

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.
(прізвище та ініціали)
« » 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Тарнопільському Андрію Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Кінематичний розрахунок та конструювання коробки швидкостей токарного верстата з ЧПК для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал тихохідний»

Керівник роботи Кобельник Володимир Романович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «21» 01 2026 року № 4/9-35

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22.06.2026

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

Базовий технологічний процес обробки деталі. Верстати-аналоги.

Аналоги конструкцій коробок швидкостей токарних верстатів з ЧПК

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

1. Аналітична частина (загальна частина). Характеристика об'єкту виробництва

2. Технологічна частина Технологічний розрахунок

Розробка маршрутного та операційного технологічного процесу обробки

Інструментальне забезпечення технологічної операції

3. Конструкторська частина Розробка кінематичної схеми верстату

Конструювання вузлів верстату

Розробка конструкції пристрою для механічної обробки

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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

Деталь «Вал тихохідний», заготовка – 0,5 ф.А1

Креслення вузла «Редуктор планетарний» – 0,5 - 1 ф.А1

Кінематична схема верстата – 1 ф.А1

Виконавчі механізми верстата (коробка швидкостей, гвинт подачі) – 2 ф.А1.

Карта налагодження. РТК – 1 – 2 ф.А1.

Пристосування верстатне – 0,5 - 1 ф.А1.

АНОТАЦІЯ

Тарнопільський А.В. Кінематичний розрахунок та конструювання коробки швидкостей токарного верстата з ЧПК для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал тихохідний» : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 133 — галузеве машинобудування / кер. В.Р. Кобельник. Тернопіль : факультет інженерії машин, споруд та технологій, група МВс-41.: ТНТУ, 2026, 90 с.

У кваліфікаційній роботі розроблено маршрутний технологічний процес механічної обробки деталі, зроблено огрунтування методу отримання заготовки, обрано відповідне технологічне обладнання та оснащення, розроблена операційна технологія, визначено різальний, допоміжний і вимірювальний інструменти. Проведено розрахунок режимів різання та технічних норм часу для операцій технологічного процесу механічної обробки деталі «Вал тихохідний».

Проведено аналіз та розрахунок кінематики приводу головного руху токарного верстата з ЧПК, зроблено спробу порівняти два варіанти приводу з використанням класичної механічної коробки швидкостей та коробки автомат, зпроектовано конструкцію автоматичної коробки швидкостей верстату, подано розгортку та згортку коробки. Розроблено конструкцію верстатного пристосування.

Ключові слова: вал, токарний верстат, технологічний процес, привід головного руху, шпindel, токарний різець.

Tarnopilskyi A.V. Kinematic calculation and design of the speed gearbox of a CNC lathe to support the manufacturing process of the part «Low-speed shaft». 133 – Industrial engineering; Ternopil Ivan Puluj National Technical University; Ternopil, 2026, 90 p.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Тарнопільський</i>			<i>Анотація</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник</i>					4	2
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа</i>						

In the qualification paper, a routing technological process for machining the part has been developed, the method for obtaining the blank has been justified, appropriate technological equipment and tooling have been selected, the operational technology has been developed, and the cutting, auxiliary, and measuring tools have been determined. The calculation of cutting conditions and technical time standards for the operations in the technological process of machining the "Low-speed shaft" part has been carried out.

An analysis and calculation of the kinematics of the main motion drive of a CNC lathe have been conducted; an attempt has been made to compare two drive options utilizing a classic manual gearbox and an automatic gearbox. The design of the automatic gearbox for the machine tool has been developed, and the developed and folded views of the gearbox have been presented. The design of the machine tool fixture has been developed.

Keywords: shaft, CNC lathe, technological process, main motion drive, spindle, turning tool.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	10
1.1 Характеристика об'єкту виробництва, службовепризначення та аналіз технічних умов	10
1.2 Розробка технологічної схеми складання вузла планетарний редуктор	12
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	15
2.1 Функціональне призначення та конструктивні особливості деталі. Експертиза технічних вимог до оброблюваних поверхонь	15
2.2 Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості матеріалу деталу	17
2.3 Визначення типу виробництва і розрахунок оптимального розміру партії деталей.....	21
2.4 Аналіз та обґрунтування технологічного методу формування заготовки	23
2.4.1 Техніко-економічний аналіз та визначення параметрів заготовок.....	23
2.4.2 Порівняльний аналіз заготовок за коефіцієнтом використання матеріалу.....	29
2.5 Проектування маршрутного технологічного процесу механічної обробки	31
2.5.1 Обґрунтування та підбір верстатного обладнання і технологічного оснащення	34
2.5.2 Визначення міжопераційних припусків і проміжних розмірів	36
2.5.3 Проектування та розробка операційної технології.....	41

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Зміст</i>		
Розроб.		Тарнопільський					
Перевір.		Кобельник					
Реценз.							
Н. Контр.		Кобельник					
Затверд.		Крупа					
					Літ.	Арк.	Аркушів
					<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		

2.5.4 Вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірного інструменту	44
2.5.5 Розрахунок режимів різання	50
2.6 Обґрунтування вибраного оснащення на операцію.....	55
2.6.1 Призначення, будова і принцип роботи пристосування ..	55
2.6.2 Вибір схеми базування і розрахунок похибки базування	56
2.6.3 Розрахунок сили затиску	57
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	60
3.1. Аналіз верстатів-аналогів	60
3.2. Кінематичний розрахунок привода головного руху	63
3.2.1. Формування множинної структури та виконання розрахунків графоаналітичним методом	63
3.3. Кінематичний аналіз механізмів подач	72
3.4. Розрахунки на міцність привода головного руху	73
3.4.1. Проектний розрахунок зубчастих передач	73
3.4.2. Перевірочний розрахунок зубчастих передач	74
3.4.3 Попередній розрахунок валів	75
3.4.4. Перевірний розрахунок шліцевих з'єднань	75
3.4.5. Розрахунок шпонкового з'єднання	77
3.6. Система керування	78
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	80
4.1 Характеристика виробничої ділянки з точки зору охорони праці та заходи по покращенню умов праці	80
4.2 Заходи покращення умов праці на виробничій ділянці ...	82
ВИСНОВКИ	84
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	85
ДОДАТКИ	91

ВСТУП

Стратегічне значення машинобудування в сучасній економіці/

Розвиток сучасної економіки, її конкурентоспроможність на глобальному ринку та здатність забезпечувати високий рівень життя населення безпосередньо залежать від стану базових галузей промисловості. Серед них фундаментальне та ключове місце посідає машинобудування. Машинобудівний комплекс є своєрідним генератором науково-технічного прогресу для всіх без винятку секторів народного господарства: від агропромислового комплексу та будівництва до енергетики, транспорту та аерокосмічної сфери. Саме машинобудування забезпечує ці галузі сучасними засобами виробництва, визначаючи їхню технологічну спроможність та інноваційний потенціал.

В умовах жорсткої світової конкуренції та переходу провідних країн до концепції Індустрія 4.0, вітчизняне машинобудування постає перед низкою серйозних викликів. Сучасний ринок диктує вимоги не лише до функціональності та надійності машин, але й до швидкості їх розробки, енергоефективності, екологічності та, що найголовніше, економічної доцільності їх виробництва. Для забезпечення технологічної незалежності держави критично важливо мати потужну внутрішню базу для проєктування та виготовлення складної техніки, що неможливо без постійної модернізації виробничих потужностей підприємств.

Місце металорізальних верстатів та механічної обробки у структурі трудомісткості Створення будь-якої машини чи механізму - це багатоетапний та складний технологічний процес. Незважаючи на стрімкий розвиток альтернативних методів формоутворення (таких як адитивні технології, точне лиття чи порошкова металургія), механічна обробка матеріалів різанням залишається основним, а часто й безальтернативним способом досягнення

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Тернопільський</i>			<i>Вступ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник</i>					6	4
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа</i>						

високої точності розмірів, заданої геометрії та необхідної якості поверхонь деталей.

Аналіз виробничих циклів машинобудівних підприємств показує, що у загальній структурі трудомісткості виготовлення машинобудівної продукції частка механічної обробки традиційно є найвищою і становить від 40% до 60%, а в галузях точного машинобудування та приладобудування може сягати 70% і більше. Відповідно, більша частина виробничих площ, енергетичних та трудових ресурсів підприємства задіяна саме в цехах механічної обробки.

З огляду на це, металорізальні верстати є основним "знаряддям праці" у машинобудуванні. Саме технічний рівень верстатного парку підприємства формує його виробничі можливості, визначає собівартість продукції та її кінцеву якість. Будь-які інновації в конструкції верстатів, оптимізація режимів різання чи впровадження нових інструментальних матеріалів дають колосальний економічний ефект у масштабах усього виробництва, оскільки безпосередньо впливають на зниження найвагомшої частки технологічної трудомісткості.

Специфіка токарної обробки та її частка у виробництві у структурі верстатного парку переважної більшості машинобудівних підприємств найбільшу питому вагу завжди мали і мають верстати токарної групи. Це зумовлено об'єктивними конструктивними особливостями сучасних машин. Аналіз номенклатури машинобудівних деталей свідчить, що від 30% до 40% з них належать до класу тіл обертання: це різноманітні вали, осі, втулки, фланці, диски, шпинделі, шківни та муфти. Усі ці компоненти вимагають проведення токарних операцій.

Традиційні (універсальні) токарні верстати тривалий час задовольняли потреби промисловості. Проте з ускладненням конструкції деталей, підвищенням вимог до точності та необхідністю частої зміни продукції в умовах дрібносерійного виробництва, універсальне обладнання почало демонструвати свої суттєві недоліки. Головним з них є критична залежність якості деталі та часу її виготовлення від суб'єктивного фактора — кваліфікації та фізичного

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

стану робітника. Крім того, на універсальних верстатах левову частку часу займають допоміжні операції: вимірювання деталей, переналагодження інструменту, ручне керування подачами, що різко знижує загальну продуктивність праці.

Революція токарних верстатів із ЧПК та їх використання Кардинальним вирішенням проблеми підвищення ефективності токарної обробки стало впровадження систем числових програмних керувань (ЧПК). Поява та поширення токарних верстатів із ЧПК здійснили справжню революцію у технології машинобудування, дозволивши об'єднати гнучкість одиничного виробництва з високою продуктивністю масового.

Сучасний токарний верстат із ЧПК - це високотехнологічний мехатронний комплекс. Мікропроцесорна система керує всіма рухами верстата за заздалегідь написаною програмою з точністю до часток мікрметра. Використання такого обладнання забезпечує низку безперечних технологічних та економічних переваг:

1. Багаторазове зниження штучного часу. Автоматизація робочих і допоміжних ходів, миттєва зміна інструменту в револьверних головках та використання оптимальних режимів різання суттєво скорочують цикл обробки деталі.

2. Гарантована точність та стабільність якості. Вплив "людського фактора" зведений до мінімуму. Верстат автоматично компенсує знос інструменту та температурні деформації, забезпечуючи абсолютну ідентичність першої та тисячної деталі в партії.

3. Можливість обробки надскладних профілів. Завдяки лінійній та круговій інтерполяції, токарні верстати з ЧПК здатні стандартним різцем обробляти фасонні криволінійні поверхні, що на універсальному верстаті вимагало б виготовлення дорогих фасонних різців або копирів.

4. Комплексна обробка. Сучасні токарно-фрезерні центри мають додаткові осі керування (С, Y) та оснащуються приводним інструментом. Це дозволяє за одну установку заготовки виконати точіння, фрезерування пазів,

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

свердління радіальних отворів та нарізання різьби. Принцип «зроблено в одну установку» радикально знижує похибки базування та зменшує загальну трудомісткість.

5. Гнучкість та оперативність. Перехід на випуск нової деталі відбувається шляхом простого завантаження нової керуючої програми, що робить верстати з ЧПК ідеальним інструментом для сучасного адаптивного виробництва.

Актуальність та мета дослідження Підсумовуючи вищезазначене, можна стверджувати, що комплексна модернізація механообробного виробництва шляхом впровадження високопродуктивних токарних верстатів із ЧПК є не просто напрямком технічного розвитку, а життєво необхідною умовою для виживання машинобудівних підприємств у сучасному світі. Зниження трудомісткості операцій механічної обробки є головним резервом для зменшення собівартості української промислової продукції.

З огляду на це, поглиблене вивчення конструкції, принципів роботи токарного обладнання з ЧПК, а також розробка раціональних технологічних процесів, проектування оснастки та написання ефективних керуючих програм є вкрай актуальним завданням для інженерів-механіків. Вирішення цих завдань дозволить оптимізувати процеси різання, підвищити коефіцієнт використання обладнання та зробити вагомий внесок у підвищення ефективності вітчизняного машинобудування.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		9

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика об'єкту виробництва, службовепризначення та аналіз технічних умов

Конструктивні особливості та технічні параметри планетарного редуктора.

Базова конструкція планетарного (диференціального) редукторного механізму містить центральне (сонячне) зубчасте колесо, навколо якого рівномірно розташовані однорозмірні проміжні шестерні — сателіти. Їхнє взаємне позиціонування та надійна фіксація забезпечуються за допомогою водила. Зовнішній контур системи утворює нерухома кільцева (епіциклічна) шестерня із внутрішніми зубами, яка перебуває у постійному зачепленні із сателітами. У такій схемі роль ведучого ланки виконує центральне колесо, тоді як сателіти є веденими елементами.

Головні технічні показники цього редуктора мають такі значення:

- Потужність, що передається через швидкохідний вал, становить 2,68 кВт.
- Швидкість обертання вхідного (швидкохідного) вала дорівнює 725 об/хв.
- Крутний момент, який генерується на вихідному (тихохідному) валу, досягає 135,2 Нм.
- Загальне передаточне число механізму становить 3,95.
- Зубчасті вінці мають такі параметри: центральна шестерня налічує 29 зубів, а кожен із сателітів — 28 зубів.
- Модуль зачеплення дорівнює 1 мм, а виготовлення зубчастих елементів відповідає 7-В ступеню точності.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Тарнопільський</i>			<i>Загальна частина</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник</i>					10	5
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа</i>						

Нормативні та експлуатаційні вимоги до виготовлення.

Виробництво редукторних вузлів регламентується чинними технічними стандартами, галузевими умовами та затвердженою конструкторською документацією (робочими кресленнями) для кожної конкретної модифікації. Пристрої мають гарантувати 90%-ний робочий ресурс, передбачений технічними нормативами, навіть в умовах короткочасних пускових перевантажень, які можуть перевищувати номінальний режим роботи щонайменше вдвічі. Гранична кількість таких циклів навантаження на вхідному валу, їх допустима частота за одиницю часу та сумарна тривалість перевантажувальних режимів чітко прописуються в експлуатаційній документації, паспортах і каталогах виробника.

Особлива увага приділяється чистоті обробки поверхонь. Згідно з нормативними вимогами до шорсткості, параметри робочих профілів зубів не повинні виходити за такі межі: до 1,25 мкм — для деталей зовнішнього зачеплення з модулем до 5 мм; до 2,5 мкм — для евольвентних коліс, у яких модуль перевищує 5 мм, а також для вал-шестерень (з модулем менше 5 мм), якщо діаметр їхніх западин менший за діаметр прилеглих опорних шийок вала.

Для поверхонь западин і перехідних кривих зубчастих елементів встановлено граничний показник шорсткості на рівні не більше 40 мкм.

Геометричні параметри кріплення корпусу (номінальні діаметри та поля допусків отворів під фундаментні болти) регламентуються стандартами на з'єднання, а їх позиційне розташування — чинними правилами взаємозамінності. Похибка перпендикулярності або паралельності осі вихідного (тихохідного) вала відносно базової площини корпусу визначається за нормами геометричних допусків і повинна відповідати 12-му ступеню точності (для виробів 2-ї категорії точності) або 10-му ступеню точності (для обладнання 1-ї категорії).

У кінематичній схемі планетарного редуктора кожен із валів виконує чітко визначену механічну функцію, забезпечуючи трансформацію та передачу крутного моменту. Швидкохідний (вхідний) вал призначений для сприйняття

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

високої частоти обертання безпосередньо від приводного електродвигуна та передачі цієї енергії на центральну (сонячну) шестерню. Проміжний вал (або осі сателітів) виступає в ролі сполучного та розподільчого елемента: він фіксує рухомі шестерні-сателіти, дозволяючи їм одночасно обертатися навколо власної осі та здійснювати планетарний рух навколо центрального колеса. Тихохідний (вихідний) вал є кінцевою ланкою кінематичного ланцюга. Його головне призначення — акумулювання трансформованого (зниженого за частотою, але значно збільшеного за зусиллям) обертального моменту від водила та його подальша передача на виконавчі механізми або робочі органи зовнішнього обладнання.

1.2 Розробка технологічної схеми складання вузла планетарний редуктор

Послідовність виконання операцій згідно з технологічною схемою збирання планетарного редуктора наведено у вигляді маршрутного техпроцесу збирання планетарного редуктора

Маршрутна технологія збирання планетарного редуктора

Технологічний процес починається з комплектувальної операції (005), яка передбачає підбір усіх необхідних деталей та вузлів відповідно до специфікації виробу, а також їх транспортування на складальну ділянку. Наступним кроком є підготовчий етап (010), під час якого виконується очищення й продування поверхонь деталей стисненим повітрям для видалення залишків пилу чи технологічних рідин.

Безпосередній монтаж компонентів стартує з операції встановлення манжети (015): корпус редуктора (деталь 1) жорстко фіксується на робочому місці, після чого в нього монтується манжета (деталь 13). Слідом за цим виконується установка кільцевої шестерні (015/1), де в заздалегідь закріпленому корпусі позиціонується та фіксується зубчасте кільце (деталь 3).

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

Далі процес переходить до підобживання рухомих елементів. Операція збирання сателіта (020) містить фіксацію вала (деталь 29), послідовний монтаж шестерні (деталь 16) та стопорного кільця (деталь 25). Після цього насаджується перший підшипник (деталь 17), за ним — проміжне кільце (деталь 32) та другий підшипник (деталь 17). Замикає цей вузол кільце (деталь 24), після чого обов'язково контролюється плавність ходу підшипникової групи.

Паралельно здійснюється складання швидкохідного вала (025). Робота розпочинається із закріплення вала (деталь 5), на який послідовно запресовують перший підшипник (деталь 10), монтують дистанційне кільце (деталь 15), другий підшипник (деталь 10) та кільце (деталь 14). До цієї підзбірки додається раніше зібраний проміжний вал (ск29), після чого перевіряється якість обертання підшипників та сателітів. Завершується цей етап операцією 030, під час якої зібраний швидкохідний вал (ск6) інтегрується в попередньо зафіксований базовий корпус (деталь 1).

Наступний блок робіт присвячений складанню другого сателіта (035). На закріпленому валу (деталь 29) позиціонують підшипник (деталь 24), встановлюють шестерню (деталь 31) та фіксують усе кільцем (деталь 25), завершуючи етап тестування ходу. Отриманий вузол використовують під час складання проміжного вала (040), де на фіксованому валу (деталь 4) закріплюють готові сателіти (ск30). Цей укрупнений вузол проміжного вала (ск4) на операції 045 монтують безпосередньо в корпус редуктора.

Операція 050 присвячена підготовці тихохідного вала (ск21). На закріпленій валу (деталь 21) послідовно запресовують два підшипники (деталь 28), розділені кільцем (деталь 31), і перевіряють легкість їхнього обертання разом із суміжними сателітами. Змонтований вузол тихохідного вала (ск21) на операції 055 встановлюють у корпус (деталь 1).

Фінальна стадія збирання починається з монтажу кришки редуктора (060). Спочатку в гніздо кришки (деталь 2) запресовують манжету (деталь 11), після чого кришку базують на корпусі та надійно затискають кріпильними болтами (деталь 27). На операції 065 збирають приєднувальні елементи вала (деталь 21),

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

встановлюючи призматичну шпонку (деталь 20), шплінт (деталь 22) та затягуючи фіксувальну гайку (деталь 23).

Для підготовки редуктора до зовнішнього навантаження (070) на вихідний кінець вала (деталь 5) монтують шпонку (деталь 18), шайбу (деталь 7), шплінт (деталь 8) та закручують болт (деталь 9). Під час операції 075 внутрішню порожнину редуктора заповнюють мастилом, після чого герметично закручують різьбову пробку (деталь 19).

Замикає весь технологічний маршрут контрольна операція (080), яка полягає у фінальній перевірці плавності та легкості прокручування тихохідного вала вручну.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Функціональне призначення та конструктивні особливості деталі. Експертиза технічних вимог до оброблюваних поверхонь

Об'єктом проектування технологічного процесу механічної обробки є деталь «Вал тихохідний». Її головна службова функція полягає в передачі крутного моменту в складі планетарного редуктора, який інтегровано у виконавчий комплекс вантажопідіймального обладнання.

За своєю геометричною конфігурацією деталь належить до ступенчатих циліндричних валів. Конструкція виробу ускладнена наявністю закритого шпонкового паза завширшки 10 мм, а також опорного фланця аналогічної ширини (10 мм). Крім того, на торцевій частині виконано глухий циліндричний отвір діаметром 35 мм, призначений для монтажу підшипникового вузла. По периметру фланця рівномірно розташовано три наскрізні отвори діаметром 6 мм, які служать посадковими місцями для осей сателітів.

Згідно з класифікатором ЄСКД, за сукупністю конструктивних, геометричних та технологічних ознак цей виріб класифікується як представник класу 71 (вали та осі). Конструктивне виконання деталі є стандартним (типовим) і широко тиражується у загальному машинобудуванні.

Аналіз графічної документації (креслення) дає змогу структурувати оброблювані поверхні за їхнім функціональним призначенням на дві категорії:

Основні (виконавчі та базувальні) поверхні:

- Зовнішня циліндрична шийка $\varnothing 35k6$ ($Ra_{0,8\text{мкм}}$) із граничним радіальним биттям відносно загальної осі не більше 0,05 мм; використовується як посадкова поверхня під підшипник кочення.
- Зовнішній циліндричний ступінь $\varnothing 35h8$ ($Ra_{3,2\text{мкм}}$) із допуском радіального биття до 0,05 мм; призначений для базування та фіксації шківів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ			
Розроб.		Тернопільський			Технологічна частина	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кобельник					15	45
Реценз.						ТНТУ, гр. МВс-41		
Н. Контр.		Кобельник				м. Тернопіль		
Затверд.		Крупа						

- Внутрішнє циліндричне гніздо $\varnothing 35H7$ (Ra 0,8 мкм); служить посадковим місцем під підшипниковий вузол.

- Три отвори на фланцевій частині $\varnothing 6 K6$ (Ra 0,8 мкм); необхідні для точного позиціонування та встановлення осей сателітів.

Допоміжні поверхні та конструктивні елементи:

- Шпонковий паз із шириною за квалітетом 10P9 (Ra 3,2 мкм), призначений для розміщення призматичної шпонки.

- Технологічна канавка завширшки $3_{+0,25}mm$ (Ra 1,6 мкм), що забезпечує монтаж стопорного кільця.

Результати детального аналізу технічних вимог до поверхонь вала.

Нижче наведено структурований опис технічних параметрів, точності та шорсткості для кожної поверхні за результатами аналізу креслення:

Поверхні 1 та 2 (Торцеві площини 158₁): Обробляються за низькими вимогами точності (14 квалітет) із шорсткістю Ra 12,5мкм.

Поверхня 3 (Зовнішній циліндр $\varnothing 77_{-0,74}$): Виконується за 14 квалітетом, параметр шорсткості становить Ra 6,3 мкм.

Поверхня 4 (Центральний отвір $\varnothing 35H7$): Потребує високої точності за 7 квалітетом та чистоти обробки Ra 0,8 мкм.

Поверхня 5 (Внутрішній уступ діаметром 30H14): Точність обмежена 14 квалітетом, шорсткість - Ra 6,3мкм.

Поверхня 6 (Внутрішній отвір діаметром 26,5H14): Виготовляється за 14 квалітетом із шорсткістю Ra 6,3мкм.

Поверхні 7, 8, 9 (Три отвори на фланці діаметром 6K6): Належать до відповідальних поверхонь, точність за 6 квалітетом, шорсткість - Ra 0,8 мкм.

Поверхня 10 (Різьбовий отвір M5): Виконується за 14 квалітетом із параметром шорсткості Rz 40мкм.

Поверхня 11 (Технологічний отвір діаметром 4H14: Точність за 14 квалітетом, шорсткість поверхонь - Ra 6,3 мкм.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

Поверхня 12 (Шийка під шків діаметром 35h8}): Середня точність за 8 квалітетом, параметр шорсткості - Ra3,2.

Поверхня 13 (Підшипникова шийка діаметром 35k6): Висока точність за 6 квалітетом, шорсткість Ra 0,8 мкм. Встановлено обмеження на геометричні відхилення форми (овальність та конусоподібність не більше 0,01 мм).

Поверхня 14 (Циліндрична ділянка діаметром 48h14): Точність за 14 квалітетом, шорсткість - Ra 6,3мкм.

Поверхня 15 (Циліндрична ділянка діаметром 39h14): Обробка за 14 квалітетом із шорсткістю Ra 6,3мкм.

Поверхні 16, 17, 18, 19, 20 (Торцеві уступи з розмірами 23_{-0,52}; 17_{-0,52}; 10_{0,36}; 10,5_{+0,36}; 12,5_{+0,43} відповідно): Усі торці витримуються за 14 квалітетом точності з однаковими вимогами до мікрогеометрії - Ra 6,3 мкм.

Поверхня 21 (Кутова фаска 1,5*45): 14 квалітет точності, шорсткість поверхні - Ra 6,3 мкм.

Поверхні 22, 23, 24, 25, 26, 27 (Група захисних фасок 0,5*45): Обробляються за 14 квалітетом із параметром шорсткості Ra 6,3 мкм.

Поверхня 28 (Монтажна канавка 3_{+0,25}): Виконується за 14 квалітетом, шорсткість профілю - Ra 1,6 мкм.

Поверхня 29 (Шпонковий паз 10P8_(-0,37)): Забезпечує точність за 8 квалітетом із чистотою обробки стінок Ra 1,6 мкм.

2.2 Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості матеріалу деталі

Згідно з вихідною конструкторською документацією, для виготовлення тихохідного вала використовується сортовий прокат із конструкційної легованої сталі марки 40ХН. Цей матеріал належить до категорії високоякісних хромонікелевих сплавів, які широко застосовуються для навантажених машинобудівних елементів.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

Хімічний склад матеріалу

Особливості експлуатаційних характеристик сталі 40ХН обумовлені її збалансованим хімічним складом. Основними легуючими та супутніми елементами у відсотковому співвідношенні є:

Нікель (Ni): від 1,0% до 1,4% — підвищує в'язкість матеріалу та його прогартовуваність.

Марганець (Mn): від 0,5% до 0,8% — збільшує твердість і зносостійкість.

Хром (Cr): від 0,45% до 0,75% — забезпечує міцність та покращує стійкість до корозійних процесів.

Кремній (Si): від 0,17% до 0,37% — діє як ефективний розкислювач під час виплавки.

Сірка (S): не більше 0,035% — технологічна домішка, обмежена для запобігання червоноламкості.

Фосфор (P): не більше 0,035% — шкідлива домішка, суворо контролювана задля уникнення холодноламкості.

Комплекс механічних властивостей.

У термообробленому стані сталь 40ХН демонструє високі міцнісні та пластичні параметри, що підтверджується такими нормативними показниками:

Грань міцності при розтягуванні (тимчасовий опір руйнуванню) становить 960 МПа.

Межа текучості (умовна) досягає 780 МПа.

Показник відносного подовження після розриву δ дорівнює 10%.

Відносне звуження поперечного перерізу зразка ψ становить 58%.

Сфера промислового застосування та технологічні особливості

Завдяки високому опору втомленості, цей матеріал є незамінним для виготовлення відповідальних деталей, які піддаються інтенсивним динамічним, ударним та вібраційним навантаженням. У промисловості, окрім редукторних валів, із цієї сталі виготовляють шпинделі, шатуни, колінчасті вали, приводні зірочки, навантажені осі, диски, тяги, траверси та бандажі.

					КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

З точки зору технологічності сталь марки 40ХН характеризується відмінною оброблюваністю різанням (механічною обробкою) на металорізальних верстатах, що дозволяє досягати високої точності та низької шорсткості поверхонь. Зварюваність матеріалу обмежена (належить до групи важкозварюваних сталей), тому для формування монолітних з'єднань потрібен попередній підігрів та подальший термічний контроль. Основним видом зміцнювальної термічної обробки для отримання оптимальних експлуатаційних властивостей є об'ємне загартування з наступним високим відпуском (поліпшення структури).

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		19

2.3 Визначення типу виробництва та розрахунок оптимального розміру партії

Для обґрунтування організаційного типу планованого виробництва аналізуються два ключові чинники: задана річна програма випуску ($N = 850$ шт.) та розрахункова маса заготовки, яка становить 1,46 кг.

Відповідно до класифікаційних нормативів машинобудування, вироби вагою від 1 до 50 кг відносяться до категорії середніх за масою деталей. При річному обсязі випуску таких виробів у межах від 10 до 5000 одиниць на рік, виробнича структура класифікується як серійне виробництво (зокрема, його дрібносерійний сегмент). Для порівняння, одиничний випуск для середніх деталей обмежується 10 одиницями, а масове виробництво startує лише при обсягах понад 5000 штук на рік.

Цьому організаційно-технічному типу притаманний такий комплекс технологічних характеристик:

Принцип організації: Переважно предметно-потокова форма побудови виробничих дільниць.

Схема розміщення: Верстати та технологічні модулі розташовуються за лінійною послідовністю виконання операцій техпроцесу.

Кадри: Виробничий персонал має різний рівень кваліфікації залежно від складності конкретної операції.

Циклічність: Операції на робочих місцях періодично повторюються через певні проміжки часу.

Характер техпроцесів: Застосовуються типізовані маршрутно-операційні та маршрутні розробки.

Машинний парк: Ефективно поєднується універсальне та спеціалізоване металорізальне обладнання.

Технологічне оснащення: Використовуються універсальні пристосування, а також системи збірно-розбірного оснащення (ЗРО).

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

Інструментальне забезпечення: Застосовується як стандартний (універсальний), так і спеціально спроектований різальний інструмент.

Метрологічний контроль: Перевірка параметрів здійснюється за допомогою граничних калібрів, пробок та спеціальних шаблонів.

Заготовча база: Штамповки, сортовий прокат, точні відливки або кованки.

Точність та економіка: Задані конструкторські допуски досягаються переважно за рахунок методу часткової взаємозамінності, що забезпечує помірну (середню) собівартість готової продукції.

Розрахунок величини оптимальної партії деталей

Щоб забезпечити ритмічність роботи механоскладального цеху та оптимізувати витрати на незавершене виробництво, обчислюють мінімально доцільний розмір партії запуску деталей. Розрахунок ведеться за математичною залежністю:

$$n = \frac{N \cdot a}{F} \quad (2.1)$$

Де ключові змінні мають такі значення:

$N = 850$ шт. — плановий річний обсяг випуску тихохідних валів;

$a = 5$ днів — нормативний запас деталей на складі для гарантування безперебійного процесу складання редукторів;

$F = 257$ днів — реальний фонд робочого часу обладнання на рік (при п'ятиденному робочому тижні з двома вихідними).

Підставивши вихідні дані у формулу, отримуємо:

$$n = \frac{857 \cdot 5}{257,0} = 16,60 \approx 17 \text{ шт.}$$

Після округлення до найближчого цілого числа, величина оптимальної складальної партії для запуску у виробництво становить 17 штук.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

2.4 Аналіз та обґрунтування технологічного методу формування заготовки

Вибір оптимального способу отримання вихідної заготовки безпосередньо впливає на структуру майбутнього технологічного процесу та підсумкові витрати. Головними факторами, які визначають цей вибір, є геометрична складність деталі, фізико-механічні властивості обраного матеріалу, а також планований обсяг випуску (тип виробництва). Коли геометрія деталі дозволяє реалізувати кілька альтернативних заготовочних методів, проводиться порівняльний техніко-економічний аналіз для визначення найбільш раціонального варіанта.

Доцільність впровадження того чи іншого методу виготовлення заготовки на етапі проектування оцінюють двома основними шляхами:

Комплексним техніко-економічним порівнянням собівартості альтернативних заготовок;

Обчисленням та аналізом коефіцієнта використання металу (КВМ).

Головним критерієм вибору є забезпечення мінімальної технологічної собівартості виробництва готової деталі. У випадках, коли порівнювані методи демонструють приблизно однакові вартісні показники, перевага віддається тій заготовці, яка гарантує вище значення коефіцієнта використання конструкційного матеріалу.

2.4.1 Техніко-економічний аналіз та визначення параметрів заготовок

Суть техніко-економічного аналізу полягає у розрахунку та зіставленні прямих і непрямих витрат для різних видів заготовочного виробництва. Враховуючи конструктивну конфігурацію ступенчатого вала, використання легованої сталі 40ХН та серійний характер виробництва, для детального аналізу обрано два технологічні варіанти:

1. Прокат штучного типу, отриманий шляхом розділення сортового металу різцем на токарно-відрізному обладнанні.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		23

2. Поковка, сформована методами вільного кування або гарячого штампування.

Нормативні технологічні припуски на подальшу механічну обробку зовнішніх циліндричних поверхонь та торцевих уступів призначено за відповідними довідковими таблицями для машинобудування.

Нижче наведено геометричні та точнісні параметри для обох порівнюваних варіантів заготовок (при базовій шорсткості вихідних поверхонь Rz 80мкм):

Варіант 1: Заготовка з гарячекатаного прокату (з відрізанням різцем)

Загальна довжина вала (158h14): Технологічний допуск на заготовку становить 0,52 мм, загальний припуск на торцювання приймається рівним 0 мм. Кінцевий номінальний розмір прокату з граничними відхиленнями дорівнює 158₋₁ мм.

Зовнішній габаритний діаметр Ø82h14: Допуск на діаметральний розмір становить 1,1 мм. Загальний припуск на чорнове та чистове обточування складає 2 x 1,0 = 2,0мм. Номінальний діаметр заготовки під закупівлю прокату - Ø82_{-0,87} мм.

Варіант 2: Заготовка у вигляді поковки

Габаритна довжина 158h14: Через специфіку ковальського виробництва допуск збільшується до 2 x 2,5 = 5,0 мм, а сумарний припуск на обробку торців досягає 2,5 x 7 = 17,5 мм. Лінійний розмір поковки становить 175,5 ±5мм.

Торцевий уступ завдовжки 10 мм (10h14): Технологічний допуск - 2мм, загальний припуск на сторону - 2 x 7 = 14мм. Розмір відповідного уступу на поковці становить 24 ± 2мм.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		24

Торцевий уступ завдовжки 19 мм (19h14): Допуск дорівнює 2 мм припуск на обробку - $2 \times 7 = 14$ мм. Отримуваний розмір поковки - 33 ± 2 мм.

Торцевий уступ завдовжки 23 мм (23h14): Допуск становить 2 мм, загальний технологічний припуск - $2 \times 7 = 14$ мм. Конструктивний розмір ступеня поковки - 37 ± 2 мм.

Зовнішній діаметр фланця ($\varnothing 77h14$): Допуск на кування становить 2мм, припуск на обточування діаметра - $2 \times 3,5 = 7$ мм. Зовнішній діаметр поковки у цій зоні - $\varnothing 84 \pm 2$ мм.

Уступ під шків $\varnothing 48h8$: Допуск дорівнює 2мм, припуск на механічну обробку - $2 \times 2,5 = 5$ мм. Діаметр ступеня поковки - $\varnothing 53 \pm 2$ мм.

Проміжний циліндричний ступінь $\varnothing 39h8$: Технологічний допуск - 2мм, припуск на різання - $2 \times 2,5 = 5$ мм. Діаметр заготовки в цьому перерізі - $\varnothing 44 \pm 2$ мм.

Підшипникова шийка вала $\varnothing 35$: Допуск становить 2мм, загальний припуск на чорнове, чистове та шліфувальне оброблення - $2 \times 2,5 = 5$ мм. Діаметр шийки поковки - $\varnothing 39 \pm 2$ мм.

Визначаємо масу заготовки, що виготовляється з Сталі 40ХН

Маса заготовки:

$$Q_{заг} = V_{заг} \cdot \rho, \quad (2.1)$$

де $V_{заг}$ – загальний об'єм заготовки, см³;

$\rho = 7800$ кг/ м³ – густина матеріалу Сталь 40ХН.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

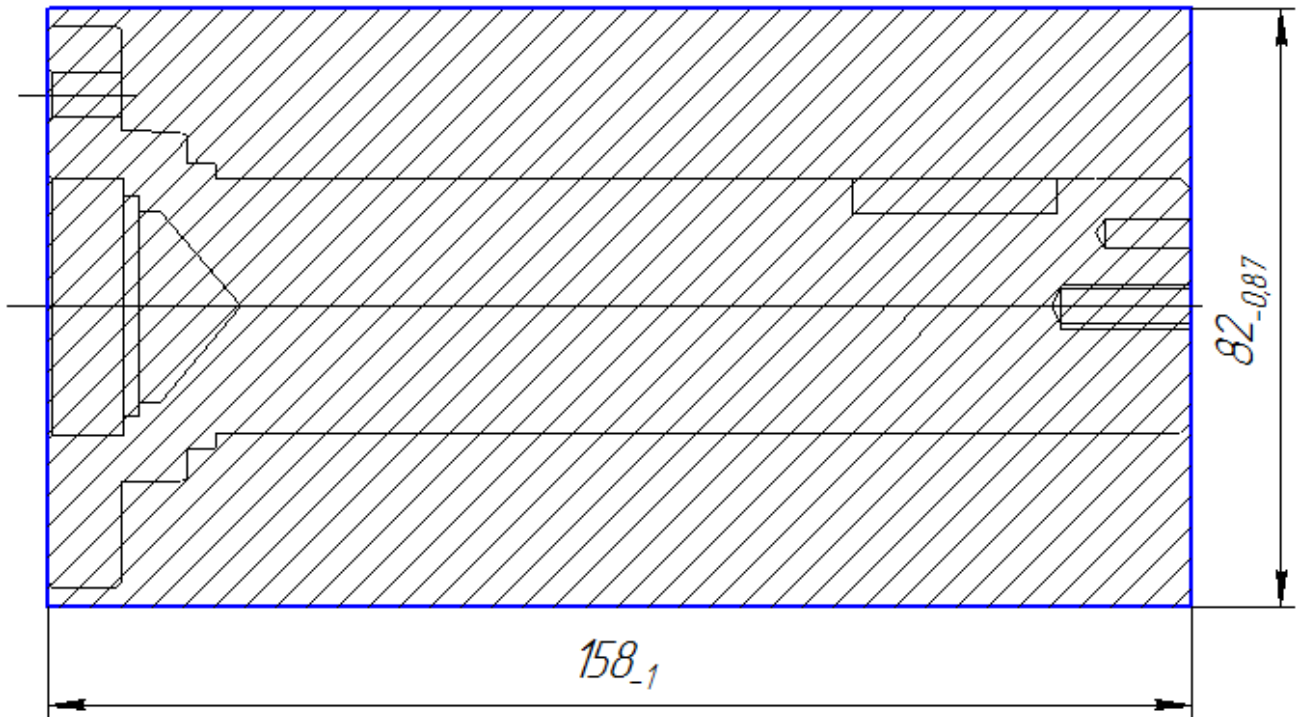


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки отриманої з прокат розрізаного різцем

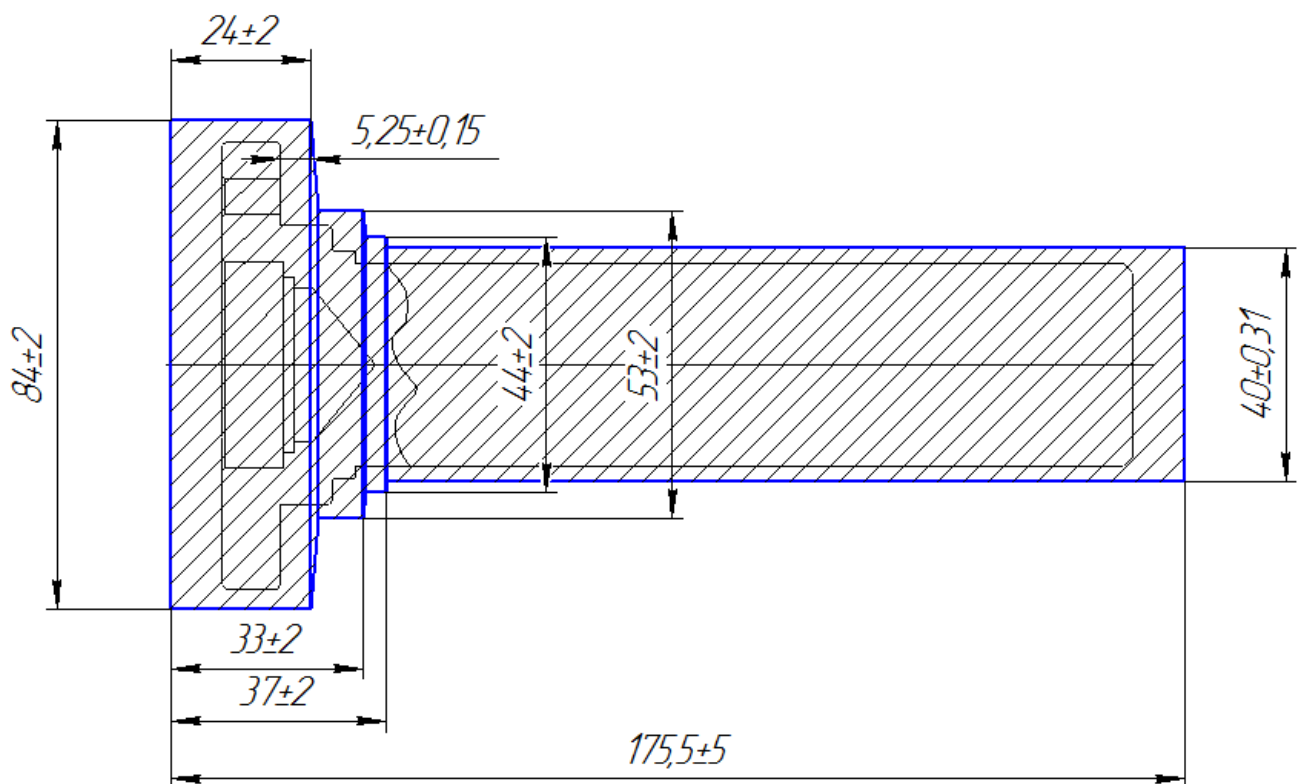


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки отриманої куванням кованки

					КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Розраховуємо об'єми заготовок обох варіантів. Заготовки мають форму циліндрів.

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L, \text{ см}^3. \quad (2.2)$$

Об'єм заготовки отриманої з протка відрізанням різцем:

$$V_{\text{заг1}} = \frac{\pi D_1^2}{4} \cdot L_1 = \frac{3,14 \cdot 8,20^2}{4} \cdot 15,8 = 833,970 \text{ см}^3.$$

Об'єм заготовки отриманої куванням :

$$V_1 = \frac{\pi D_2^2}{4} \cdot L_1 = \frac{3,14 \cdot 8,40^2}{4} \cdot 2,4 = 133,020 \text{ см}^3.$$

$$V_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} \cdot L_1 = \frac{3,14 \cdot 5,30^2}{4} \cdot 0,7 = 15,440 \text{ см}^3.$$

$$V_3 = \frac{\pi D_2^2}{4} \cdot L_1 = \frac{3,14 \cdot 4,40^2}{4} \cdot 0,4 = 6,080 \text{ см}^3.$$

$$V_4 = \frac{\pi D_2^2}{4} \cdot L_1 = \frac{3,14 \cdot 3,90^2}{4} \cdot 13,85 = 165,450 \text{ см}^3.$$

Загальний об'єм заготовки

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 133,020 + 15,440 + 6,080 + 165,450 = 319,990 \text{ см}^3$$

Визначаємо масу заготовки, що виготовляється відрізанням різцем:

$$Q_{\text{заг1}} = V_{\text{заг1}} \cdot \rho = 833,97 \cdot 7,8 = 6497 \text{ г} = 6,490 \text{ кг}.$$

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Розраховуємо масу заготовки отриманої куванням:

$$Q_{заг2} = V_{заг2} \cdot \rho = 319,99 \cdot 7,8 = 1828 \text{ г} = 2,49 \text{ кг.}$$

Собівартість заготовок отриманих з прокату визначається за формулою, згідно [2]:

$$C_{заг} = Q_{заг} \cdot S - \frac{(Q_{заг} - Q_{дет}) \cdot S_{відх}}{1000}, \text{ грн.} \quad (2.3)$$

де $Q_{заг}$ – маса заготовки, кг;

$Q_{дет}$ – маса деталі, кг;

$S_{відх} = 3250$ грн/т– базова вартість 1 тони відходів;

S – ціна 1 кілограма заготовки, грн.

Базова ціна однієї тони гарячекатаного прокату становить 48 000 грн , дод.18.

Тоді $S = 48000 / 1000 = 48$ грн/кг.

Підставивши вибрані значення елементів формули, отримаємо собівартість заготовки:

$$C_{заг1} = Q_{заг1} \cdot S - \frac{(Q_{заг1} - Q_{дет}) \cdot S_{відх}}{1000} = 6,490 \cdot 48 - \frac{(6,490 - 1,460) \cdot 3250}{1000} = 205,50 \text{ грн.}$$

Собівартість заготовок отриманих куванням визначають за формулою, згідно [2]:

$$C_{заг} = \frac{S \cdot Q_{заг} \cdot K_{П}}{1000} - \frac{(Q_{заг} - Q_{дет}) \cdot S_{відх}}{1000}, \text{ грн.} \quad (2.4)$$

де $Q_{заг}$ – маса заготовки, кг;

$Q_{дет}$ – маса деталі, кг;

$S_{відх} = 3250$ грн/т– базова вартість 1 тони відходів;

S – ціна 1 кілограма заготовки, яка отримана куванням, грн.

					КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$K_{\Pi} = K_{\text{МВ}} \cdot K_{\text{ПКВ}} \cdot K_{\text{ВК}} \cdot K_{\text{ТК}} = 1,00 \cdot 1,240 \cdot 1,140 \cdot 1,30 \cdot 1,00 = 1,83$$

Коефіцієнт точності виготовлення поковки: $K_{\text{ТК}} = 1,00$ — відображає обраний клас точності заготовочного обладнання.

Коефіцієнт складності геометрії поковки: $K_{\text{СК}} = 1,240$ — враховує конфігурацію ступенів вала та наявність фланцевої частини.

Коефіцієнт марки (матеріалу) поковки: $K_{\text{МК}} = 1,140$ — визначається залежно від ступеня легування конструкційної сталі 40ХН.

Коефіцієнт групи серійності виробництва: $K_{\text{ПК}} = 1,300$ — залежить від обсягу річної програми випуску та масштабів заготовочного цеху.

Коефіцієнт масових характеристик поковки: $K_{\text{ВК}} = 1,00$ — призначається відповідно до розрахункової вагової категорії заготовки.

Підставивши знайдені технологічні коефіцієнти та базові параметри у розрахункову залежність, визначаємо підсумкову технологічну собівартість виготовлення заготовки:

$$C_{\text{заг}} = \frac{58000 \cdot 2,490 \cdot 1,830}{1000} - \frac{(2,490 - 1,460) \cdot 3250}{1000} = 275,6 \text{ грн.}$$

2.4.2 Порівняльний аналіз заготовок за коефіцієнтом використання матеріалу

Ефективність використання металу для кожного з досліджуваних варіантів оцінюють за допомогою коефіцієнта використання матеріалу (Кв.м.). Його обчислюють як співвідношення чистої маси готового виробу до вихідної маси заготовки за математичною залежністю:

$$K_{\text{в.м.}} = Q_{\text{дет}} / Q_{\text{заг}} \quad (2.5)$$

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

За результатами розрахунків для обох варіантів отримано такі показники:

Для штучної заготовки з прокату, одержаної відрізанням різцем:

$$Кв.м. = 1,46 / 6,49 = 0,22.$$

Для заготовки у вигляді поковки:

$$Кв.м. = 1,46 / 2,49 = 0,59.$$

Порівняльний аналіз техніко-економічних показників

Для підбиття підсумків та вибору оптимального методу заготовочного виробництва проведено зіставлення ключових параметрів обох технологічних рішень:

Перший варіант (Гарячекатаний прокат із відрізанням різцем): Характеризується масою вихідної заготовки 6,49кг та її технологічною вартістю на рівні 205,50грн. При цьому коефіцієнт використання металу становить лише 0,22.

Другий варіант (Поковка): Має значно меншу початкову вагу - 2,49 кг та вищий коефіцієнт використання матеріалу 0,59. Проте через складність ковальського виробництва вартість такої заготовки є вищою і становить 275,60.

Технологічний висновок

Аналіз отриманих результатів показує, що попри нижчий коефіцієнт використання металу, варіант із сортовим прокатом є економічно вигіднішим. Прямі витрати на придбання та підготовку заготовки з прокату є меншими, що повністю узгоджується із принципами організації дрібносерійного типу виробництва (де капітальні витрати на спеціальне ковальське оснащення не встигають окупитися через невелику річну програму).

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

З огляду на це, перший варіант заготовки (сортовий прокат із відрізанням штучних заготовок різцем) затверджується як базовий для подальшого проектування і детальної розробки маршрутно-операційного технологічного процесу механічної обробки вала.

2.5 Проектування маршрутного технологічного процесу механічної обробки

Безпосередній розробці операційного опису передують визначення раціональної послідовності обробки поверхонь заготовки, тобто проектування технологічного маршруту. Його формування базується на поетапному виборі методів обробки для кожного конструктивного елемента деталі.

Вибір методів та структури маршруту здійснюється з урахуванням конфігурації, габаритів та початкової точності вихідного прокату, вимог креслення до точності та мікрогеометрії готового виробу, а також з урахуванням специфіки дрібносерійного виробництва. Зазвичай для отримання остаточних розмірів можна застосувати кілька варіантів обробки, які відрізняються кількістю технологічних переходів. Найбільш раціональним є маршрут із мінімально необхідним числом переходів, який забезпечує найкоротший і найекономічніший шлях досягнення заданої точності та шорсткості.

Усі потенційні варіанти обов'язково аналізують на предмет їхньої технологічної сумісності, прагнучи до максимальної концентрації переходів та можливості обробки кількох поверхонь за одне встановлення заготовки.

Робота над цим етапом виконується за таким алгоритмом:

1. Визначення та систематизація всіх поверхонь заготовки, що потребують зняття припуску.
2. Призначення для кожної зони оптимальних методів та стадій обробки на основі нормативних таблиць економічної точності.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		31

Керуючись принципами постійності та суміщення технологічних баз, а також сумісності операцій, сформовано такий маршрут виготовлення тихохідного вала.

Послідовність операцій маршрутного технологічного процесу

Операція 005. Фрезерно-центрувальна

Виконання підрізання та центрування торцевих поверхонь 1 і 2 для витримання лінійного розміру 158-1 мм.

Операція 010. Токарна з ЧПК

Підрізання торця 1, точіння захисної фаски 22 розміром 0,5 x 45°. Точіння зовнішньої поверхні 3 до досягнення діаметра 77_{-0,74} мм. Свердління внутрішнього отвору 6 до діаметра 26,5 мм на глибину 26,5 мм. Розточування ступенчатого отвору 5 до діаметра 30 мм із формуванням торця 20 у розмір 12,5^{+0,43} мм. Попереднє розточування отвору 4 до діаметра 33,8^{+0,62} мм з наступним напівчистовим розточуванням цього ж отвору до діаметра 34,2^{+0,16} мм. Формування фаски 23 розміром 0,5 x 45°.

Операція 015. Токарна з ЧПК

Обточування циліндричного ступеня 14 до діаметра 48h14 мм із витриманням розміру торця 18 на рівні 10_{-0,36} мм. Обточування суміжного циліндра 15 до діаметра 39h14 мм із підрізанням торця 17 у розмір 17_{-0,52} мм та виконанням фаски 27 розміром 0,5 x 45°.

Попереднє точіння відповідального циліндра 13 до діаметра 36,45_{-0,62} мм із витриманням лінійного розміру торця 16 на рівні 23_{-0,52} мм. Напівчистове обточування цієї ж поверхні 13 до діаметра 36_{-0,16} мм та її подальше чистове точіння до діаметра 35,8_{-0,103} мм.

Напівчистове точіння циліндричної ділянки 12 до діаметра 35,2_{-0,16} мм. Прорізання технологічної канавки 28 у розмір 3^{+0,25} мм. Свердління отвору 10 під різьбу до діаметра 5,5 мм на глибину 18 мм, zenкування на ньому вхідної фаски та подальше нарізання внутрішньої різі М5.

Операція 020. Шпонково-фрезерна

Фрезерування закритого шпонкового паза 29 у розмір 10P8.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		32

Операція 025. Круглошліфувальна

Попереднє шліфування зовнішньої підшипникової шийки 13.

Операція 030. Вертикально-свердлильна

Свердління трьох отворів 7, 8, 9 на глибину 10 мм. Подальше фінішне розгортання цих отворів 7, 8, 9 до досягнення діаметра 6H7 на глибину 10 мм. Зняття захисних фасок 25–27 розміром 0,5 x 45°.

Операція 035. Вертикально-свердлильна

Свердління технологічного отвору 11 на глибину 13 мм.

Операція 040. Внутрішньошліфувальна

Попереднє шліфування центрального отвору 4 до діаметра 34,6^{+0,039} мм.

Операція 045. Термічна обробка

Загартування робочої поверхні циліндричної шийки 13 для підвищення твердості.

Операція 050. Круглошліфувальна

Остаточне шліфування циліндричного ступеня 12 під шків до досягнення діаметра 35h8 мм.

Операція 055. Круглошліфувальна

Фінішне (остаточне) шліфування підшипникової шийки 13 до отримання посадкового діаметра 35k6 мм.

Операція 060. Внутрішньошліфувальна

Остаточне калібрувальне шліфування внутрішнього отвору 4 до посадкового діаметра 35H7.

Операція 065. Технічний контроль

Приймальний контроль усіх геометричних розмірів, взаємного розташування поверхонь вала та параметрів шорсткості на відповідність вимогам конструкторської документації.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		33

2.5.1 Обґрунтування та підбір верстатного обладнання і технологічного оснащення

Принципи вибору металорізального обладнання

Першочерговим критерієм підбору технологічного обладнання є його функціональні можливості та відповідність службовому призначенню, що визначає конкретний вид механічної обробки, під який розроблено верстат. Наступним за значущістю фактором виступають габаритні параметри робочої зони верстата — вони повинні повністю відповідати розмірам вихідного штучного прокату з урахуванням конфігурації та габаритів затискних пристосувань. Третім базовим критерієм є здатність верстата забезпечити регламентований кресленням ступінь точності обробки поверхонь.

Після виконання цих фундаментальних вимог аналіз спрямовують на оцінювання продуктивності обладнання, потенціалу його механізації та автоматизації, що має чітко відповідати масштабам дрібносерійного типу виробництва.

Критерії вибору технологічного оснащення

Під час підбору оптимальних затискних та базувальних пристосувань враховують комплекс технічних вимог до точності взаємного розташування поверхонь деталі, обсяг випуску, плановану продуктивність операцій, норми техніки безпеки, вимоги промислової санітарії, а також економічну доцільність і витрати на проектування та виготовлення самого оснащення.

Зважаючи на конструктивні особливості ступенчатого вала, технічні обмеження та заплановані етапи обробки, для реалізації технологічного процесу затверджено такий комплекс обладнання та верстатного оснащення:

Технічна характеристика верстатного парку та оснащення за операціями

Операція 005 (Фрезерно-центрувальна): Для одночасного фрезерування торців та зацентрування заготовки застосовується фрезерно-центрувальний напівавтомат моделі МР-71М. Базування та фіксація деталі здійснюється у

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		34

спеціальному пристосуванні, що забезпечує встановлення по зовнішній циліндричній поверхні з жорстким упором у торець.

Операція 010 (Токарна з ЧПК): Виконується на токарному верстаті з числовим програмним керуванням моделі 16K20Ф3, обладнаному системою ЧПК типу WL4T. Для надійного закріплення заготовки використовується трикулачковий спірально-рейковий патрон підвищеної точності (серійний номер 7100-0010).

Операція 015 (Токарна з ЧПК): Для досягнення високої концентрації переходів обробка продовжується на токарному верстаті з ЧПК моделі 16K20Ф3 (керування системою WL4T). Фіксація заготовки аналогічна — у трикулачковому спірально-рейковому патроні типу 7100-0010.

Операція 020 (Шпонково-фрезерна): Формування закритого шпонкового паза реалізується на шпонково-фрезерному напівавтоматі моделі 692М. Оснащенням служить спеціалізоване затискне пристосування з пневматичним приводом, яке базує вал на призми та фіксує його з упором у торець, що є оптимальним для серійних умов.

Операція 025 (Круглошліфувальна): Попереднє шліфування підшипникової шийки вала виконується на круглошліфувальному верстаті моделі 3М151, який адаптований для роботи методом врізного шліфування. Встановлення деталі здійснюється в центрах із використанням стандартного переднього центру, напівцентру та повідкового хомутика.

Операція 030 (Вертикально-свердлильна): Свердління та розгортання трьох фланцевих отворів проводиться на вертикально-свердлильному верстаті моделі 2Н135. Для базування використовується спеціальний кондуктор із розміщенням вала на призмах та комбінованим механіко-пневматичним затискачем.

Операція 035 (Вертикально-свердлильна): Свердління технологічного отвору малого діаметра виконується на аналогічному вертикально-свердлильному верстаті моделі 2Н135 із застосуванням спеціалізованого пристосування на призмах.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		35

Операція 040 (Внутрішньошліфувальна): Попереднє шліфування внутрішнього центрального отвору вала здійснюється на внутрішньошліфувальному верстаті моделі 3К227В, налаштованому на врізну схему роботи. Закріплення деталі виконується за допомогою універсального трикулачкового спірально-рейкового патрона.

Операція 050 (Круглошліфувальна): Чистове калібрувальне шліфування циліндричної шийки під шків реалізується на круглошліфувальному верстаті моделі 3М151. Базування вала — у центрах (із застосуванням стандартного центру, напівцентру та повідкового хомутика).

Операція 055 (Круглошліфувальна): Остаточне фінішне шліфування відповідальної підшипникової шийки вала до заданого діаметра виконується на круглошліфувальному обладнанні моделі 3М151 за тією ж схемою базування в центрах (центр, напівцентр, хомутик).

Операція 060 (Внутрішньошліфувальна): Фінішна обробка внутрішнього підшипникового гнізда до досягнення точного посадкового діаметра проводиться на внутрішньошліфувальному верстаті моделі 3К227В із фіксацією деталі у трикулачковому спірально-рейковому патроні типу 7100-0010.

2.5.2 Визначення міжопераційних припусків та проміжних технологічних розмірів

Відповідно до технічного завдання, розрахунок припусків реалізується табличним методом для всіх оброблюваних поверхонь вала, геометричні параметри яких не визначаються безпосередньо конструктивними розмірами різального інструменту (наприклад, стандартними свердлами чи розгортками).

Припуски є фундаментальними параметрами під час проектування будь-якого технологічного процесу. Вони визначають проміжні розміри заготовки на кожній стадії обробки, на основі яких надалі здійснюється підбір різальних інструментів, розробка верстатного оснащення, а також розрахунок режимів

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

різання та норм штучного часу. Міжопераційні припуски та проміжні допуски призначено за відповідними довідковими таблицями технологічного проектування.

Нижче наведено детальний опис стадій обробки, точності, мікрогеометрії та проміжних розмірів для кожної конструктивної поверхні тихохідного вала.

Технологічні етапи обробки та проміжні параметри поверхонь

1. Обробка зовнішньої циліндричної поверхні номінальним діаметром 77 мм (кінцевий розмір за квалітетом h14)

Напівчистове точіння: Забезпечує 14 квалітет точності та шорсткість поверхні Ra 6,3мкм. Технологічний допуск становить 0,74 мм, міжопераційний припуск - 0,4 мм (розрахунково 2 x 0,2 мм). Проміжний розмір із відхиленнями дорівнює: діаметр 77 мм із мінусовим допуском 0,74 мм.

Чорнове точіння: Виконується за 15 квалітетом із шорсткістю Ra 25мкм. Допуск на обробку становить 1,2 мм, припуск на зняття металу - 4,6 мм. Проміжний технологічний розмір: діаметр 77,4 мм із мінусовим допуском 1,2 мм.

Вихідна заготовка: Гарячекатаний прокат (круг) номінальним діаметром 82 мм зі звичайною точністю виготовлення та шорсткістю Rz 160мкм. Допуск на прокат становить 0,62 мм, загальний припуск - 2 мм. Розмір закупки: діаметр 82 мм із мінусовим допуском 0,62 мм.

2. Обробка відповідальної підшипникової шийки номінальним діаметром 35 мм (кінцевий розмір за квалітетом k6)

Остаточне шліфування: Забезпечує високу точність за 6 квалітетом та чисту шорсткість Ra 0,8 мкм. Допуск становить 0,018 мм, міжопераційний припуск - 0,4 мм. Кінцевий розмір: діаметр 35 мм із мінусовим допуском 0,018 мм.

Попереднє шліфування: 8 квалітет точності, шорсткість профілю Ra2,5мкм. Допуск дорівнює 0,039 мм, припуск на операцію - 0,4 мм. Проміжний розмір: діаметр 35,4 мм із мінусовим допуском 0,039 мм.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Чистове точіння: Виконується за 10 квалітетом із шорсткістю Ra3,2мкм. Технологічний допуск становить 0,1 мм, припуск - 0,2 мм. Проміжний розмір: діаметр 35,8 мм із мінусовим допуском 0,1033 мм.

Напівчистове точіння (другий етап): Забезпечує 11 квалітет, шорсткість Ra 6,3мкм. Допуск становить 0,16 мм, припуск - 0,45 мм. Проміжний розмір: діаметр 36 мм із мінусовим допуском 0,16 мм.

Напівчистове точіння (перший етап): Організується за 14 квалітетом, шорсткість поверхонь Ra12,5мкм. Технологічний допуск - 0,62 мм, припуск на різання - 45,55 мм. Проміжний розмір заготовки: діаметр 36,45 мм із мінусовим допуском 0,62 мм.

Вихідна заготовка: Сортовий прокат (круг) номінальним діаметром 82 мм із допуском 0,62 мм, загальним припуском 2 мм та шорсткістю Rz 160мкм. Розмір: діаметр 82 мм із мінусовим допуском 0,62 мм.

3. Обробка шийки під шків номінальним діаметром 35 мм (кінцевий розмір за квалітетом h8)

Шліфування: Забезпечує 8 квалітет точності та шорсткість стінок Ra3,2мкм. Допуск становить 0,039 мм, припуск на обробку - 0,2 мм (розрахунково 2 x 0,1 мм). Кінцевий розмір: діаметр 35 мм із мінусовим допуском 0,039 мм.

Напівчистове точіння: 11 квалітет точності, шорсткість поверхні Ra6,3мкм. Допуск дорівнює 0,160 мм, міжопераційний припуск - 0,45 мм. Проміжний розмір вала: діаметр 35,2 мм із мінусовим допуском 0,16 мм.

Чорнове точіння: 14 квалітет точності, шорсткість Ra 25мкм. Технологічний допуск - 0,620 мм, припуск на зняття металу - 45,35 мм. Проміжний розмір: діаметр 35,65 мм із мінусовим допуском 0,62 мм.

Вихідний прокат: Круг номінальним діаметром 82 мм (допуск 0,62 мм, припуск 2 мм, шорсткість Rz 160мкм. Розмір закупки: діаметр 82 мм із мінусовим допуском 0,62 мм.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		38

4. Обробка циліндричного ступеня номінальним діаметром 39 мм (кінцевий розмір за квалітетом h14)

Напівчистове точіння: Забезпечує 14 квалітет і шорсткість Ra6,3мкм. Допуск становить 0,62 мм, припуск - 0,4 мм (2 x 0,2 мм). Проміжний технологічний розмір (відповідно до скоригованих даних): діаметр 39 мм із мінусовим допуском 0,62 мм.

Чорнове точіння: 15 квалітет точності, шорсткість поверхні Ra25 мкм. Допуск дорівнює 1,0 мм, припуск - 56,6 мм. Проміжний розмір: діаметр 39,4 мм із мінусовим допуском 1,0 мм.

Вихідний прокат: Сортовий круг номінальним діаметром 82 мм (допуск 0,62 мм, припуск 2 мм, шорсткість Rz 160мкм).

5. Обробка циліндричного ступеня номінальним діаметром 48 мм (кінцевий розмір за квалітетом h14)

Напівчистове точіння: 14 квалітет точності, параметр шорсткості Ra 6,3 мкм. Технологічний допуск становить 0,620 мм, міжопераційний припуск - 0,40 мм (2 x 0,2 мм). Отримуваний розмір: діаметр 48,0 мм із мінусовим допуском 0,62 мм.

Чорнове точіння: 15 квалітет точності, шорсткість поверхонь Ra 25 мкм. Допуск дорівнює 1,00 мм, припуск на операцію - 33,60 мм. Проміжний розмір вала: діаметр 48,40 мм із мінусовим допуском 1,0 мм.

Вихідна заготовка: Сортовий круг номінальним діаметром 82,0 мм (допуск 0,620 мм, припуск 2 мм, шорсткість Rz 160мкм).

6. Обробка внутрішнього підшипникового отвору номінальним діаметром 35 мм (кінцевий розмір за квалітетом H7)

Остаточне шліфування: Забезпечує високу точність за 7 квалітетом та чистоту обробки Ra 0,8 мкм. Допуск на внутрішній розмір становить 0,025 мм, припуск - 0,4 мм. Кінцевий розмір: діаметр 35 мм із плюсовим допуском 0,025 мм.

Попереднє шліфування: 8 квалітет точності, шорсткість стінок отвору Ra 2,5мкм. Допуск дорівнює 0,039 мм, міжопераційний припуск - 0,4 мм.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		39

Проміжний технологічний розмір: діаметр 34,6 мм із плюсовим допуском 0,039 мм.

Напівчистове розточування: 11 квалітет точності, шорсткість поверхні Ra 6,3мкм. Технологічний допуск становить 0,160 мм, припуск - 0,4 мм. Проміжний розмір: діаметр 34,2 мм із плюсовим допуском 0,160 мм.

Попереднє розточування: 14 квалітет точності, шорсткість Ra 12,5мкм. Допуск дорівнює 0,62 мм, припуск на зняття металу - 7,3 мм. Проміжний розмір: діаметр 33,8 мм із плюсовим допуском 0,620 мм.

Свердління: Первинна обробка суцільного металу за 14 квалітетом, шорсткість стінок Rz 40мкм. Допуск на свердло становить 0,62 мм, припуск - 13,2 мм. Отримуваний розмір після проходу інструменту: діаметр 26,5 мм із плюсовим допуском 0,62 мм.

7. Обробка внутрішнього циліндричного отвору номінальним діаметром 30 мм (кінцевий розмір за квалітетом H14)

Напівчистове розточування: Забезпечує 14 квалітет точності та шорсткість Ra 6,3мкм. Технологічний допуск становить 0,62 мм, припуск на операцію - 0,4 мм. Проміжний розмір: діаметр 30 мм із мінусовим допуском 0,62 мм.

Чорнове розточування: 14 квалітет точності, шорсткість стінок Ra 12,5мкм. Допуск дорівнює 0,62 мм, припуск - 3,9 мм. Проміжний технологічний розмір: діаметр 30,4 мм із мінусовим допуском 0,62 мм.

Свердління: Початкова стадія, яка виконується за 14 квалітетом із шорсткістю Rz 40мкм. Допуск на інструмент становить 0,52 мм, припуск - 13,2 мм. Розмір після першого проходу: діаметр 26,5 мм із плюсовим допуском 0,52 мм.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		40

2.5.3 Проектування та розробка операційної технології

Відповідно до вимог технічного завдання, операційний опис розробляється для детального структурування процесу обробки, що дозволяє визначити найбільш раціональну послідовність виконання основних (технологічних) та допоміжних переходів у межах конкретної операції.

Нижче наведено розгорнутий опис побудови операційної технології для початкових етапів механічної обробки тихохідного вала.

Операція 005. Фрезерно-центрувальна

Для реалізації цієї операції затверджено фрезерно-центрувальний напівавтомат моделі МР-71М. Як технологічні бази використовуються необроблена зовнішня циліндрична поверхня штучного прокату та його торцевий бік. Базування та надійна фіксація заготовки забезпечуються у спеціалізованому верстатному пристосуванні (кондукторі) на призми з жорстким упором у торець.

Склад та послідовність виконання технологічних переходів:

1. Встановлення, позиціонування та затискання вихідної заготовки в робочій зоні пристосування.
2. Фрезерування обох торцевих площин 1 та 2 для забезпечення лінійного габариту вала 158_{-1,3} мм.
3. Одночасне зацентрування (свердління центрових отворів) з обох кінців заготовки.
4. Розтискання та зняття обробленого напівфабрикату з верстата.
5. Метрологічний контроль отриманого лінійного розміру 158_{-1,3} мм.

Технологічне оснащення та інструментальне забезпечення:

Різальний інструмент: Торцева насадна фреза з механічним кріпленням твердосплавних пластин номінальним діаметром 80 мм (кількість зубів $z=7$, ширина $B=50$ мм, маркування за міжнародним стандартом DIN1835 — F75AP-D80-27); комбіноване центрувальне свердло типу 2317-0008.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41

Контрольно-вимірювальні прилади: Цифровий штангенциркуль із дискретністю відліку 0,05 мм та діапазоном вимірювання 250 мм (виконаний за стандартом DIN862).

Операція 010. Токарна з ЧПК

Механічна обробка на даному етапі організується на токарному верстаті з числовим програмним керуванням моделі 16K20Ф3. Процес базування здійснюється по раніше зацентрованих технологічних гніздах та обробленій циліндричній поверхні. Як верстатне оснащення використовується універсальний трикулачковий спірально-рейковий патрон підвищеної точності (модифікація 7100-0010).

Склад та послідовність виконання технологічних переходів:

1. Встановлення заготовки в кулачки патрона, вивірка та фіксація.
2. Поперечне підрізання торцевої поверхні 1 та обточування захисної фаски 22 у розмір 0,5 x 45°.
3. Чорнове обточування зовнішньої поверхні 3 до проміжного діаметра 77,4_{-1,2} мм.
4. Напівчистове точіння цієї ж поверхні 3 до отримання діаметра 77_{-0,74} мм.
5. О негове свердління внутрішнього центрального отвору 6 до діаметра 26,5 мм на повну глибину 26,5 мм.
6. Попереднє розточування внутрішнього отвору 5 до проміжного діаметра 30,4_{-0,62} мм.
7. Напівчистове розточування отвору 5 до номінального діаметра 30 мм із допуском -0,62 мм та паралельним підрізанням внутрішнього уступу (торця) 20 у лінійний розмір 2,5^{+0,43} мм.
8. Попереднє розточування підшипникового отвору 4 до проміжного діаметра 33,8^{+0,62} мм.
9. Напівчистове розточування отвору 4 до діаметра 34,2^{+0,16} мм із формуванням внутрішньої кутової фаски 23 розміром 0,5 x 45°.
10. Деактивація затискача та зняття деталі з верстата.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		42

11. Технічний контроль виконаних геометричних параметрів: діаметра 77 мм (допуск -0,74 мм), внутрішнього ступеня 30 мм (допуск -0,62 мм), отвору діаметром 25 мм з відхиленням -0,052 мм, лінійної координати уступу 12,5^{+0,43} мм та кутових фасок 0,5 x 45°.

Інструментальне забезпечення операції:

Прохідний токарний різець для чорнових робіт (правий) за класифікацією ISO: SCLCR/R 2525 M12, оснащений змінною твердосплавною пластиною типу CNMG120408-MP.

Чистовий правий токарний різець за кодифікацією ISO: CKJNR/R 2525 M16, укомплектований гострою ріжучою пластиною типу KNUX1604.

Розточні токарні різці для внутрішньої обробки за міжнародним стандартом: моделі S16R-SCLCRL-09 та E20S-SDUCR/L-07 відповідно.

Стандартне спіральне свердло з циліндричним/конічним хвостовиком діаметром 28,5 мм (виконання за DIN 338, тип N, призначене для загальномашинобудівних робіт).

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		43

2.6 Вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірного інструменту

Проаналізувавши попередні пункти і виходячи із дрібносерійного типу виробництва, вибраних методів обробки, типів верстатів, розмірів деталі, проводимо вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірного інструментів та записуємо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 — Вибір різального, допоміжного та вимірного інструменту

Номер, назва операції та переходу	Інструмент		
	Різальний	Допоміжний	Вимірювальний
1	2	3	4
005 Фрезерно-центрувальна			
Перехід 2 Фрезерувати торці 1 і 2	Торцева фреза з твердосплавними пластинами Ø120; z=7, B=50, F75AP-D80-27 DIN1835	Оправка з продовженою шпонкою і конічним хвостовиком DIN 2080	Лінійка NIRO 300, DIN 866B
Перехід 3 Свердлити центрові отвори	Свердло центрувальне HSS-TiN DIN 333 виконання А, 2шт	Патрон спеціальний з комплекту верстату, 2шт	-
010 Токарна зЧПК			
Перехід 2 Підрізати торець 1, точити фаску 22 в розмір 0,5x45°	Різець токарний ISO SCLCR/R 2525 M12 (чорновий правий). Ріжуча пластина ISO CNMG120408-MP	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05

Перехід 3 Точити поверхню 3 попередньо в розмір $\varnothing 77,4_{-1,2}$	Різець токарний ISO SCLCR/R 2525 M12 (чорновий правий). Ріжуча пластина ISO CNMG120408-MP	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05
Перехід 4 Точити поверхню 3 напівчисто в розмір $\varnothing 77_{-0,74}$	Різець ISO СКJNR/R 2525 M16 (чистовий правий).	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05
Перехід 5 Свердлити отвір 6 в розмір $\varnothing 26,5$ L=26,5.	Сверло спіральне $\varnothing 28,5$ DIN 338 тип N	Патрон цанговий 1-50-6-90 ГОСТ 26539-85 DIN 6349	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05
Перехід 6 Розточити отвір 5 попередньо в розмір $\varnothing 30,4_{-0,62}$	Різець токарний розточний ISO S16R-SCLCRL-09	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05
Перехід 7 Розточити отвір 5 напівчисто в розмір $\varnothing 30_{-0,62}$	Різець розточний токарний ISO E20S- SDUCR/L-07	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05
Перехід 8 Розточити отвір 4 попередньо в розмір $\varnothing 33,8_{+0,620}$	Різець токарний розточний ISO S16R-SCLCRL-09	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05

Перехід 9 Розточити отвір 4 напівчисто в розмір $\varnothing 34,2_{+0,160}$. Розточити фаску 23 в розмір $0,5 \times 45^\circ$	Різець розточний токарний ISO E20S- SDUCR/L-07	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05
015 Токарна з ЧПК			
Перехід 2 Точити циліндр 14 в розмір $\varnothing 48h14$, торець 18 в розмір $10_{-0,36}$.	Різець токарний ISO SCLCR/R 2525 M12 (чорновий правий).	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05
Перехід 3 Точити циліндр 15 в розмір $\varnothing 39h14$, торець 17 в розмір $17_{-0,52}$. Нарізати фаску 27 в розмір $0,5 \times 45^\circ$.	Різець токарний ISO SCLCR/R 2525 M12 (чорновий правий).	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05
Перехід 4 Точити циліндр 13 попередньо в розмір $\varnothing 36,45_{-0,62}$, торець 16 в розмір $23_{-0,52}$,	Різець токарний ISO SCLCR/R 2525 M12 (чорновий правий). Різальна пластина ISO CNMG120408-MP	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05

Перехід 5 Точити циліндр 13 напівчисто в розмір $\varnothing 36_{-0,16}$.	Різець токарний ISO SCLCR/R 2525 M12 (чорновий правий). Різальна пластина ISO CNMG120408-MP	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05
Перехід 6 Точити циліндр 13 начисто в розмір $\varnothing 35,8_{-0,1033}$	Різець ISO СКJNR/R 2525 M16 (чистовий правий). Різальна пластина KNUX1604	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05
Перехід 7 Точити циліндр 12 напівчисто в розмір $\varnothing 35,2_{-0,16}$	Різець ISO СКJNR/R 2525 M16 (чистовий правий). Різальна пластина KNUX1604	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05
Перехід 8 Точити канавку 28 в розмір $3_{+0,25}$	Різець канавковий TGFR/R 2525-4	Різцетримач з комплекту верстату	Штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05
Перехід 9 Свердлимо отвір 10 в розмір $\varnothing 5,5$ L=18 мм.	Сверло спіральне $\varnothing 5,5$ L=120 DIN 338 тип N	Патрон спеціальний з комплекту верстату, 2шт	Штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05
Перехід 10 Нарізати фаску на отворі 10	Зенківка конічна ISO DIN 335	Патрон спеціальний з комплекту верстату, 2шт	Штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05

Перехід 11. Нарізати різь М5 в отворі 10.	Мітчик різьбовий М5 ТА157А6 ISO DIN 371	Патрон різьбонарізний 6162-4003-01 КМЗ МЗ-М12	Калібр різьбовий М5 DIN ISO 286/1
020 Шпонково-фрезерна			
Перехід 2 Фрезерувати шпонковий паз 29 в розмір 10Р9, L=18	Фреза шпонкова із циліндричним хвостовиком спеціальна Ø16Р9, L=60, l=11, z=2 DIN6535НА	Патрон цанговий 1-50-6-90	Калібр пазовий 16Р9 Штангенциркуль Тип CR 2032 250-0,05 DIN862
025 Круглошліфувальна			
Перехід 2 Шліфувати циліндр 13 в розмір Ø35,4-0,039	Круг абразивний ПП 600x30x305 25А25ПСМ 5К5 50м/с А1кл	Оправка з комплекту верстата	Калібр-скоба односторонній двохграничний Ø35,4h8 DIN 2230 Биттемір ПБ-500 DIN 879 Зразки шорсткості DIN 7168
030 Вертикально-свердлильна			
Перехід 2 Свердлити отвори 7, 8 ,9 в розмір Ø5,8 L=10 мм	Сверло спіральне Ø5,8 L=135 DIN 338 тип N	Патрон спеціальний з комплекту верстату, 2шт	Штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05
Перехід 3 Ровернути отвори 7, 8 ,9 в розмір Ø6Н7 L=10 мм	Розвертка 6Н7 DIN 204 тип N	Патрон спеціальний з комплекту верстату, 2шт	Штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05 Калібр-пробка двостороння Ø6Н7 DIN 2245

Перехід 4 Нарізати фаски 25-27 в розмір 0,5x45 °	Зенківка конічна ISO DIN 335	Патрон спеціальний з комплекту верстату, 2шт	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 Калібр-пробка двостороння Ø6H7 DIN 2245
035 Вертикально-свердлильна			
Перехід 2 Свердлити отвір 11 в розмір Ø4	Сверло спіральне Ø L=105 DIN 338 тип N	Патрон спеціальний з комплекту верстату, 2шт	Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05
040 Внутрішньо-шліфувальна			
Перехід 2 Шліфувати отвір 4 поперечно в розмір Ø34,6 ^{+0,039}	Круг абразивний HK9 80 – I7 VK Ø25 мм DIN 69170 тип ZY	Оправка з комплекту верстата	Зразки шорсткості DIN 7168, калібр- пробка востороння Ø6H7 DIN 2245
050 Круглошліфувальна			
Перехід 2 Шліфувати поверхню 12 остаточно в розмір Ø35h8	Круг абразивний ПП 600x30x305 25A25ПСМ 5K5 50м/с А1кл ГОСТ 2424-83 [6] С.253 табл.170	Оправка з комплекту верстата	Калібр-скоба односторонній двохграничний Ø35 h 8 DIN 2230 Биттемір ПБ-500 DIN 879 Зразки шорсткості DIN 7168

055 Круглошліфувальна			
Перехід 2 Шліфувати циліндр 13 в розмір $\varnothing 35k6$	Круг абразивний ПП 600x30x305 25A25PCM 5K5 50м/с А1кл	Оправка з комплекту верстата	Калібр-скоба односторонній двохграничний $\varnothing 35k6$ DIN 2230 Биттемір ПБ-500 DIN 879 Зразки шорсткості DIN 7168
060 Внутрішньо-шліфувальна			
Перехід 2 Шліфувати отвір 4 остаточно в розмір 35H7	Круг абразивний НК9 80 – I7 VK $\varnothing 25$ мм DIN 69170 тип ZY	Оправка з комплекту верстата	Калібр-пробка двостороння $\varnothing 6H7$ DIN 2245, зразки шорсткості DIN 7168

2.5.5. Розрахунок режимів різання

Для операції 010 (токарна з числовим програмним керуванням) на прикладі технологічного переходу № 2, що передбачає попереднє обточування зовнішньої циліндричної поверхні 3 до проміжного діаметра $\varnothing 77,4_{-1,2}$ мм, визначимо основні параметри режиму різання.

Вихідні дані та геометрія інструменту

Для виконання зазначеного переходу застосовується прохідний токарний різець для чорнових робіт (правий виконання) з кодуванням за міжнародною системою ISO: SCLCR/L 2525 M12. Інструмент оснащений змінною твердосплавною пластиною типу ISO CNMG120408-MP та має такі заздалегідь визначені геометричні параметри:

головний кут у плані $\varphi=93^\circ$;

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

передній кут $\gamma=0^\circ$;

головний задній кут $\alpha=10^\circ$;

кут нахилу головного різального леза $\lambda=5^\circ$;

радіус заокруглення вершини різця $r = 1$ мм.

Визначення довжини робочого ходу інструменту

Сумарну траєкторію руху різця під навантаженням (довжину робочого ходу) обчислюємо за технологічною залежністю:

$$L_{p.x.} = l_{piz} + y + l_{дод} \quad (2.5)$$

Де складові елементи мають такі значення:

$l_{piz} = 10$ мм — безпосередня довжина точіння циліндричного ступеня відповідно до графічних вимог креслення вала;

$y = 4$ мм — інтегрована величина, що враховує відстань для безпечного підведення, врізання різця в метал та його подальшого перебігу (призначено за технологічними нормативами);

$l_{дод} = 0$ мм — додатковий лінійний параметр, пов'язаний з особливостями налагодження та позиціонування робочих органів верстата.

Після підстановки числових значень отримуємо підсумкову довжину ходу:

$$L_{p.x.} = 10 + 4 + 0 = 14 \text{ мм}$$

Розрахунок глибини різання

Глибина різання t при чорновому поздовжньому точінні визначається на основі розміру вихідного прокату (діаметр 82 мм) та отриманого після поточного проходу проміжного розміру (діаметр 77,4 мм). Розрахунок ведеться за формулою:

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{82 - 77,40}{2} = 2,3, \text{ мм} \quad (2.6)$$

де D – діаметр заготовки, мм;

d – діаметр деталі, мм;

Таким чином, глибина різання для цього технологічного переходу становить **2,3 мм**.

Подача на один оберт шпинделя:

					КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$S_o=0.6$ мм/об згідно [37] с.24, табл. 2.3.

Швидкість різання:

$$V=V_{табл} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ м/хв}, \quad (2.7)$$

де $V_{табл} = 105,0$ м/хв - табличне значення швидкості різання, згідно [37];

$K_1 = 0,750$ - поправочний коефіцієнт [37];

$K_2 = 1,00$ - поправочний коефіцієнт [37];

$K_3 = 0,810$ -поправочний коефіцієнт [37].

Отже $V = 105,0 \cdot 0,750 \cdot 1,00 \cdot 1,505 = 122,061$ м/хв.

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв}. \quad (2.8)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 122,060}{3,14 \cdot 74,40} = 522 \text{ об/хв}$$

Приймаємо $n= 550$ об/хв.

Дійсна швидкість головного руху:

$$V_d = \frac{\pi D n_d}{1000}, \text{ м/хв}. \quad (2.9)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 74,40 \cdot 600}{1000} = 140,161 \text{ м/хв}$$

Швидкість подачі визначаємо за формулою:

$$V_s=S_o \cdot n_d, \text{ мм/хв}. \quad (2.10)$$

$$V_s=0,6 \cdot 550 = 330, \text{ мм/хв}$$

Сила різання згідно [37] становить 3257 Н.

Потужність різання $N=5,68$ кВт [10].

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Основний час на обробку:

$$T_o = \frac{L_{p.x.}}{V_s}, \text{ хв.} \quad (2.11)$$

$$T_o = \frac{10,0}{330} = 0,03, \text{ хв.}$$

Для операції 005 (фрезерно-центрувальна) на прикладі технологічного переходу № 2, який передбачає одночасне фрезерування торцевих площин 1 та 2, визначимо параметри траєкторії руху інструменту табличним методом.

Вихідні дані та параметри інструменту

Для торцювання вала з обох кінців обрано такий різальний інструмент:

Насадна торцева фреза, оснащена механічно закріпленими пластинами з твердого сплаву.

Номінальний діаметр фрези становить 120 мм.

Кількість зубів (вільних різальних лез) на інструменті - $z = 7$.

Ширина фрезерування (робоча ширина інструменту) - $B = 50$ мм.

Конструктивне виконання та маркування хвостової частини відповідає міжнародному стандарту DIN1835 (модифікація F75AP-D80-27).

Визначення довжини робочого ходу фрези

Для розрахунку загального шляху, який проходить вісь фрези під навантаженням від моменту дотику до виходу із зони різання, застосовується така математична залежність:

$$L_{p.x.} = l_{piz} + y + l_{dod} \quad (2.12)$$

Де $L_{p.x.} = 82$ мм – довжина різання згідно креслення деталі;

y – довжина підводу, врізання і перебігу інструменту, згідно [37] складає $y=14$ мм;

$l_{dod} = 0$ - додаткова довжина, пов'язана з налагодженням верстату.

Отже $L_{p.x.} = 96$ мм.

Подача на одиноберт шпинделя:

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$S_o=0.12$ мм/об згідно [37].

Швидкість різання:

$$V=V_{табл} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \text{ м/хв},$$

де $V_{табл} = 130$ м/хв - табличне значення швидкості різання, згідно [37];

$K_1 = 1,0$ - поправочний коефіцієнт [37];

$K_2 = 1,0$ - поправочний коефіцієнт [37];

$K_3 = 1,2$ -поправочний коефіцієнт [37].

Отже $V = 130 \cdot 1,0 \cdot 1,00 \cdot 1,20 = 156$ м/хв.

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв.}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 156}{3,14 \cdot 80,0} = 584 \text{ об/хв}$$

Згідно паспорту верстату приймаємо $n= 712$ об/хв.

Дійсна швидкість головного руху:

$$V_d = \frac{\pi D n_d}{1000}, \text{ м/хв.}$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 80,0 \cdot 712}{1000} = 190 \text{ м/хв.}$$

Швидкість подачі визначаємо за формулою:

$$V_s=S_o \cdot n_d, \text{ мм/хв.}$$

$$V_s=0,12 \cdot 712 = 85,44, \text{ мм/хв.}$$

Сила різання згідно [37] 5657 Н.

Потужність різання $N=7,20$ кВт [37].

Основний час на обробку:

$$T_o = \frac{L_{p,x.}}{V_s}, \text{ хв.}$$

$$T_o = \frac{45,0}{190} = 0,23, \text{ хв.}$$

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

2.6 Обґрунтування вибору технологічного оснащення для операції

2.6.1 Призначення, конструкція та принцип дії пристосування

Аналіз запроєктованого технологічного процесу обробки деталі показав, що для оптимізації штучно-калькуляційного часу на шпонково-фрезерній операції 020 та зростання загальної продуктивності праці доцільно впровадити високоефективне оснащення з автоматизованим приводом затискання. Конструктивне виконання цього пристрою представлено на відповідному кресленні графічної частини проєкту.

До складу зазначеного технологічного оснащення входять такі вузли та елементи:

- Несуча частина: корпус, що слугує основою для монтажу гідроциліндра та опорних призм;
- Затискний механізм: притискна планка;
- Базувальні та установчі елементи: пара призм, а також торцевий упор для фіксації бічної поверхні напівфабрикату.

Даний пристрій належить до категорії переналагоджуваних, що є раціональним рішенням в умовах серійного типу виробництва. Його впровадження дозволяє досягти високої точності та мінімальних витрат часу на встановлення заготовки під час виконання комплексу механічної обробки.

Принцип роботи оснащення: Заготовка базується на двох опорних призмах (поз. 4 і 5) та доводиться до контакту з бічним упором (поз. 2). Процес фіксації реалізується за допомогою гідроциліндра (поз. 12), змонтованого на нарізних шпильках (поз. 9). Після завершення фрезерування повернення затискної планки у вихідне (підняте) положення забезпечується дією пружини (поз. 23). Для безперешкодного та зручного зняття готової деталі передбачено обертання притискної планки навколо осі (поз. 19).

Гідравлічний циліндр комутується з центральною гідросистемою верстата через штуцери (поз. 11). Орієнтація та фіксація самого пристосування на

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

робочому столі обладнання здійснюється за допомогою призматичних шпонок (поз. 25) і болтового з'єднання через спеціальні пази в корпусі (поз. 1).

2.6.2 Вибір схеми базування та аналітичний розрахунок похибки базування

Для забезпечення необхідної точності обробки прийнято схему базування заготовки на двох призмах. Технологічними базами у цьому випадку виступають циліндричні поверхні 13 та 12. Обмеження осевого переміщення виконується шляхом орієнтації по торцевій поверхні 1. Під час встановлення заготовки в робочу зону пристрою необхідно забезпечити її щільне прилягання зазначеним торцем до упору. Графічне зображення обраної схеми базування наведено на рис. 2.3.

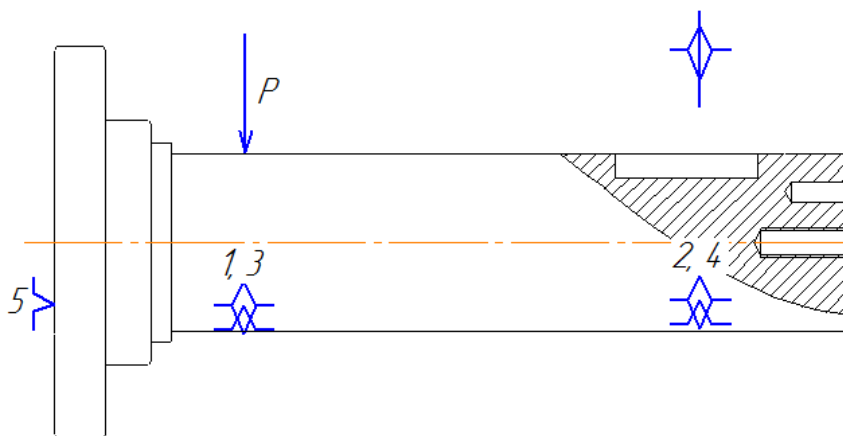


Рис. 2.3. Схема базування деталі в пристосуванні.

Прийняття схеми встановлення заготовки обґрунтовується значенням похибки базування. Розрахункова величина не може бути більшою за половину від загального допуску на виконання розміру шпонкового паза. Крім того, ця похибка обмежується половиною поля допуску на діаметр вала, на якому здійснюється фрезерування.

Аналітичне визначення цієї величини виконується за формулою:

					КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$\varepsilon_B = 0,5 \cdot T_d \cdot \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right), \quad (2.19)$$

де: T_d – допуск діаметра по якому вал базується на призму,

α – половина кута призми, оскільки кут стандартної призми становить 90° , то $\alpha = 45^\circ$

Після точіння поверхні по 10 квалітету, величина допуску поверхонь, яким деталь встановлюється на призму становить $T_d = 0,1$ мм.

Таким чином:

$$\varepsilon_B = 0,5 \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{1}{\sin 45} - 1 \right) = 0,021 \text{ мм}$$

Отже ε_B менше ніж допуск поверхонь на якому нарізається шпонковий паз. Таким чином робимо висновок про правильність вибору схеми базування.

2.6.3 Розрахунок сили затиску

Сила різання при фрезеруванні становить:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}$$

де:

D – діаметр фрези;

t – глибина фрезерування;

S_z – подача на зуб;

B – ширина фрезерування;

n – частота обертання фрези;

Z – число зубів фрези.

$$P_z = \frac{10,0 \cdot 68,20 \cdot 10,0^{0,860} \cdot 0,020^{0,720} \cdot 3,50^1 \cdot 2}{10,0^{0,860} \cdot 500,0^0} \cdot 0,930 = 1100 \text{ Н}$$

					КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Зайдемо величини інших складових сили різання:

Горизонтальна сила (подачі) $P_h = 0,4 \cdot P_z = 0,4 \cdot 1100 = 440$ Н.

Вертикальна сила $P_v = 0,9 \cdot P_z = 0,9 \cdot 1100 = 990$ Н.

Радіальна сила $P_y = 0,4 \cdot P_z = 0,4 \cdot 1100 = 440$ Н.

Осьова сила $P_x = 0,55 \cdot P_z = 0,55 \cdot 1100 = 600,5$ Н.

.Розглянемо схему силової взаємодії фрези, заготовки пристосування при обробці шпонкового пазу.

Сила подачі P_h намагається зсунути заготовку з призми, цьому протидіють сили тертя T і T_l , що виникають на поверхні шийки валу і на робочій поверхні призми.

З рівняння рівноваги сил визначаємо зусилля затиску:

$$Q_{P_z} = \frac{K_3 P_z}{(f + f_1)}$$

$$Q_{P_x} = \frac{K_3 P_x}{f + f_1}$$

Повна сила кріплення заготовки:

$$Q = \sqrt{Q_{P_z}^2 + Q_{P_x}^2} = \sqrt{\left(\frac{K_3 P_z}{(f + f_1)}\right)^2 + \left(\frac{K_3 P_x}{f + f_1}\right)^2}$$

Коефіцієнт запаса, що враховує нестабільність силової дії на заготовку вираховуємо по формулі:

$$K_3 = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6$$

де

$K_0 = 1,5$. –коєфіцієнт запаса;

$K_1 = 1,0$ – коєфіцієнт базування заготовки;

$K_2 = 1,30$ – коєфіцієнт затуплення інструменту;

$K_3 = 1,20$ – коєфіцієнт переривчастості різання;

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$K_4 = 1,0$ – коефіцієнт, постійності сили, що створює затискний механізм.

$K_5 = 1,0$ – коефіцієнт ергономіки затискного пристрою.

$K_6 = 1,0$ – коефіцієнт установки заготовки.

$$K_3 = 1,50 \cdot 1 \cdot 1,30 \cdot 1,20 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,34$$

Так як в результаті розрахунку $K_3 < 2,5$, то приймаємо $K_3 = 2,5$.

Приймаємо $f = f_l = 0,16$.

$$Q_{Pz} = \frac{2,50 \cdot 110}{0,320} = 859 \text{ Н}$$

$$Q_{Px} = \frac{2,50 \cdot 60,50}{0,320} = 472 \text{ Н}$$

$$Q = \sqrt{859^2 + 472^2} = 980 \text{ Н}$$

Сила P силового циліндра, необхідна для закріплення заготовки, дорівнює $P = 0,25\pi D^2 \rho \eta$, тоді діаметр поршня циліндра D може бути розрахований по формулі:

$$D = \sqrt{\frac{4Ql_2}{\pi \eta \rho l_1}}$$

де ρ – робочий тиск масла, приймаємо 1 МПа;

$\eta = 0,9$ – коефіцієнт корисної дії.

Визначаєм діаметр поршня гідроциліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 980,0 \cdot 87,50}{3,14 \cdot 0,90 \cdot 16 \cdot 125,0}} = 31 \text{ мм}$$

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Аналіз верстатів-аналогів

Нижче наведено огляд характеристик сучасного токарного обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК) для порівняльного аналізу та вибору оптимальної моделі.

Патронно-центровий токарний верстат із ЧПК 16A20Ф3

Це обладнання застосовується для напівавтоматичного обточування внутрішніх та зовнішніх поверхонь деталей обертального типу. Верстат дозволяє ефективно обробляти вироби зі складними ступінчастими та криволінійними профілями. Залежно від потреб замовника, можлива інтеграція систем ЧПК та електроприводів від провідних світових виробників (Siemens, Heidenhain, Fagor), а також вітчизняних аналогів (NC-210, «Мікрос-12Т»). Обладнання може випускатися у спеціалізованих модифікаціях за попереднім узгодженням. Основна сфера застосування — серійне та дрібносерійне виробництво.

Технічні параметри:

- Клас точності (за ДСТУ): П
- Максимальний діаметр встановлення над станиною: 500 мм
- Допустимий діаметр точіння: над станиною — 320 мм; над супортом — 200 мм
- Гранична довжина обробки: 900 мм (із 6-позиційною головкою), 750 мм (з 8-позиційною), 850 мм (з 12-позиційною)
- Максимальна довжина деталі в центрах: 1000 мм
- Прохідний отвір шпинделя: 55 мм
- Потужність головного електродвигуна: 11 кВт

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Тернопільський</i>			<i>Конструкторська частина</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник</i>					60	20
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа</i>						

- Габаритні розміри (Д×Ш×В): 3700 × 2260 × 1650 мм
- Маса (без системи відведення стружки): 4000 кг

Токарний верстат із ЧПК 16М30Ф3 (РМЦ 1500)

Високопродуктивне та надійне обладнання, що має стабільний попит у різних галузях машинобудування. Довготривала точність обробки забезпечується масивною жорсткою конструкцією, загартованими напрямними та вбудованою системою імпульсного змащування. Робочий процес оператора значно оптимізований завдяки наявності конвеєра для стружки, механізованого затиску/розтиску патрона та гідрофікованого керування піноллю задньої бабки. Модель укомплектована механізованим трикулачковим патроном, однією револьверною головкою та спеціальною стійкою під борштангу для розточування глибоких отворів.

Технічні параметри:

- Гранічний діаметр встановлення заготовки: 670 мм (над станиною)
- Максимальний діаметр обробки: 500 мм (над станиною), 320 мм (над супортом)
 - Максимальна довжина точіння: 1500 мм
 - Допустима маса заготовки: 850 кг
 - Характеристики шпинделя: кінець за DIN 2-11M; отвір — 80 мм
 - Параметри задньої бабки: діаметр пінолі — 120 мм; внутрішній конус Морзе 6
 - Хід супорта: по осі X — 605 мм; по осі Z — 1260 мм (дискретність 1 мкм)
 - Кількість керованих координат: 2
 - Швидкість обертання шпинделя: 8–2000 об/хв
 - Робочі подачі (осі X, Z): 1–4000 мм/хв (швидкі переміщення до 10000 мм/хв)
 - Місткість револьверної головки: 4 позиції
 - Потужність головного привода: 30 кВт

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		61

- Габаритні розміри (Д×Ш×В): 5500 × 3600 × 2130 мм
- Маса: 8000 кг

Токарно-гвинторізний верстат із ЧПК 16К20Т1

Ця модель розроблена переважно для виконання тонкої (чистої) обробки деталей обертального типу в рамках замкнутого напівавтоматичного робочого циклу.

Технічні параметри:

- Клас точності: П
- Граничний діаметр прутка: 500 мм
- Діаметр деталі над станиною: 220 мм
- Максимальна довжина точіння: 1000 мм
- Діапазон обертів шпинделя: від 160 до 2240 об/хв
- Потужність привода головного руху: 11 кВт
- Використовувана система ЧПК: НЦ-31
- Габаритні розміри (Д×Ш×В): 3700 × 1700 × 2145 мм
- Маса: 3800 кг

Патронно-центровий токарний верстат із ЧПК 16А20БФ3

Базове призначення верстата — напівавтоматична токарна обробка деталей зі складними профілями (включаючи внутрішні та зовнішні поверхні). Модель є гнучкою в комплектації: доступне встановлення систем керування та електроприводів від широкого спектра виробників, зокрема FANUC, Siemens, Heidenhain, Fagor або NC-210.

Технічні параметри:

- Клас точності: П (модифікація «В» доступна за індивідуальним замовленням)
- Діаметр встановлення над станиною: до 500 мм
- Діаметр обробки: 320 мм (над станиною), 200 мм (над супортом)
- Відстань між центрами: 1000 мм (опціонально 1500 або 2000 мм)

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		62

- Довжина точіння при 8-позиційній головці: 750 мм (можливе розширення до 1150 або 1750 мм)
- Діаметр шпindelного отвору: 72 мм
- Місткість інструментальної головки: 8 позицій
- Потужність головного двигуна: 11 кВт
- Габаритні розміри (Д×Ш×В): 3700 × 2260 × 1650 мм
- Маса: 4000 кг (у розширених версіях — 4400 або 4700 кг)

Висновок щодо вибору аналога.

За результатами аналізу наведених технічних характеристик, як базову модель-аналог для подальшого розгляду обрано токарно-гвинторізний верстат 16K20T1.

3. 2. Кінематичний розрахунок привода головного руху

Основне призначення приводних механізмів у металорізальних верстатах полягає у забезпеченні виконання робочих переміщень, а також процесів позиціонування. Залежно від характеру рухів, що здійснюються, приводи класифікують на три базові категорії: головного руху, руху подач та системи позиціонування.

3.2.1. Формування множинної структури та виконання розрахунків графоаналітичним методом

Для здійснення коректних обчислень необхідно визначити граничні межі - найбільшу та найменшу частоти обертання шпindelного вузла, а також задати знаменник геометричної прогресії.

Вихідні параметри швидкості обертання шпindelя:

Мінімальна частота $n_{\min} = 80$ об/хв;

Максимальна частота $n_{\max} = 1300$ об/хв.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Величину знаменника геометричного ряду приймаємо на рівні 1,26, оскільки саме цей показник дозволяє сформувати оптимальну та достатню кількість ступенів швидкості.

$$D = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{1300}{80} = 16$$

$$z = 1 + \lg D / \lg \varphi = 1 + \frac{\lg 16}{\lg 1.26} = 16$$

де D – діапазон регулювання частоти

Приймаємо ближні стандартні числа $Z = 16 = 4 \times 2 \times 2$.

Визначаємо кількість можливих конструктивних варіантів.

$$K_{кон} = \frac{m!}{g!} = \frac{4!}{2!} = 2$$

где m – число груп в приводі;

g – число груп с одинаковим количеством передач в приводі.

$$Z = 4_1 \times 2_4 \times 2_8 \quad Z = 4_1 \times 2_8 \times 2_4$$

$$Z = 4_2 \times 2_1 \times 2_8 \quad Z = 4_2 \times 2_8 \times 2_1$$

$$Z = 4_4 \times 2_1 \times 2_2 \quad Z = 4_4 \times 2_2 \times 2_1$$

Кількість кінематичних варіантів:

$$m! - 4! = 24$$

З огляду на те, що кількість кінематичних передач у напрямку до кінцевого (вихідного) вала повинна зменшуватися (тобто має забезпечуватися виконання умови $P_a > P_b > P_c$), найбільш доцільним із конструктивної точки зору рішенням є вибір варіанта $Z = 20 = 5 \times 2 \times 2$. При цьому показники перебірних груп у міру наближення до виходу зростатимуть, задовольняючи нерівність $X_a < X_b < X_c$.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Перейдемо до розробки структурних сіток. Побудова таких графічних залежностей здійснюється за принципом симетрії. Кількість променів, які розходяться від початкового вузла, дорівнює числу передач у відповідній групі, тоді як характеристика (показник) перебірної групи визначає інтервал між цими променями.

Структурні формули.

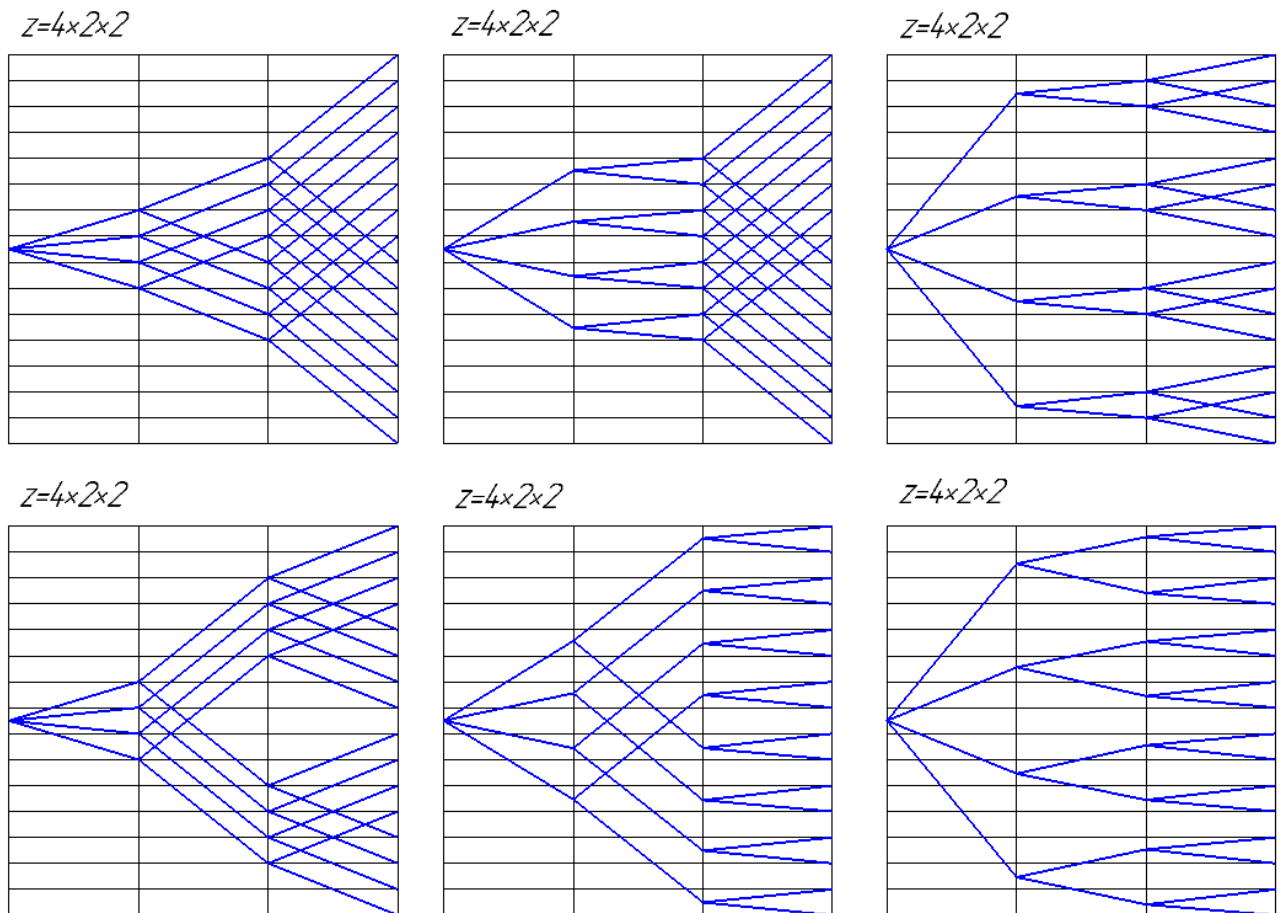


Рисунок 3.1 – Структурні сітки

Специфічні особливості множинної структури

Забезпечення вищих швидкостей обертання на проміжних валах дозволяє мінімізувати робочі крутні моменти. Це, відповідно, сприяє зменшенню металоємності та загальної маси компонентів привода.

Враховуючи, що значення крутного моменту перебуває в обернено пропорційній залежності від величини передавального відношення, доцільно застосовувати відповідний кінематичний порядок. Його суть полягає в тому, що мінімальне передавальне відношення всередині груп плавно знижується в напрямку до шпindelного вузла, набуваючи своїх граничних показників саме в кінцевій групі. Як наслідок, вали на початку кінематичного ланцюга обертаються швидше, проте сприймають значно менші силові навантаження. Це дає можливість проєктувати їх із меншими перерізами (діаметрами) та використовувати зубчасті передачі з меншим модулем.

Наслідком зміни кінематичних характеристик є технологічна неможливість повноцінного охоплення всього необхідного діапазону частот обертання.

Встановлення двох зубчастих коліс безпосередньо на шпинделі провокує зростання вібраційного фону під час роботи верстата. Таке явище закономірно призводить до погіршення показників чистоти та загальної якості поверхні, що обробляється.

Будуємо графік чисел обертів.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		66

$$z4 = \frac{18}{9} \cdot 4 = 8 = 24$$

$$z5 = \frac{18}{2} \cdot 1 = 9 = 27,$$

$$z7 = \frac{18}{9} \cdot 4 = 8 = 24,$$

$$z6 = \frac{18}{2} \cdot 1 = 9 = 27,$$

$$z8 = \frac{18}{9} \cdot 5 = 10 = 30.$$

Рух з вала 2 на 3 здійснюється через зачеплення $z9/z10$, $z11/z12$

$$\varphi^2 = 1.26^2 = \frac{11}{7};$$

$$\varphi^{-2} = 1/1.26^2 = 7/11$$

$$z9 = \frac{18}{18} * 7 = 7 = 21$$

$$z12 = \frac{18}{18} * 11 = 11 = 33.$$

Рух з вала 3 на 4 здійснюється через зачеплення $z13/z14$, $z15/z16$.

$$\varphi^2 = 1.26^2 = \frac{11}{7};$$

$$\varphi^{-6} = 1/1.26^6 = 1/4$$

$$z13 = \frac{90}{18} * 11 = 55,$$

$$z14 = \frac{90}{18} * 7 = 35,$$

$$z15 = \frac{90}{5} * 1 = 18,$$

$$z16 = \frac{90}{5} * 4 = 72.$$

Зобразимо привід головного руху.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

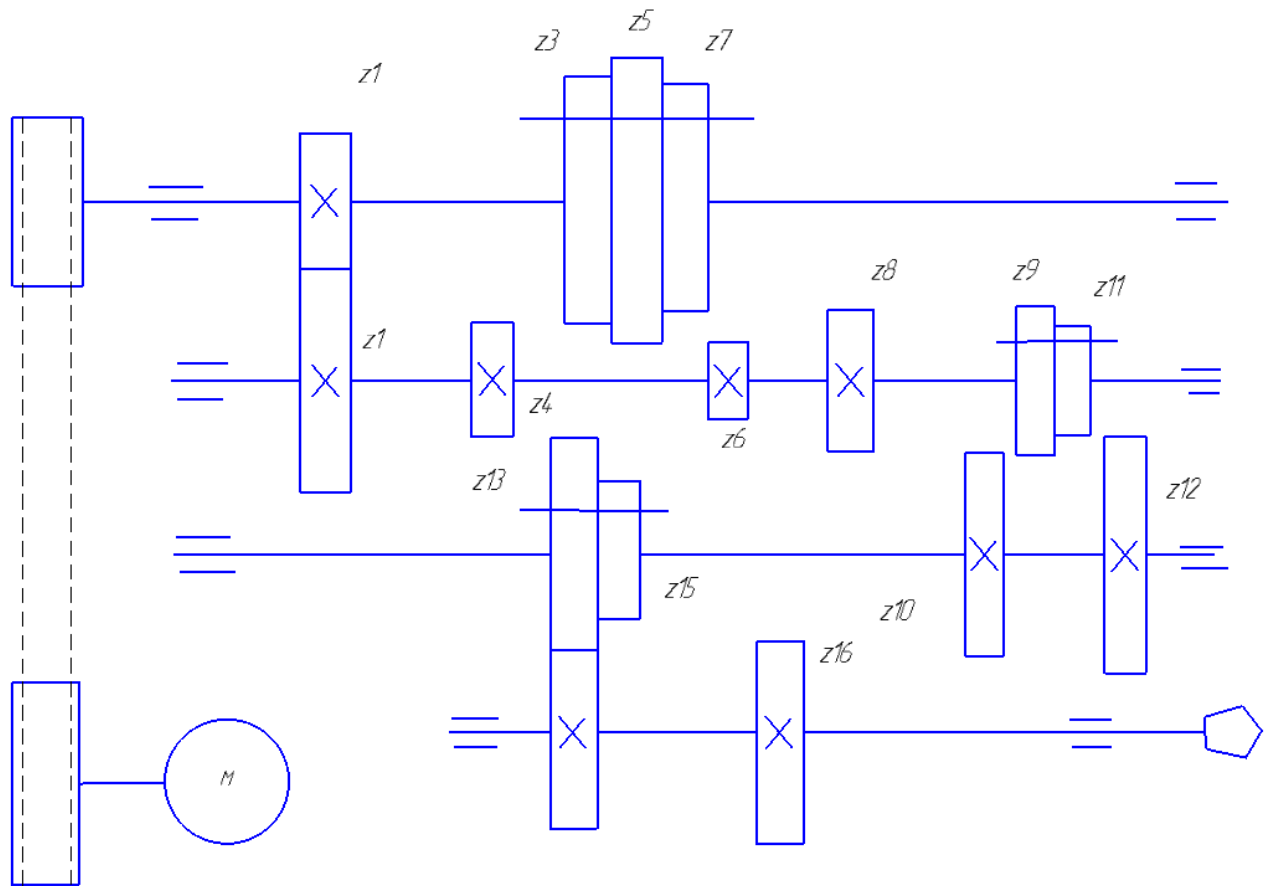


Рисунок 3.3 – Привід зі ступеневим регулюванням.

Кінематичний розрахунок привода головного руху на базі двигуна постійного струму

Базові (вихідні) параметри системи:

Мінімальна частота обертання (n_{\min}): 80 об/хв;

Максимальна частота обертання (n_{\max}): 2000 об/хв;

Номінальна потужність привода ($N_{\text{дв}}$): 10 кВт.

Для реалізації поставленого завдання приймаємо до встановлення електродвигун постійного струму потужністю 10 кВт — модель 2ПН180ЛГУХЛ4, який має відповідні технічні характеристики.

Наступним етапом є розподіл визначеного робочими умовами загального діапазону частот обертання на окремі експлуатаційні інтервали регулювання.

										Арк.
										69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ					

1. Визначення діапазону регулювання шпindelного вузла за умови збереження постійної потужності ($N = \text{const}$).

$$D_{\text{шр}} = 1300/124 = 11$$

2. Визначаємо діапазон регулювання електродвигуна.

$$D_{\text{ер}} = \frac{3000}{1000} = 3.$$

3. Розраховуємо повний діапазон регулювання

$$D_{\text{п}} = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}} = \frac{2000}{80} = 25.5$$

4. Знаменник ряду геометричної прогресії коробки швидкостей

$$\varphi_{\text{к}} = D_{\text{р}} = 3$$

5. Визначаємо кількість ступеней АКШ

$$Z_{\text{к}} = \frac{\lg 11}{\lg 3} = 2.1 \quad \text{приймаємо } z=3$$

6. Уточнюємо значення $\varphi_{\text{к}}=2,2$

7. Перевірка діапазону регулювання.

$$D = \varphi_{\text{к}}(p - 1)^{z_{\text{к}}} = 1,260^{(3-1)4} = 6,250 = 8$$

Структурна сітка

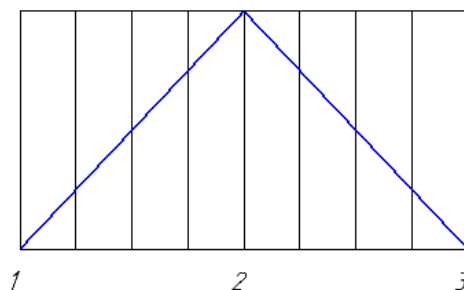


Рисунок 3.4 – Структурна сітка

										Арк.
										70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ					

Будуємо графік чисел обертання шпинделя.

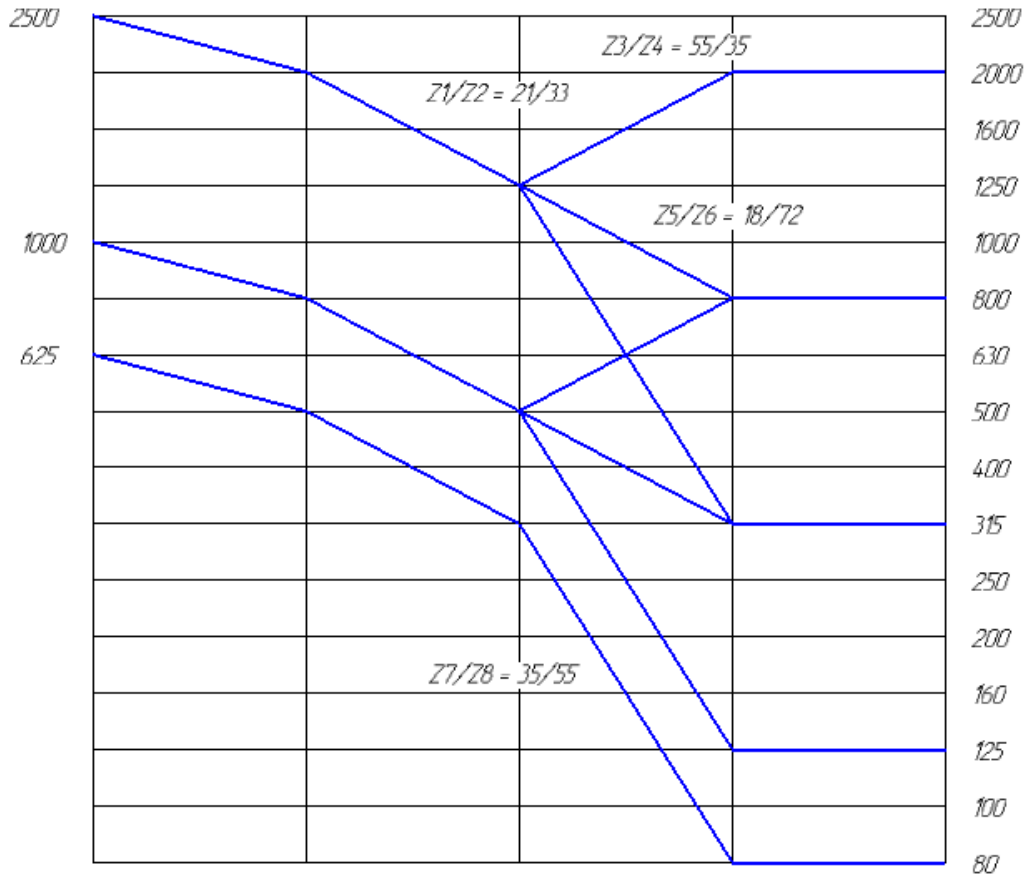


Рисунок 3.5 – Графік чисел обертання шпинделя

Зобразимо привід головного руху для даного варіанту.

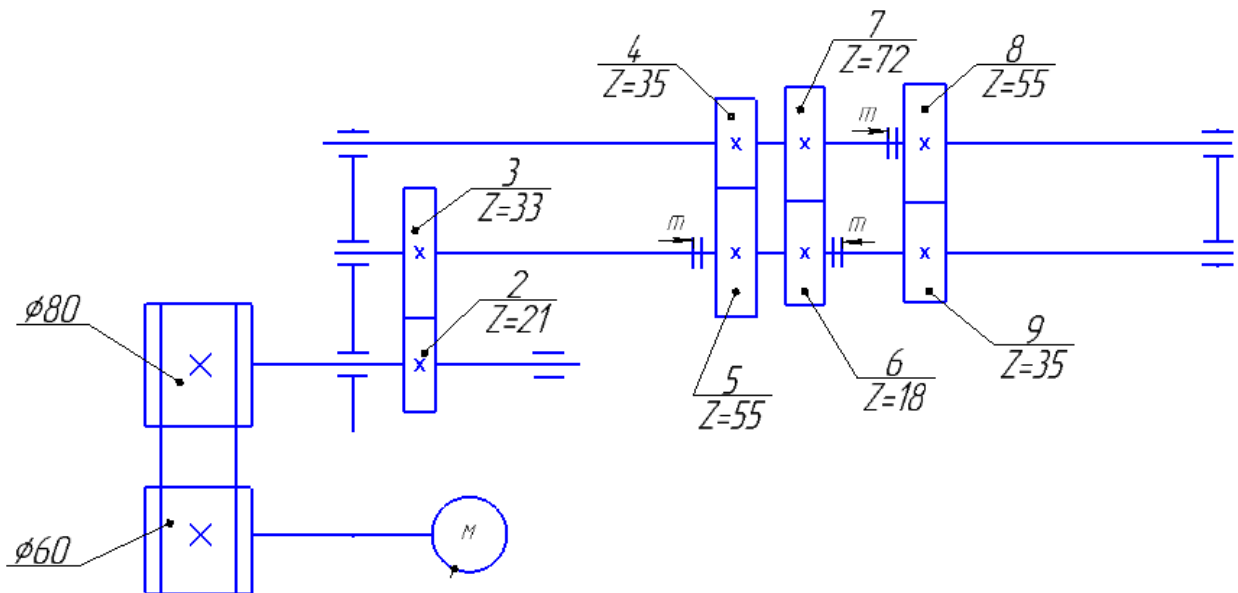


Рисунок 3.6. – Привід головного руху

3.3. Кінематичний аналіз механізмів подач

Конструкція верстата передбачає наявність окремих приводів для забезпечення поздовжніх та поперечних робочих переміщень. Система поздовжньої подачі скомпонована з високомоментного електродвигуна, одноступінчастої циліндричної редукторної передачі та кульково-гвинтової передачі (ходового гвинта).

У якості силового агрегату для механізму подач приймаємо до використання високомоментний двигун моделі 11МВНР.

Паспортні експлуатаційні характеристики електродвигуна:

Номінальний крутний момент: 7 Н·м;

Номінальна швидкість обертання: 2000 об/хв.

Розрахунок передаточного числа (відношення) редукторного вузла виконується за такою математичною залежністю:

$$i_p = \frac{V_{max}}{n_{дв} P_{х.в.}} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

де:

					КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

V_{\max} - швидкість переміщення робочого органу на холостому ході ($V=4800$ мм/хв);

$n_{\text{дв}}$ - номінальна частота обертання вала електродвигуна;

$P_{\text{х.в.}}$ - робочий крок ходового гвинта $P_{\text{х.в.}} = 10$ мм).

Підставляємо наявні вихідні дані у формулу для отримання результату:

$$i_p = \frac{4800,0}{2000,0 * 10} = 0,24$$

$$Z_1 = 24; Z_2 = 100$$

3.4. Розрахунки на міцність привода головного руху

3.4.1. Проектний розрахунок зубчастих передач

Основною метою проектного етапу обчислень є знаходження робочого модуля та оптимальної ширини зубчастих вінців, а також визначення величини крутних моментів, що навантажують вали. Процедура розрахунку реалізується за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення на ПК.

Проектувальний розрахунок зубчастих коліс» за таким алгоритмом:

Номінальна потужність приводного електродвигуна: 10 кВт;

Кількість пар коліс, що підлягають розрахунку: 4;

Показники коефіцієнта корисної дії (ККД) механізмів, що передують розрахунковій парі: 0,98; 0,99; 0,99; 0,99;

Ідентифікатор типу зачеплення: 1;

Кут нахилу лінії зуба (у градусах): 0;

Ступінь (квалітет) точності виготовлення передач: 7;

Параметри матеріалу шестірні: код 33 (марка сталі 20Х), відповідно до [3];

Значення коефіцієнта торцевого перекриття: 1 (згідно з [3]);

Кількість зубців ведучого колеса (шестірні): 54 (для наступних пар — 20, 20, 25);

Кількість зубців веденого колеса: 54 (для наступних пар — 88, 88, 66);

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		73

Коефіцієнт, що враховує форму зуба: 0,43 (а також 0,4; 0,4; 0,4), спираючись на [3].

Отримані в результаті обчислень теоретичні значення модуля та ширини вінця підлягають обов'язковому округленню до найближчих менших стандартизованих величин.

Для подальшого конструювання приймаємо такі значення модулів зачеплення: $m = 2,5$ мм; $m = 2,5$ мм; $m = 5$ мм; $m = 5,5$ мм. Відповідна ширина зубчастих вінців становить: $b = 20$ мм; $b = 30$ мм; $b = 40$ мм; $b = 55$ мм. Одночасно коригуємо в бік збільшення кількість зубців для першої та другої пари: $Z_1 = 108$; $Z_2 = 108$; $Z_3 = 108$; $Z_4 = 176$.

3.4.2. Перевірочний розрахунок зубчастих передач

Перевірний етап розрахунків базується на детальному аналізі згинальних та контактних напружень. Враховуючи специфіку умов експлуатації коробок швидкостей металорізального обладнання, ключовими показниками їхньої працездатності та надійності виступають опір втомі за напруженнями згину, а також контактна витривалість поверхневих шарів матеріалу.

148,4 < 229,3;
96,9 < 229,3;
128,3 < 229,3;
237,7 < 253,8;
134,7 < 229,3;
75,6 < 229,3;
85,4 < 255,6;
168,9 < 298,3;
462,0 < 723,6;
532,3 < 723,6;
824,8 < 936,1;
1099,9 < 1189,6.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

4.3.3 Попередній розрахунок валів

Діаметри валів розраховуємо за формулою

$$d = 110 \sqrt[4]{\frac{N}{n}},$$

де n - частота обертання вала;

P - потужність на валу

$$d_1 = 110 \sqrt[4]{\frac{10}{80}} = 65 \text{ мм, приймаємо } d_1 = 65 \text{ мм.}$$

$$d_2 = 110 \sqrt[4]{\frac{10}{50}} = 72 \text{ мм, приймаємо } d_2 = 70 \text{ мм.}$$

$$d_3 = 110 \sqrt[4]{\frac{7,95}{38}} = 100 \text{ мм, приймаємо } d_3 = 80 \text{ мм.}$$

4.4. Перевірний розрахунок шліцевих з'єднань

Керуючись нормативами, для конструкції приймаємо прямобічне шліцьове з'єднання середньої серії. За базу для центрування обрано зовнішній діаметр вала.

Алгоритм оцінки міцності шліцьових з'єднань виконується за такою схемою. У процесі експлуатації бічні площини зубців піддаються навантаженням на зминання, тоді як їхні основи сприймають зусилля зрізу та згину. Зважаючи на стандартизовані геометричні пропорції елементів шліцьових з'єднань, базовим та визначальним є перевірний розрахунок саме на зминання:

$$\frac{10^3 T_{\max}}{\varphi \cdot F \cdot l \cdot r_{cp}} \leq [\sigma_{zm}],$$

де:

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

T_{\max} - максимальний розрахунковий крутний момент, що передається вузлом, Н·м;

φ - коефіцієнт, який компенсує нерівномірність розподілу робочого навантаження між зубцями (зазвичай $K_m = 0,70 \dots 0,80$);

F - сумарна площа контакту бічних поверхонь шліців з одного боку, що припадає на 1 мм довжини з'єднання, мм²/мм.

Для прямобічного профілю зубців площа визначається як:

$$F = z \cdot \left[\frac{D_B - d_a}{2} - (f + r) \right]$$

де:

z - кількість зубців (шліців);

D_B - зовнішній діаметр шліцевого вала, мм;

d_a - внутрішній діаметр отвору втулки, мм;

f - розмір фаски, мм;

l - активна (робоча) довжина шліцевого з'єднання, мм;

r - середній радіус з'єднання для прямобічних профілів

$$r_{cp} = \frac{D_B + d_a}{4}$$

$[\sigma_{зм}]$ - гранично допустиме напруження на зминання (для заданих умов $[\sigma_{зм}] = 100$ МПа).

Розрахунок першого шліцевого з'єднання $Z \times d \times D \times b = 8 \times 46 \times 42 \times 8$:

Питома площа:

$$F = 8 \left[\frac{46 - 42}{2} - (0.5 + 0.3) \right] = 9,6.$$

Середній радіус:

$$r_{сер} = \frac{46 + 42}{4} = 22 \text{ мм}$$

Розрахункове напруження:

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

$$\frac{10 \cdot 130,6}{0,75 \cdot 9,6 \cdot 8 \cdot 22} = 10,7 \text{ МПа}$$

Перевірка:

$$10,7 \text{ МПа} < 100 \text{ МПа.}$$

Висновок: Умова міцності виконується, надійність з'єднання гарантована.

Розрахунок шліцьового з'єднання на проміжному валу $Z \times d \times D \times b = 8 \times 50 \times 46 \times 8$:

Обчислення проводимо для третього ступеня зачеплення, оскільки саме на цій ділянці передається найбільший крутний момент.

Питома площа: $F = 10 \left[\frac{50-46}{2} - (0,5 + 0,4) \right] = 9,6$.

Середній радіус: $r_{\text{сер}} = \frac{50+46}{4} = 24 \text{ мм.}$

Розрахункове напруження: $\frac{10 \cdot 492,6}{0,75 \cdot 9,6 \cdot 40 \cdot 24} = 71,3 < 100 \text{ МПа.}$

Висновок: Умова виконується, контактна міцність шліцьового з'єднання забезпечена.

4.5. Розрахунок шпонкового з'єднання

Вихідні дані:

Матеріал шпонки: сталь Ст6;

Діаметр вала: $d = 60 \text{ мм}$;

Потужність привода: $N = 10 \text{ кВт}$;

Частота обертання: $n = 16 \text{ об/хв.}$

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Етапи проектування та перевірки:

Відповідно до стандарту підбираємо звичайну призматичну шпонку з такими параметрами: $v \times h = 18 \times 11$ мм, $l = 50$ мм.

Визначаємо робочий крутний момент, який має витримувати вузол:

$$T = 9.55 \cdot 10^3 \cdot \frac{P}{n} = 9.55 \cdot 10^3 \cdot 10 / 16 = 1968 \text{ Нм}$$

Знаходимо фактичне напруження зминання на робочій грані шпонки за залежністю:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 10 \cdot T}{d \cdot l_p \cdot k} = 365 \text{ МПа}$$

де розрахункові параметри становлять:

Робоча довжина: $L_r = 50 - 18 = 32$ мм;

Висота контакту: $k = 0,4 \cdot 11 = 4,4$ мм.

Визначаємо допустиме напруження $[\sigma]_{зм}$:

$$[\sigma]_{зм} = \frac{\sigma}{[S]} = \frac{380}{1} = 380 \text{ МПа}$$

де:

$[S]$ — нормативний коефіцієнт запасу міцності;

σ_T — межа текучості для сталі Ст6 (становить 380 МПа).

Оскільки фактичне напруження $\sigma_{зм}$ не перевищує гранично допустимого $[\sigma]_{зм}$, робимо висновок, що спроектоване шпонкове з'єднання є повністю працездатним.

3.6. Система керування

Автоматизація процесів механічної обробки є найбільш доцільною та актуальною для умов великосерійного і масового випуску продукції. Саме в

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

таких виробничих реаліях традиційне універсальне та спеціалізоване обладнання ефективно замінюється високопродуктивними автоматизованими верстатними комплексами.

Ключовою перевагою верстатів, оснащених числовим програмним керуванням (ЧПК), виступає їхня виняткова гнучкість. Переналагодження обладнання для виготовлення нової номенклатури деталей займає мінімум часу, що досягається завдяки централізованому формуванню керуючих алгоритмів. Крім того, використання програмного забезпечення відкриває широкі можливості для проектування систем дистанційного контролю за верстатним парком. Це сприяє створенню адаптивних автоматизованих ліній та формуванню спеціалізованих дільниць для комплексної обробки виробів.

У конструкції токарного верстата, що проектується, інтегровано позиційну систему ЧПК. Процес формоутворення поверхонь складного профілю реалізується шляхом синхронізованого переміщення робочих органів одночасно за двома або трьома координатними осями.

Основні характеристики обраної системи керування:

Архітектура керуючого пристрою базується на модульному (агрегатному) принципі.

Математичне забезпечення системи підтримує функцію лінійно-кругової інтерполяції.

Блок пам'яті містить 18 незалежних груп для введення корекцій параметрів інструмента (компенсація за довжиною та діаметром) уздовж відповідних координатних осей.

Відповідно до заданого алгоритму, система самостійно виконує автоматичну заміну різального інструменту в револьверній головці та вибір оптимальної швидкості обертання шпиндельного вузла.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		79

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Характеристика виробничої дільниці з точки зору охорони праці та заходи по покращенню умов праці.

На спроектованій дільниці виконується механічна обробка деталі « Вал тихохідний». Згідно з розробленим технологічним процесом, на дільниці встановлено таке основне обладнання:

Токарний з ЧПК моделі 16К20Ф3– 1 шт.;

Шпонково-фрезерний моделі 692М – 1 шт.;

Внутрішньошліфувальний моделі 3М151 – 1 шт.;

Промислове підприємство, на якому розміщено дільницю, згідно з нормами, належить до IV класу з шириною санітарно-захисної зони 100 м. Виробничі будівлі на території розташовані відповідно до ходу технологічного процесу, з урахуванням санітарних, протипожежних вимог, логістики руху транспорту та працівників.

Висота приміщення дільниці становить 4,5 м, розміри виходу - 1,2 м завширшки та 2,2 м заввишки. Ширина основних проходів - 1,5 м, проїздів - 2,5 м. Зовнішні двері оснащені повітряними завісами (тамбуром).

Проектування дільниці здійснено відповідно до ДСТУ-Н Б В.2.2-27:2010 (вимоги до будівель виробничого призначення), що забезпечує можливість модернізації, реконструкції та перепрофілювання виробництва. Будівля належить до категорії робіт Іа, ступінь вогнестійкості - ІІа.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Тернопільський</i>					80	4
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник</i>				<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа</i>						

На ділянці дотримано заходів безпеки: будівельні конструкції пофарбовані у сигнальні кольори, застосовані знаки безпеки відповідно до ДСТУ ISO 7010:2020.

Для обробки внутрішніх поверхонь використано зносостійку та мийку фарбу. Підлога відповідає вимогам ДСТУ-Н Б В.2.6-212:2016 – вогнестійка, неслизька, герметична, запобігає проникненню рідин і газів у суміжні приміщення.

Розташування обладнання враховує технологічні та ергономічні вимоги. Вільні зони навколо верстатів: 1 м - з боку обслуговування, 0,6 м - з протилежного. Устаткування розміщено так, щоб забезпечити потоковість, безпеку праці, доступність до обслуговування й ремонту.

Усі робочі місця оснащені інструкціями з охорони праці. На ділянці впроваджено систему управління охороною праці згідно із Законом України «Про охорону праці». Функціонування забезпечується службою охорони праці, підпорядкованою безпосередньо керівнику підприємства. Основні функції: забезпечення безпеки процесів, технічних засобів, навчання персоналу, контроль за дотриманням норм.

Умови праці належать до категорії допустимих. Атестація робочих місць здійснюється згідно з чинними нормативами.

Мікрокліматичні умови на ділянці відповідають ДСТУ EN ISO 7730:2018:

температура: взимку - 18...20°C, влітку - 21...23°C;

вологість: 40–60%;

тиск: $0,9-1,06 \cdot 10^5$ Па;

швидкість повітря: взимку - 0,1–0,2 м/с, влітку - до 0,3 м/с;

теплове випромінювання від обладнання - не перевищує 50 Вт/м².

На ділянці передбачена природна вентиляція та загальнообмінна штучна, спроектована згідно з ДБН В.2.5-67:2013. Система опалення - водяна, низького тиску.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		81

Освітлення - комбіноване: природне (через вікна 4,5 м завширшки, з підвіконнями на висоті 1,5 м) та штучне. Загальне освітлення відповідає ДСТУ EN 12464-1:2014:

- робоче - 300 лк;
- евакуаційне — 0,5 лк;
- аварійне — 2 лк всередині, 1 лк на території;
- охоронне — 0,5 лк.

Локальне освітлення здійснюється лампами розжарювання, виключно місцеве — заборонене. Джерела - лампи типу ДРЛ-80.

Шумові та вібраційні параметри не перевищують норм, передбачених ДСТУ ISO 2631-1:2018 та ДСТУ ISO 1996-1:2003.

Усі верстати мають контурне захисне заземлення. Захист від блискавки реалізований згідно з ДСТУ EN 62305 - застосовано стрижневі блискавководводи, що з'єднані із заземленням обладнання.

За класифікацією ДСТУ 4479:2005, діляниця відноситься до категорії Д за пожежною та вибухопожежною небезпекою. Протипожежне водопостачання проєктоване згідно з ДБН В.2.5-56:2014.

У разі надзвичайної ситуації евакуація здійснюється через два виходи, що ведуть безпосередньо назовні. Діляниця оснащена первинними засобами пожежогасіння: щитом з комплектом піску (0,5 м³), лопатами, вогнегасниками ВВ-5 та ВПУ-2, покривалами, гачками, ломачами, сокирами.

Система пожежної сигналізації — електрична, променева, неадресна, типу ЕПС.

4.2 Заходи покращення умов праці на виробничій ділянці

З метою підвищення рівня охорони праці та поліпшення умов праці на спроектованій ділянці з виготовлення деталі “Втулка” пропонується впровадження таких технічних та організаційних заходів:

Оптимізація технологічного процесу шляхом його механізації та автоматизації. Замість використання універсального обладнання пропонується

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		82

впровадження верстатів-напівавтоматів, що дає змогу значно знизити трудомісткість операцій, підвищити продуктивність праці, а також покращити умови праці операторів.

Перехід на напівавтоматичний цикл обробки, який дозволяє зменшити частку допоміжних ручних операцій на 80%. Це значно знижує фізичне навантаження на працівників і виключає необхідність постійного перебування оператора в робочій зоні верстата під час обробки деталі.

Зменшення ризиків травматизму за рахунок віддалення працівників від зон безпосереднього контакту з обертовими або ріжучими частинами обладнання. Таким чином підвищується рівень безпеки на робочих місцях.

Модернізація парку обладнання, що включає заміну застарілих універсальних верстатів на сучасні напівавтомати, які відповідають сучасним вимогам безпеки, ергономіки та енергоефективності.

Атестація нових робочих місць, яка дозволить офіційно підтвердити відповідність умов праці чинним нормативам охорони праці, визначити клас шкідливості та вжити додаткових заходів у разі потреби.

Запропоновані заходи сприятимуть створенню безпечного виробничого середовища, підвищенню ефективності роботи та зниженню ризиків професійних захворювань і виробничого травматизму.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		83

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі на тему «Кінематичний розрахунок та конструювання коробки швидкостей токарного верстата з ЧПК для забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал тихохідний»» здійснено:

- аналіз конструкції та службове призначення деталі;
- аналіз характеристик матеріалу деталі;
- визначено тип виробництва;
- вибір і обґрунтування одержання заготовки;
- вибір технологічного обладнання та оснащення;
- визначено міжопераційні припуски та розміри;
- вибір різального, допоміжного та контрольно-вимірювального інструменту;
- розраховано режими різання
- спроектовано верстатне пристосування
- проведено кінематичний аналіз приводу головного руху та спроектовано автоматичну коробку швидкостей токарного верстата з ЧПК.
- Роботу обґрунтовано з точки зору охорони праці та безпеки життєдіяльності.

В результаті впровадження у виробництво проектного варіанту технологічного процесу, по відношенню до базового варіанту, досягнуті позитивні результати, такі як: вибрано більш економічно вигідну заготовку – прокат, що відрізається різцем, яка є дешевша і отримується з вищим коефіцієнтом використання матеріалу.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Тарнопільський</i>			<i>Загальні висновки</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кобельник</i>						
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ, гр. МВс-41 м. Тернопіль</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кобельник</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Крупа</i>						

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кваліфікаційна робота бакалавра: структура, вимоги до виконання та захист. Методичні рекомендації для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування галузі знань 13 Механічна інженерія для здобувачів всіх форм здобуття освіти / уклад.: Р. А. Склярів, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Р. Я. Лещук, А. А. Сенік, В. В. Шанайда, А. В. Гагалюк, В. М. Буховець. – Тернопіль : ТНТУ, 2025. 78 с.
2. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок.: Львів: Світ, 1996. 368 с.
3. Бочков В. М., Сілін Р. І., Гаврильченко О. В. Металорізальні верстати : навч. посіб.: Львів Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. 268 с.
4. Бочков В.М., Сілін Р.І.,Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: підручник. Львів: Бескд Бі, 2008. 448 с.
5. Гейчук В.М. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor (Частина I): навч. посіб. Навчальне мережне електронне видання. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 394 с.
6. Данильченко Ю.М., Шевченко О.В., Ковальов В.А., Волошин В.Н. Металообробне обладнання. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів: навч. посіб.: К.: НТУУ «КПІ», 2007. 60 с.
7. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці: навчальний посібник.: Львів: Афіша, 2000. 350 с.
8. Залога В. О. Розрахунок режимів різання при точінні, свердлінні, фрезеруванні : навчальний посібник. Київ : ІСІ, 1994. 176 с.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Перелік посилань</i>		
Розроб.		Тернопільський					
Перевір.		Кобельник В.					
Реценз							
Н. Контр.		Кобельник В.					
Затверд.		Крупа В.					
					Літ.	Арк.	Аркушів
						85	6
					<i>ТНТУ, МВс-41 м.Тернопіль</i>		

9. Запорожець О. І., Протосрейський О. С., Франчук Г. М., Боровик І. М. Основи охорони праці : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 264 с.
10. Кальченко В. І., Кологойда А. В., О. С. Следнікова. Розрахунок та конструювання коробок швидкостей металорізальних верстатів. Методичні вказівки до виконання практичних та розрахунково-графічної робіт : Чернігів: ЧНТУ, 2016. 111 с.
11. V. Krupa et al. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952>.
12. Brailo, M. V., Buketov, A. V., Kobelnyk, O. S., Yakushchenko, S. V., Sapronova, A. V., Sapronov, O. O., & Vasilenko, A. O. (2018). Оптимізація вмісту добавок у епокси-поліефірному зв'язувачі для підвищення когезійної міцності композитів. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(11), 71-77. <https://doi.org/10.15421/40281114>
13. Кобельник В.Р., Кривий П.Д. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118. *Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць.* : Житомир : ЖДТУ, 2010. Вип. 8. С. 99–108.
14. Кобельник В.Р., Крупа В.В., Тимошенко Н.М. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів. *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї : наука : виробництво: тези допов.* : Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.
15. Кобельник В.Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.*: Краматорськ, 2012. – Вип. № 31. С. 47–56.
16. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01: /

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		86

Кобельник Володимир Романович; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2013. - 21 с.

17. Кобельник О.С. Оліховський В.І., Кобельник В.Р. Пристрій для забезпечення зміни подачі при свердлінні наскрізних отворів. Матеріали XIV Міжнародна науково-практична конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (11–12 грудня 2025 р.). Тернопіль: ТНТУ, 2025. С. 278 – 279.

18. Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М.І. Про характер зміни подачі при виході інструменту із тіла заготовки в процесі свердління наскрізних отворів. *Вісник ТНТУ : Науковий журнал.*: Тернопіль : ТНТУ, 2012. № 4 (68). С. 114–127.

19. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу свердління наскрізних отворів. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.* : Краматорськ, 2011. Вип. № 28. С. 77–85.

20. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.*: Краматорськ, Київ, 2006. Вип. № 19. С. 58–64.

21. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення зменшення задирок при наскрізному свердлінні. *Всеукраїнська молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих : прогресивні ідеї – наука – виробництво, 22 – 25 жовтня 2012 р. : тези допов.* : К. : КПІ, 2012. Том 1. С. 71–73.

22. Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Продан В.І., Яковлев В.Г. Методи вимірювання головного заднього кута спірального свердла. *Науковий вісник ХДМА : Науковий журнал.*: Херсон : ХДМА, 2012. № 2 (7). С. 145–155.

23. Кривий П. Д. Метод оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач консольних фрезерних верстатів / П. Д. Кривий, В. Р.

					КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Кобельник, В. В. Крупа, Н. М. Тимошенко // Прогресивні технології в машинобудуванні : збірник наукових праць, Львів-Плай. – Львів, 2020. – С. 103–105.

24. Кривий П.Д., Тимошенко Н.М., Дзюра В.О., Кобельник В.Р. Уточнений метод апріорно-емпіричних функцій визначення закону розподілу та його характеристик на основі малої вибірки. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року.*: ТНТУ, 2020. С. 132–133.

25. Крупа В., Кобельник В., Гагалюк А. Обґрунтування параметрів спеціального трикулачкового патрона для затиску тонкостінних циліндричних заготовок. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University.* 2023. № 4. С. 128–137. URL: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.4.16>.

26. Крупа В.В., Кобельник В.Р. Призначення режимів різання при точінні табличним методом : Навчальний посібник - практикум. Тернопіль : ФОП ПАЛЯНИЦЯ, 2025. 144 с.

27. Розточувальні інструменти з попарно-асиметричним розміщенням лез для оброблення глибоких циліндричних отворів П. Д. Кривий, В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, В. Г. Яковлєв. *Технічні науки та технології.* 2016. № 2 (4). С. 28-35.

28. Кузнєцов Ю. М., Склярів Р. А. Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю. М. Кузнєцов, Р. А. Склярів; під ред. Ю. М. Кузнєцова. – Київ : ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.

29. Кухарський О. М., Кушак І .В. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з предмету: «Технологія машинобудування». Тернопіль, 2001. 280 с.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

30. Кухарський О.М., Кузьмін М.І. Визначення припусків табличним методом.: Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
31. Мазур М. П. та ін. Основи теорії різання матеріалів. Львів : Новий Світ–2000, 2010.
32. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин. К.: «Вища школа», 1993. 560 с.
33. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки: навчальний посібник.: Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
34. Паливода Ю.Є., Кухарський О.М. Визначення припусків розрахунково аналітичним методом: Тернопіль, 2003. 81 с.
35. Розрахунок та конструювання коробок швидкостей металорізальних верстатів. Методичні вказівки до виконання практичних та розрахунково-графічної робіт : Чернігів: ЧНТУ, 2016. 111 с.
36. Senyk A., Kobelnyk V., Gagaliuk A., Plavutska I., Matviyishyn A., Larochnik A., Dubyniak T. New technology for the manufacturing and use of rolling kingpin bushings in the undercarriage of certain vehicles. *Procedia Structural Integrity*. 2024. Vol. 59. P. 508–515.
37. Senyk A., Kovalov V., Klymenko G., Vasylchenko Y., Shapovalov M., Kobelnyk O. Harmonic-dispersion analysis of the shape accuracy of the rolling bushings of drive roller and bushing chains. *Procedia Structural Integrity*. 2024. Vol. 59. P. 502–507.
38. Підвищення довговічності приводних роликів ланцюгів шляхом формування регулярних мікрорельєфів на згортних втулках методом віброобробкування / А. Сенік, В. Кобельник, Р. Лещук, О. Кобельник // Прикладна механіка : праці II Міжнар. наук.-техн. конф. (Тернопіль, 4–5 черв. 2026 р.). Тернопіль : Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя, 2026. С. 64–68.
39. Склярів Р. А., Шанайда В. В., Савчук М. А. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		89

використанням інформаційних технологій. Вісник ТНТУ. 2011. Том 16. № 1. С.117-125.

40. Стискін Г.М. Технологічні основи програмування обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням. Львів: Видавництво “Оріяна Нова”, 2002. 208 с.

41. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001.

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		90

ДОДАТКИ

					<i>КРБ 23-366.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		91