткість) і має місце при певному значенні міжопорної віддалі l , яке називається оптимальним.

Для визначення l_{opt} необхідно знайти екстремум функції (3.14). Для цього рівняння (3.14) диференціюється по dl , прирівнюється до нуля і вирішується відносно l .

Продиференціюємо рівняння (3.14) по dl і прирівняємо до нуля:

$$\frac{dK}{dl} = \frac{a^2 (1 - \varepsilon)}{3E I_1} - 2K_1 \frac{[a(1 - \varepsilon) + l]a(1 - \varepsilon)}{l^3} - 2K_2(1 - \varepsilon) \left(\frac{a^2}{l^3} \right) - \frac{a^2(1 - \varepsilon)}{GS_m l^2} = 0.$$

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

В процесі перетворення помножимо ліву і праву частини на $\frac{3EI_1 l^3}{a^2(1-\varepsilon)}$ і

отримаємо:

$$l^3 - l \left(\frac{6EI_1 K_1}{a} + \frac{3EI_1}{GS_m} \right) - 6EI_1 [K_1(1-\varepsilon) + K_2] = 0. \quad (3.15)$$

Введемо наступні позначення:

$$l^3 = z; \quad \left(\frac{6EI_1 K_1}{a} + \frac{3EI_1}{GS_m} \right) = A; \quad 6EI_1 [K_1(1-\varepsilon) + K_2] = B.$$

Тоді отримаємо

$$\begin{aligned} l^3 - Al - B &= 0; \\ l^3 &= Al + B. \end{aligned} \quad (3.16)$$

Визначимо значення коефіцієнтів A і B :

$$A = \left(\frac{6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^7 \cdot 0,92 \cdot 10^{-6}}{130} + \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^7}{0,8 \cdot 10^5 \cdot 12265} \right) = 0,108 \cdot 10^6 \text{ мм}^2;$$

$$B = 6 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,19 \cdot 10^7 (0,92 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - 0,4) + 1,16 \cdot 10^{-6}) = 24,4 \cdot 10^6 \text{ мм}^2.$$

Розв'яжемо дане рівняння третього ступеня аналітичним способом, застосувавши формулу Кардана:

$$l_{opt} = u + v, \quad (3.17)$$

де

$$u = \sqrt[3]{\frac{B}{2} + \sqrt{\frac{B^2}{4} - \frac{A^3}{27}}}; \quad (3.18)$$

$$v = \sqrt[3]{\frac{B}{2} - \sqrt{\frac{B^2}{4} - \frac{A^3}{27}}}. \quad (3.19)$$

Підставивши значення у (3.18) та (3.19) отримаємо:

$$u = \sqrt[3]{\frac{24,4 \cdot 10^6}{2} + \sqrt{\frac{(24,4 \cdot 10^6)^2}{4} - \frac{(0,108 \cdot 10^6)^3}{27}}} = 281 \text{ мм};$$

$$v = \sqrt[3]{\frac{24,4 \cdot 10^6}{2} - \sqrt{\frac{(24,4 \cdot 10^6)^2}{4} - \frac{(0,108 \cdot 10^6)^3}{27}}} = 127 \text{ мм}.$$

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		51

Підставивши значення у (3.17) отримаємо:

$$l_{omm} = 281 + 127 = 408 \text{ мм.}$$

Із конструктивних міркувань приймаємо $l = 520 \text{ мм.}$

3.4.4 Розрахунок радіальної жорсткості шпиндельного вузла

Радіальна жорсткість шпиндельного вузла визначається за залежністю:

$$C = \frac{1}{\frac{a^2}{3E} \left[\frac{a}{I_2} + \frac{l(1-\varepsilon)}{I_1} \right] + K_1 \left[\frac{a(1-\varepsilon)+l}{l} \right]^2 + K_2(1-\varepsilon) \left(\frac{a}{l} \right)^2 + \frac{a}{GS_\kappa} + \frac{a^2(1-\varepsilon)}{GS_M l}}. \quad (3.20)$$

Позначимо

$$K' = \frac{a^2}{3E} \left[\frac{a}{I_2} + \frac{l(1-\varepsilon)}{I_1} \right] + K_1 \left[\frac{a(1-\varepsilon)+l}{l} \right]^2;$$

$$K'' = K_2(1-\varepsilon) \left(\frac{a}{l} \right)^2 + \frac{a}{GS_\kappa} + \frac{a^2(1-\varepsilon)}{GS_M l}.$$

Підставивши значення знайдемо

$$K' = \frac{130^2}{3 \cdot 2 \cdot 10^5} \left[\frac{130}{5,74 \cdot 10^7} + \frac{520 \cdot (1-0,4)}{1,2 \cdot 10^7} \right] + 0,92 \cdot 10^{-6} \left[\frac{130(1-0,4) + 520}{520} \right]^2 =$$

$$= 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н;}$$

$$K'' = 1,16 \cdot 10^{-6} \cdot (1-0,4) \left(\frac{130}{520} \right)^2 + \frac{130}{0,8 \cdot 10^5 \cdot 526866} + \frac{130^2(1-0,4)}{0,8 \cdot 10^5 \cdot 12265 \cdot 520} =$$

$$= 0,035 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н;}$$

Підставивши значення у (3.20) знайдемо радіальну жорсткість шпиндельного вузла:

$$C = \frac{1}{K' + K''} = \frac{1}{2,4 \cdot 10^{-6} + 0,035 \cdot 10^{-6}} = 4,1 \cdot 10^5 \text{ Н/мм} = 410 \text{ Н/мкм.}$$

Радіальна податливість шпиндельного вузла

$$K = \frac{1}{C} = \frac{1}{4,1 \cdot 10^5} = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н.}$$

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

3.4.5 Розрахунок власної частоти та амплітуди коливань шпинделя

Власна частота коливань шпинделя [19]:

$$w_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{m_0 K}}, \quad (3.20)$$

де $K = \frac{1}{C} = 2,4 \cdot 10^{-6}$ мм/Н – загальна радіальна податливість шпиндельного вузла;

m_0 - приведена маса шпиндельного вузла.

Приведена маса шпиндельного вузла визначається за залежністю:

$$m_0 = \frac{Q_2}{g} + 0,5 \frac{Q_m}{g} \frac{K_m}{K}, \quad (3.21)$$

де $Q_2 = P = 1491$ Н - сила від ваги шліфувального круга і планшайби;

$Q_m = 6,24$ Н – сила від ваги міжопорної частини шпинделя;

K_m - податливість системи в точці прикладання сили Q_m .

Податливість системи в точці прикладання сили Q_m визначиться за залежністю:

$$K_m = \frac{l^3}{48EI_1} + \frac{C_{r1} + C_{r2}}{4C_{r1}C_{r2}}, \quad (3.22)$$

Підставивши значення у (3.22) отримаємо:

$$K_m = \frac{520^3}{48 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 1,2 \cdot 10^7} + \frac{1,09 \cdot 10^6 + 0,86 \cdot 10^6}{4 \cdot 1,09 \cdot 10^6 \cdot 0,86 \cdot 10^6} = 0,867 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

Тоді за (3.21) приведена маса шпиндельного вузла:

$$m_0 = 0,5 \frac{6,24}{9810} \cdot \frac{0,867 \cdot 10^{-6}}{2,4 \cdot 10^{-6}} = 0,15 \text{ Нс}^2/\text{мм}.$$

Підставивши значення у (3.20) отримаємо власну частоту коливань шпинделя

$$w_0 = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{1}{0,15 \cdot 2,4 \cdot 10^{-6}}} = 268 \text{ Гц}.$$

Амплітуда коливань шпинделя [19]:

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		53

$$A_0 = \frac{1}{m_0 \sqrt{\left(\frac{1}{m_0 K} - w_0^2\right)^2 + \frac{h^2}{m_0^2} w_0^2}}, \quad (3.23)$$

де $h = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{m_0}{K}}$ - коефіцієнт демпфування;

λ - логарифмічний декремент затухання коливань.

Для шпindelних вузлів на роликових підшипниках $\lambda \approx 0,3 \div 0,4$ [19].

Приймаємо $\lambda = 0,35$.

Підставивши значення, отримаємо:

$$h = \frac{0,35}{3,14} \sqrt{\frac{0,15}{2,4 \cdot 10^{-6}}} = 27,5.$$

Підставивши значення у (3.23), отримаємо амплітуду коливань шпинделя

$$W_{yc} = \frac{1}{0,15 \sqrt{\left(\frac{1}{0,15 \cdot 2,4 \cdot 10^{-6}} - 268^2\right)^2 + \frac{27,5^2}{0,15^2} \cdot 268^2}} = 2,47 \cdot 10^{-6} \text{ мм.}$$

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Характеристика умов праці, виробничого середовища на дільниці абразивної обробки

Характеристика умов праці, виробничого середовища на дільниці абразивної обробки приведені у табл. 4.1. У цій таблиці також приведені заходи і засоби захисту від вказаних факторів, для нормалізації параметрів [25-27].

Таблиця 4.1 Характеристика умов праці

№ з/п	Характеристика умов праці, виробничого середовища	Нормовані параметри	Заходи і засоби захисту від згаданих факторів, для нормалізації параметрів
1.	Основні небезпечні та шкідливі фактори: 1) рухомі машини та механізми; 2) підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; 3) небезпечний рівень напруги в електричному ланцюгу, замикання якого може відбутися через тіло людини; 4) недостатня освітленість природного світла.		1). Відводити спеціальні місця для їх руху, огорожувати, ставити сигнальні лампи, а щоб вони були на висоті, на якій людину вони б не могли задіти. 2). Встановити у приміщенні витяжні вентиляційні установки та вентиляційні камери, респіратори, місцеві відсмоктувачі. 3). В першу чергу необхідно щоб вони були заземлені, а також ізольовані від механічних впливів.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розробив	Гончарик П.І.				Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Окіпний І.Б.					Н	55	8
Н. контр.	Кобельник В.Р.				ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль			
Затв.	Крупа В.В.							

	5) понижена температура повітря зимою; б) підвищена температура повітря в термічному відділенні		4). Штучна освітлювальна установка. 5). Повітряно-опалювальні агрегати. б). Припливно-витяжна вентиляція, автомати з газованою водою, спецодяг.
2.	Категорія праці за важкістю.	Пб	
3.	Параметри мікроклімату: а) відносна вологість, % б) температура, КС в) швидкість руху повітря, м/с	40-60 13 - 23 °С Не більше 0,2	Параметри мікроклімату відповідають нормам
4.	Освітленість: а) у виробничому приміщенні; б) на робочому місці.	250 Лк 2500 Лк	Освітлювальна установка Місцеве освітлення
5.	Вентиляція		Припливно-витяжна
6.	Категорія приміщення за ступенем небезпеки ураження електричним струмом		Особливо небезпечне
7.	Захист від ураження електричним струмом		Ізольовані штанги всіх видів, ізольовані кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги, пристрої для створення безпечних умов праці під час проведення випробувань і

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ

Арк.

56

			вимірювань в електроустановках (показчики напруги для фазування, показчики пошкодження кабелів та ін.) Діелектричні рукавички, діелектричне взуття, діелектричні килими, ізолювальні підставки, ізолювальні накладки, ізолювальні ковпаки, штанги для перенесення і вирівнювання потенціалу, сигналізатори напруги, захисні огороження (щити, ширми), переносні заземлення, плакати і знаки безпеки, інші засоби захисту.
--	--	--	--

4.2 Правила техніки безпеки при експлуатації шліфувальних кругів

Однією з основних причин нещасних випадків під час шліфування є розрив шліфувального круга під час роботи. Для того щоб запобігти розриву, необхідно виконувати всі вимоги, передбачені державними стандартами.

Шліфувальні круги повинні бути ретельно перевірені; простукуванням перевіряють наявність тріщин. Інструмент повинен зберігатися в коморах на стелажах, полицях або ящиках залежно від його форми та розмірів [25-27].

При транспортуванні інструменту зі складу до робочого місця повинні бути вжиті необхідні запобіжні заходи. На робочому місці круги повинні зберігатися

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		57

окремо від металевого інструменту та деталей [25-27].

Перед установкою на верстат круги випробовують на міцність шляхом обертання при швидкості, що в 1,5 рази перевищує встановлену колову робочу швидкість. Тривалість цих випробувань становить для кругів діаметром 500 мм і більше – 7 хв [25-27].

Круги, що зазнали додаткової механічної або хімічної обробки, повинні бути випробувані протягом 10 хв при обертанні зі швидкістю, що на 60% перевищує робочу швидкість [25-27].

При встановленні на випробувальний верстат круг має бути закріплений фланцями. Розміри фланців вибираються за стандартами. Після випробування на міцність на кожному крузі має бути зроблена відповідна позначка, що містить порядковий номер круга за книгою, дату випробування та умовний знак або підпис особи, відповідальної за випробування. Установка круга без позначки заборонена.

При встановленні круга на верстат особлива увага має бути приділена кріпленню його на шпинделі. Щоб уникнути розриву кругів через неправильне їх кріплення, необхідно дотримуватися таких правил: між кругом і фланцем повинна встановлюватися прокладка з еластичного матеріалу, шкіри, гуми, картону, товщиною від 0,5 до 3 мм. Діаметр прокладки повинен бути на 3-5 мм більше діаметра фланця; необхідно перевірити, щоб поверхні кругів, фланців та прокладок були абсолютно чистими [25-27].

Шліфувальні круги на верстаті повинні бути огорожені захисними кожухами, виготовленими з сталі. Товщина стінок захисного кожуха залежить від його матеріалу, діаметра та висоти шліфувального круга і знаходиться в межах від 4 до 36 мм для кругів, що працюють на швидкостях до 35 м/с [25-27].

Розташування та найбільші допустимі кути розкриття захисного кожуха вибираються в залежності від типу верстата. У разі, якщо кут розкриття над горизонтальною площиною більше 30°, на кожусі повинен бути встановлений пересувний запобіжний козирок [25-27].

Кожний круг перед установкою на верстат має бути відбалансований.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Перед початком роботи круг, встановлений на шпинделі верстата, піддають короткочасному (1-2 хв) обертанню вхолосту на робочій швидкості з обов'язковим захисним кожухом. Колова швидкість круга має перевищувати допустиму, позначену на його торці [25-27].

Подача деталі на круг повинна здійснюватись плавно без ривків та різкого натиску.

Охолодну рідину потрібно очищати від сторонніх домішок, при цьому на верстаті має бути передбачений пристрій для рівномірного розподілу рідини по поверхні круга. Після роботи круг просушують у природних умовах. Не допускається залишати круг або його частини, зануреними у рідину.

При зменшенні діаметра круга у процесі його зносу, число обертів круга має бути відповідно збільшено за рахунок зміни шківів. Гранично допустиме зменшення діаметра круга за різних типів кріплення кіл зазначено в рекомендаціях виробників.

Правка кругів повинна проводитися спеціальними інструментами, надійно закріпленими у пристосуванні, що у свою чергу кріпиться на шліфувальних бабках. Пристрій для правки кругів не повинен мати підвищених зазорів. При правці слід уникати ударів, струсів, вібрацій. Правлячий інструмент підводять до частин круга, що найбільш виступають, після чого включають відповідну подачу. При різкому підведенні та врзанні в поверхню круга можливий як розрив круга, так і викришування правлячих інструментів.

4.3 Правила техніки безпеки при роботі на шліфувальному верстаті

Вимоги безпеки перед початком роботи.

1. Надягти й упорядкувати спецодяг. Застібнути спецодяг на всі гудзики та не допускати, щоб звисали кінці одягу. Зашнурувати та зав'язати шнурки на взутті. Прибрати волосся під головний убір.
2. Приготувати захисні окуляри, рукавички.
3. Підготувати верстат до роботи.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		59

4. Перевірити наявність і справність:

- захисних кожухів, приводних ременів, а також струмопровідних частин електричної апаратури - пускачів, рубильників, кнопок тощо;
- заземлювальних пристроїв;
- устаткування та кріплення кругів;
- закріплення абразивних кругів.

5. Оглянути абразивний інструмент, зокрема і перед тим, як його установлювати. Заборонено експлуатувати абразивний інструмент із тріщинами на поверхні, а також який не має відмітки про випробування на механічну міцність або з простроченим терміном зберігання.

6. Перевірити справність верстата на холостому ході упродовж 3-5 хв. При цьому потрібно перебувати збоку від небезпечної зони можливого розриву абразивного круга.

7. Розпочинати роботу лише після того, як переконалися, що круг не має биття.

8. Не розпочинати роботу, якщо виявили несправності, повідомити про них керівнику робіт.

Вимоги безпеки під час роботи.

1. Тримати руки подалі від обертових частин верстата (абразивних кругів). Пам'ятати, що внаслідок великої швидкості обертання шліфувальних кругів та їх твердості навіть миттєвий дотик до них руками спричиняє пошкодження шкіряного покриву.

2. Працювати у захисних окулярах.

3. Стояти збоку, а не навпроти абразивних кругів.

4. Під час шліфування з охолоджувальною рідиною стежити за тим, щоб рідина омивала абразивний круг по всій його робочій поверхні та своєчасно відводилася.

5. Заборонено під час робіт з абразивним інструментом:

- працювати бічними (торцевими) поверхнями шліфувального круга, якщо він не призначений для цього виду робіт;

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		60

- гальмувати шліфувальний круг, який обертається, - натискати на нього яким-небудь предметом;
- виконувати роботу без змащувально-охолоджувальної рідини - для інструмента, призначеного для роботи із застосуванням цієї рідини;
- у разі сухого шліфування працювати без пиловідсмоктувального пристрою;
- користуватися абразивними кругами, що мають тріщини або вибоїни;
- користуватися абразивними кругами, що не мають відповідного маркування виробника;
- користуватися абразивними кругами, діаметр яких не відповідає паспортним вимогам виробника шліфувального верстата;
- відкривати та знімати огороження і запобіжне устаткування.

6. Заборонено працювати на верстаті, якщо виникла хоча б одна з таких несправностей:

- пошкодився кабель електроживлення;
- пошкодилися пускові органи;
- з'явився дим або специфічний запах, характерний для ізоляції, що горить;
- з'явився підвищений шум, стукіт, вібрація;
- послабилося кріплення захисного огороження;
- пошкодився заземлювальний пристрій.

Вимоги безпеки після закінчення роботи

1. Відключити верстат від електромережі.
2. Упорядкувати робоче місце, забрати з верстата стружку, пристосування, очистити верстат від бруду, витерти і змазати тертьові частини.
3. Зібрати інструмент у відведене для нього місце.
4. Зняти спецодяг, помити обличчя та руки з милом.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

1. негайно вимкнути верстат, огородити небезпечну зону, не допускати до неї сторонніх осіб. Повідомити про те, що сталося, керівнику робіт.

5.2. Якщо під час роботи стався нещасний випадок, шліфувальник

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

зобов'язаний зберегти обстановку в робочій зоні та устаткування такими, якими вони були на момент події (якщо це не загрожує життю і здоров'ю інших працівників та не призведе до більш тяжких наслідків), вжити заходів, щоб запобігти подібним інцидентам у майбутньому, поінформувати про подію керівника робіт (іншу відповідальну особу підприємства) та надалі керуватися його вказівками.

3. Якщо виникла пожежа (ознаки горіння), повідомити про це керівнику і викликати представників оперативно-рятувальної служби за телефоном «101» та вжити можливих заходів для евакуювання людей, гасіння (локалізації) пожежі наявними засобами пожежогасіння і збереження обладнання. Дотримуватися порядку дій під час ліквідації пожежі. При цьому пам'ятати, що гасити електротехнічні пристрої, які перебувають під напругою, можна лише після того, як їх від'єднали від електромережі, та за допомогою вуглекислотних або порошкових вогнегасників, а в окремих випадках - сухим піском.

4. При виклику оперативно-рятувальної служби вказати адресу підприємства, місце виникнення події, обстановку, наявність людей, а також своє прізвище.

5. За потреби надати потерпілому домедичну допомогу згідно з інструкцією з надання домедичної допомоги, що діє на Підприємстві. За подальшого погіршення самопочуття потерпілого не припиняти надавати домедичну допомогу та викликати за телефоном «103» швидку медичну допомогу.

6. У всіх випадках виконувати вказівки керівника робіт, щоб ліквідувати небезпеку.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз способів шліфування торців циліндричних деталей та приведено особливості, переваги та недоліки способів шліфування периферією круга, одним торцем круга та двостороннього торцевого шліфування.

2. Розглянуто призначення, особливості, компоновку та кінематику ланцюгів двошпindelного торцешліфувального автомату мод. 3342АФ. Проаналізовано конструкції його основних вузлів: блоків шліфувальних бабок, блоку подачі виробів та блоків подач шліфувальних бабок.

3. Проведено аналітичний огляд конструкції двошпindelних торцешліфувальних верстатів провідних фірм-виробників.

4. Охарактеризовано об'єкту виробництва «Ролик підшипника» з точки зору забезпечення технічних вимог стосовно точності розмірів та розташування поверхонь, а також якості поверхневого шару. Приведено основні поверхні та можливі способи їх обробки.

5. Приведено типовий маршрут виготовлення роликів підшипників кочення, який включає операції холодного штампування, галтування, чорнового шліфування, термообробки, чистового шліфування та контролю.

6. На основі типового маршруту розроблений технологічний маршрут виготовлення деталі «Ролик підшипника», який включає операції чорнового та чистового двостороннього шліфування торців.

7. Здійснено вибір технологічних баз для операцій безцентрового та торцевого шліфування з врахуванням приведених технічних вимог до деталі «Ролик підшипника».

8. Здійснено вибір безцентрово-шліфувальних та торцешліфувальних верстатів для виконання шліфувальних операцій технологічного процесу.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Висновки	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Гончарик П.І.					Н	64	2
Перевірів	Буховець В.М.							
Н. контр.	Кобельник В.Р.							
Затв.	Крупа В.В.							
						ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль		

9. Розроблено технологічні операції двостороннього торцевого шліфування: спроектовано операційну технологію торцешліфувальних операцій; вибрано шліфувальний круг марки 1 450x63x203 25A F60 K 7 35 для чорнового шліфування та марки 1 450x63x203 25A F100 K 7 30 для чистового шліфування торців; вибрано режими різання та змащувально-охолоджувальну рідину.

10. Вибрано структуру приводів обертання шліфувальних кругів торцешліфувального верстату, які включають асинхронний електродвигуна, зубчато-пасову передачу, з'єднувальну муфту та шпиндельний вузол.

11. Проведено силовий та кінематичний розрахунок приводу шліфувального круга та вибрано привідний асинхронний електродвигун з короткозамкнутим ротором мод. 1LE1503-2AB5 IE3 фірми Siemens потужністю 30 кВт та частотою обертання 1500 об/хв.

12. Проведено проектний і перевірочний автоматизований розрахунок зубчато-пасової передачі з використанням пакету прикладних програм CAP 6.0 фірми Optibelt GmbH.

13. Вибрано компоувальну схему шпинделя на двох радіальних дворядних роликових підшипниках серії 3182100 для сприйняття радіального навантаження та упорно-радіальному кульковому дворядному підшипнику серії 178800 для сприйняття осьового навантаження.

14. Визначено радіальні жорсткості підшипників опор шпиндельного вузла що становлять 1090 Н/мкм для передньої опори та 860 Н/мкм для задньої опори, а також осьову жорсткість передньої опори що становить 810 Н/мкм.

15. Проведено розрахунок оптимальної віддалі між опорами шпинделя та проведено розрахунок радіальної жорсткості шпиндельного вузла що складає 410 Н/мкм.

16. Проведено розрахунок власної частоти та амплітуди коливань шпинделя, як одномасової динамічної системи. За результатами власна частота коливань шпинделя становить 268 Гц, а амплітуди коливань – $2,47 \cdot 10^{-6}$ мм.

17. Вирішені питання охорони праці та безпеки життєдіяльності при експлуатації шліфувальних кругів та при роботі на шліфувальному верстаті.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		65

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ ГОСТ 22696:2018 Вальниці кочення. Ролики циліндричні. Технічні умови.
2. Сталь ШХ15СГ: аналоги, властивості, характеристики [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://metinvest-smc.com/ua/steel/stal-shkh15sg/?srsId=AfmBOoqUJxI1wtLzz1McT-JtUtpeqCCvgV6djAK4Y8Ii8NDIJv0umKmQ> (дата звернення: 12.02.2026).
3. Stephen Malkin. Grinding technology: theory and application of machining with abrasives. – Industrial Press. New York, 2008. – 369 p.
4. Кальченко Д.В. Підвищення ефективності двостороннього шліфування торців роликів підшипників орієнтованими кругами з конічними калібрувальними ділянками: дис. доктора філософії: 133 Галузеве машинобудування/ Кальченко Дмитро Володимирович. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, 2023. – 158 с.
5. Vertical type single disc grinding machine GRS series [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.daishoseiki.co.jp/e/products/grs/> (дата звернення: 12.02.2026).
6. Кальченко В.І. Теоретичне та експериментальне дослідження процесів зняття припуску, зносу кругів, точності формоутворення та теплонапруженості під час шліфування торців деталей / В.І. Кальченко, В.І. Венжега, О.С. Следнікова, Д.В. Кальченко // Технічні науки та технології: науковий журнал. – Чернігів: Чернігівський національний технологічний університет – 2016. – № 4 (6). – С. 25-34.
7. SATURN - Double disc surface grinding machines [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.junker-usa.com/grinding-machines/products/saturn/> (дата звернення: 12.02.2026).

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Перелік посилань					
Розробив	Гончарик П.І.							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Буховець В.М.							Н	66	4
Н. контр.	Кобельник В.Р.							ТНТУ ім І. Пулюя, гр. МВ-41, м. Тернопіль		
Затв.	Крупа В.В.									

8. Horizontal type double disc grinding machine DRG series. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.daishoseiki.co.jp/e/products/drg/> (дата звернення: 12.02.2026).

9. DISKUS Doppel-Plan-Seiten Schleifmaschinen. Проспект фірми DISKUS WERKE Schleiftechnik GmbH. – 07/2014. – 6 с.

10. Double Disc Grinding Machine LGM50Y [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://en.rssxjc.net/Product_detail/3.html (дата звернення: 12.02.2026).

11. Технологія виготовлення роликів конічних підшипників. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.scribd.com/document/812399987/Work-Book-Bearings-Tech> (дата звернення: 01.03.2026).

12. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафеев ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.

13. Технологія машинобудування. Посібник довідник для виконання кваліфікаційних робіт. Навч. посібник / І.І. Юрчишин, Я.М. Литвиняк, І.Є. Грицай, М.Л.Кукляк, Я.М. Кусий, В.В. Ступницький, В.А. Яцюк, А.М.Кук, Є.М.Махоркін, В.П. Свіхінський// За ред. І.І. Юрчишина. – Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка» , 2009. –528 с.

14. 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.

15. Ревнівцев М.П. Режими різання на металообробних верстатах у машинобудуванні / М.П. Ревнівцев, Н.П. Паршина. – Київ: А.С.К., 2006. – 416с.

16. Інструмент шліфувальний на керамічній зв'язці [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://shop.zak.ua/shlifivalnyi-instrument-na-keramichnii-zviaztsi/> (дата звернення: 01.03.2026).

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

17. Сухарєв В.М. Двостороннє шліфування / В.М. Сухарєв, А.С. Денісов. - Київ: Техніка, 1977. – 80 с.
18. G-25J Synthetic Grinding Fluid [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.itwprobrands.com/product/g-25j/> (дата звернення: 05.03.2026).
19. Brecher C., Weck M. Machine Tools Production Systems 2. Design, Calculation and Metrological Assessment – Berlin: Springer-Verlag GmbH, 2021 – 840р.
20. Верба І.І., Даниленко О.В. Статичний розрахунок шпиндельних вузлів на опорах кочення: Методичні вказівки до виконання розрахунків у дипломних проектах та курсових проектах з дисциплін «Металорізальні верстати», «Металорізальні верстати та обладнання автоматизованого виробництва», «Конструювання обладнання металообробних цехів» для студентів напряму підготовки 6.050503, спеціальностей «Металорізальні верстати та системи» та «Інструментальне виробництво» і спеціальностей 7.05050201, 8.05050201 «Технологія машинобудування». Частина 1. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 104 с.
21. Електродвигун 1LE1503-2AB5 IE3 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://systemax.ua/elektrodvigateli/trehfaznye-obshepromyshlennye-elektrodvigateli/1le-ie3/1le1503-2ab5-ie3-30.html> (дата звернення: 07.03.2026).
22. Calculation tool for two-pulley drives CAP 6.0 [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://web.optibelt.com/en/c/service-support/tools/software-cap> (дата звернення: 07.03.2026).
23. Підшипники серії 3182 та аналоги [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://podshipnik.ua/ua/catalog/search-sizes?search=3182&search-sizes=0> (дата звернення: 07.03.2026).
24. Підшипник 178826 (Закордонний аналог 234426) [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://podshypnik.info/ua/index.php?zid=bearing_info&standart=gost20821&bearing=178826 (дата звернення: 07.03.2026).

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

25. Голубенко О.Л., Касьянов М.А., Гунченко О.М. Охорона праці в машинобудівному виробництві. Підручник. – Луганськ. Східноукраїнський університет ім. В. Даля, 2010 – 456.с.

26. Пістун І.П., Стець Р.Є., Трунова І.О. Охорона праці в галузі машинобудування. Навчальний посібник (стереотипне видання) – Суми: Університетська книга, 2023 – 556 с.

27. Мезенцева І.О. Безпека виробничих процесів і устаткування. Частина І. Організаційні та технічні заходи безпеки трудового процесу – НТУ «ХП», Харків, 2022. – 246 с.

					КРБ 22-035.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		69