

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МАШИНОБУДІВНИЙ

(повне найменування інституту, факультету)

ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту (роботи)
перший (бакалаврський)
(ступінь вищої освіти)

на тему Розроблення технологічного процесу виготовлення консольного вала автономної системи охолодження

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи М-113сп

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Технології машинобудування

	<u>МИНКА А.В.</u> (ПРІЗВИЩЕ та ініціали)
Керівник	<u>ГОНЧАР Н.В.</u> (ПРІЗВИЩЕ та ініціали)
Рецензент	<u>ФРОЛОВ М.В.</u> (ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Машинобудівний
Кафедра Технологія машинобудування
Ступінь вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 131 Прикладна механіка
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри **Сергій ДЯДЯ**

« _____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Минка Антон Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розроблення технологічного процесу виготовлення консольного вала автономної системи охолодження

керівник проєкту (роботи) Гончар Н.В., к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «12» 05.2026 року №233

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі, річна програма випуску N=5000 шт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1 Технологічна частина, 2 Конструкторська частина, 3 Організаційна частина
планування дільниці 4 Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки, 5
Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення деталі, заготовки, плакат моделей деталі і заготовок, маршрут виготовлення
деталі, графічне зображення етапів підготовки управляючої програми та розрахунків на
міцність, креслення робочого пристосування.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3,5	ГОНЧАР Н.В. доцент		
4	ПУХАЛЬСЬКА Г.В. доцент		
Нормоконтр.	ДЯДЯ С.І., зав. каф.		

7. Дата видачі завдання «02» березня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	20.05.2026	
2	Конструкторська частина	27.05.2026	
3	Розробка планування ділянки	29.05.2026	
4	Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки	03.06.2026	
5	Оформлення пояснювальної записки, креслень, технологічних карт	05.06.2026	
6	Нормоконтроль і рецензія	08.06.2026	
7	Захист дипломного проєкту	17.06.2026	

Студент(ка)

(підпис)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Антон МИНКА
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Наталя ГОНЧАР
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 90 с., 12 табл., 20 рис., 1 дод., 12 джерел.

БАЗУВАННЯ, ВЕРСТАТ З ЧПК, ЗАГОТОВКА, КОНСОЛЬНИЙ ВАЛ, НОРМА ЧАСУ, ПАРАМЕТРИ ШОРСТКОСТІ, ПРИПУСКИ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ, ТЕХНОЛОГІЧНА ОПЕРАЦІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ТОЧІННЯ, ЧИСТОВЕ ОБРОБЛЕННЯ, ЧОРНОВА ОБРОБКА, ШЛІФУВАННЯ, ШПОНКОВИЙ ПАЗ.

Об'єкт дослідження – консольний вал.

Мета роботи – розробка технологічного процесу виготовлення консольного валу.

Метод дослідження – розрахунково-аналітичний.

В дипломному проєкті за рахунок застосування сучасних верстатів з ЧПК і оснастки розроблено технологічний процес виготовлення консольного валу, передбачено економічні ризики виробництва, розраховано режими різання, норми часу, розроблено операцію з ЧПК, спроектовано робоче та запропоновано контрольне пристосування, досліджено міцнісні характеристики деталі, виконано розрахунок щодо організаційних питань і кількості технологічного обладнання та робітників на ділянці, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ЗМІСТ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	7
ВСТУП	8
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Опис деталі відповідно до службового призначення	10
1.2 Вибір типу та форми організації виробництва	14
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	15
1.4 Проєктування технологічного маршруту виготовлення деталі «Консольний вал»	20
1.4.1 Вибір технологічних баз	20
1.4.2 Проєктування маршруту обробки поверхонь	22
1.4.3 Проєктування технологічного маршруту виготовлення деталі	28
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	29
1.6 Розрахунок режимів різання	34
1.7 Технічне нормування операцій	43
1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК	50
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	54
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування.	54
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.	55
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу.	58
2.2 Проєктування контрольного пристосування.	61
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування	61
2.3 Розрахунок на міцність деталі	62
3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ	66
4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ	69
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	73

ВИСНОВКИ	77
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	78
Додаток А. Комплект технологічних карт	80

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЗОТС – змащувально-охолоджувальне технологічне середовище

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

КГШП – кривошипний горячештамповочний прес

ККД – коефіцієнт корисної дії

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ПКП – поперечно клинова прокатка

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

ТО – термічна обробка

ТП – технологічний процес

ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

Сучасне машинобудування є фундаментом індустріального розвитку будь-якої держави, оскільки саме ця галузь забезпечує всі інші сфери економіки необхідним обладнанням, інструментами та засобами автоматизації. В умовах стрімкого переходу до концепції інтелектуального виробництва особливого значення набуває розробка та впровадження високоефективних технологічних процесів. Однією з найбільш розповсюджених та відповідальних деталей у механізмах різного призначення є вал. Ця деталь виконує критично важливі функції – передачу крутного моменту, забезпечення точності обертання та правильне базування суміжних елементів конструкції. Саме тому проектування технології виготовлення валів вимагає глибоких знань у сфері опору матеріалів, теорії різання та метрологічного забезпечення.

Розвиток сучасної техніки ставить перед технологами складні завдання щодо підвищення точності геометричних параметрів при одночасному зниженні собівартості продукції. Традиційні підходи до обробки металів різанням сьогодні активно доповнюються можливостями комп'ютерного моделювання та програмування. Використання систем автоматизованого проектування дозволяє на ранніх етапах виявити потенційні помилки в конструкції та оптимізувати траєкторії руху різального інструменту. Це особливо важливо для консольних валів зі складною конфігурацією, де необхідно забезпечити високу співвісність поверхонь та мінімальне радіальне биття.

Процес виготовлення консольного валу починається з ретельного аналізу заготовки. Вибір між прокатом, поковкою або литвом безпосередньо впливає на подальший обсяг механічної обробки та коефіцієнт використання матеріалу. У даному проекті розглядається повний цикл перетворення заготовки на готову деталь, що включає чорнове та чистове точіння, термічну обробку для досягнення заданих експлуатаційних властивостей, а також фінішні операції шліфування. Окрему увагу приділено вибору сучасного металорізального обладнання, зокрема верстатів з числовим програмним керуванням, які дозволяють досягти стабільної

якості в умовах серійного виробництва. Оптимізація режимів різання на кожній операції дає змогу максимально ефективно використовувати ресурс інструменту та скоротити час виготовлення деталі.

Завершальним етапом проектування є розробка системи контролю якості та техніко-економічне обґрунтування обраних рішень. Впровадження прогресивних методів базування та сучасного технологічного оснащення дозволяє мінімізувати похибки встановлення, що є критичним для забезпечення довговічності вузлів, у яких працює консольний вал. Таким чином, комплексна розробка технологічного процесу є багатогранним інженерним завданням, що поєднує класичні принципи машинобудування з новітніми цифровими технологіями.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис деталі відповідно до службового призначення

Даний консольний вал є складнонавантаженим і критично важливим компонентом механічної трансмісії, конструкція якого розроблена з урахуванням важких умов промислової експлуатації, що включають постійні обертальні рухи, вплив значних згинальних та крутних моментів, а також динамічні і вібраційні навантаження. Службове призначення деталі полягає у безперебійній передачі крутного моменту від джерела рушійної сили до виконавчих механізмів, а також у надійній підтримці та максимально точному просторовому базуванні встановлених на ньому елементів, таких як зубчасті колеса, підшипники кочення, з'єднувальні муфти та різноманітні ущільнювачі. Оскільки консольний вал працює в складній кінематичній системі, де точність позиціонування кожної ланки безпосередньо впливає на загальний коефіцієнт корисної дії (ККД), рівень шуму та довговічність усього механізму, його геометрія виконана у формі суцільного масивного східчастого тіла обертання. Зображення консольного валу показано на рисунку 1.1.

Дана конфігурація є класичним інженерним рішенням, яке наближає загальну форму виробу до балки рівного опору, оскільки ділянка з найбільшим діаметром 70 мм розташована саме в центральній зоні, де виникають максимальні згинальні напруження. Східчаста форма створює природні жорсткі упорні буртики, які необхідні для надійної осьової фіксації монтованих деталей і запобігання їх зміщенню під час роботи, а також значно полегшує технологічний процес складання вузла, дозволяючи деталям з більшим внутрішнім діаметром вільно проходити через кінцеві шийки.

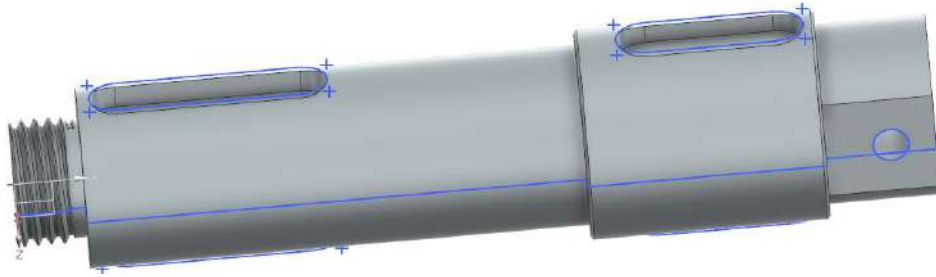


Рисунок 1.1 – Зображення консольного валу

Матеріалом для виготовлення даної відповідальної деталі обрано високоякісну конструкційну леговану сталь марки 40Х згідно з вимогами ДСТУ 7806:2015. Хімічний склад, фізичні та механічні властивості показано в таблицях 1.1-1.3 [1].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 40Х ДСТУ 7806:2015 [1]

Елемент	C	Cr	Mn	Si	Ni	Cu	S	P
Масова частка, %	0,36 – 0,44	0,80 – 1,10	0,50 – 0,80	0,17 – 0,37	$\leq 0,30$	$\leq 0,30$	$\leq 0,035$	$\leq 0,035$

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 40Х ДСТУ 7806:2015 [1]

s_b (МПа)	s_T (МПа)	d_5 (%)	y (%)	KCU (кДж / м ²)
980	785	10	45	590

Таблиця 1.3 – Фізичні властивості сталі 40Х ДСТУ 7806:2015 [1]

T (Град)	$E \cdot 10^{-5}$ (МПа)	$\alpha \cdot 10^6$ (1/Град)	λ (Вт/(м·град))	ρ (кг/м ³)	C (Дж/(кг·град))	$R \cdot 10^9$ (Ом·м)
100	2,11	11,9	46	7800	466	285

Вибір є науково обґрунтованим для значно навантажених консольних валів завдяки їх поєднанню технологічних можливостей та експлуатаційних характеристик. Хімічний склад цієї сталі включає в середньому близько 0.40%

вуглецю, що є базою для забезпечення високої механічної міцності після термообробки, та приблизно 1% хрому, який виступає основним і найважливішим карбідоутворювальним легуючим елементом. Наявність хрому у кристалічній решітці суттєво підвищує загальну прогартуваність заготовки, що дозволяє інженерам і металургам отримувати стабільні та рівномірні механічні властивості по всьому масивному перерізу консольного валу, усуваючи ризик утворення м'якої серцевини, а також додатково покращує корозійну стійкість і опірність зносу контактних поверхонь.

Для досягнення заданого комплексу фізико-механічних властивостей, що гарантують надійність виробу, консольний вал у процесі виробництва піддається спеціальній комплексній термічній обробці, основним етапом якої є поліпшення, що складається з об'ємного гартування з наступним обов'язковим високим відпуском. На першому етапі заготовку повільно і рівномірно нагрівають у печі до температури 850-860⁰С для перебудови внутрішньої структури і отримання однорідного аустеніту, витримують певний час для наскрізного прогріву, а потім інтенсивно охолоджують у ванні з індустріальним мастилом. Використання саме мастила, а не води, як охолоджувального середовища є критично важливим, оскільки воно забезпечує більш м'яке охолодження, мінімізує небезпечні внутрішні термічні напруження і надійно запобігає утворенню гартівних мікротріщин у зонах складної геометрії, таких як галтелі та шпонкові пази. Після процесу гартування утворюється структура мартенситу, яка є занадто крихкою і непридатною для сприйняття ударних навантажень, тому наступним кроком технологічного процесу є високий відпуск при температурі 500-600 ⁰С з подальшим охолодженням. В результаті формується структура сорбіту відпуску, яка в сучасному машинобудуванні вважається еталонною для консольних валів, оскільки забезпечує поєднання високої межі міцності, чудової ударної в'язкості, достатньої пластичності та високої опірності втомному руйнуванню. Для додаткового підвищення довговічності та експлуатаційного ресурсу окремих найбільш навантажених характерних поверхонь застосовують локальне поверхневе загартування за допомогою струмів високої частоти з наступним низьким

відпуском, що дозволяє отримати твердість зовнішнього робочого шару на рівні 45-50 HRC при збереженні м'якої та в'язкої серцевини. Аналіз характерних поверхонь деталі чітко вказує на високий рівень конструкторських та технологічних вимог до точності виготовлення. На лівому кінці консольного валу є ділянка з нарізаною зовнішньою метричною різьбою M42x2-7g. Використання дрібного кроку різьби у 2 мм застосовується для створення надійного ефекту самогальмування, збільшення площі зрізу витків та гарантованого закріплення круглої шліцьової гайки, яка безлюфтово фіксує внутрішнє кільце підшипника в осьовому напрямку. Шорсткість відповідальної поверхні задана на рівні Ra 1,6 мкм, що вимагає застосування операції тонкого круглого шліфування для мінімізації мікронерівностей і запобігання фретингового зносу. Опорна шийка діаметром 60 мм, виконана за сьомим квалітетом точності h7, слугує для точного центрування та беззазорного базування посадкового отвору зубчастого колеса або передавальної муфти. Саме на цій ділянці фрезерується 2 закритих шпонкових пази шириною 18 мм з допуском +0,043 мм для встановлення стандартних призматичних шпонок. Найбільш масивна центральна силова ділянка має зовнішній діаметр 70 мм також з високим квалітетом h7 і містить довгий шпонковий паз шириною 20 мм та глибиною 7,5 мм від умовної лінії. Місця різкого переходу між ступенями валу різного діаметра зроблені у вигляді галтелей з плавними радіусами, наприклад радіус 1 мм на виноске А, що є важливим конструктивним рішенням для зниження концентрації залишкових та робочих напружень і запобігання раптовому втомному руйнуванню від мікротріщин. Крім того, на кресленні передбачена технологічна канавка шириною 5 мм, яка призначена для вільного і безпечного інструменту під час обробки різі, щоб уникнути зарізання торцевих поверхонь буртиків. Правий кінець вала завершується гладкою посадковою поверхнею та має спеціальний глухий отвір діаметром 12 мм і глибиною 35 мм. Точне виконання всіх описаних конструктивних елементів, неухильне дотримання затверджених температурних режимів термообробки сталі 40Х, а також забезпечення заданої шорсткості і геометричної правильності макрогеометрії поверхонь у сукупності гарантують максимально надійну, тиху, стабільну та довговічну роботу цього консольного валу

у складі будь-якого промислового редукторного механізму протягом усього розрахункового терміну експлуатації.

1.2 Вибір типу та форми організації виробництва

Ефективність функціонування машинобудівного підприємства та рентабельність виготовлення деталі консольний вал безпосередньо залежать від правильного визначення типу виробництва на початковому етапі проектування. Тип виробництва є класифікаційною категорією, яка визначає широту номенклатури, регулярність випуску виробу, обсяг виробничої програми та ступінь спеціалізації робочих місць. У сучасних ринкових умовах, де попит на продукцію може динамічно змінюватися, вибір організаційної форми стає стратегічним завданням, що поєднує технічні можливості обладнання з економічними показниками майбутнього випуску.

При проектуванні технологічного процесу виготовлення консольного валу важливо розуміти, що тип виробництва диктує рівень деталізації технологічної документації та вибір засобів технологічного оснащення. Для одиничного виробництва характерна універсальність обладнання та висока кваліфікація робітників, проте це веде до значної собівартості одиниці продукції. Натомість масове виробництво дозволяє використовувати спеціалізовані верстати та автоматичні лінії, що суттєво знижує витрати на одиницю виробу, але вимагає значних капітальних інвестицій. Для більшості завдань середнього машинобудування найбільш раціональним є серійне виробництво (дрібно-, середньо- або великосерійне), яке забезпечує баланс між гнучкістю виробничої системи та її продуктивністю.

Вибір між потоковою та непотоковою формами організації базується на аналізі трудомісткості операцій та можливості їх синхронізації. Потокове виробництво є найбільш досконалим, оскільки воно забезпечує безперервність

процесу, мінімізує міжопераційні заділи та скорочує тривалість виробничого циклу. Однак його впровадження доцільне лише за умови стабільної програми випуску та можливості чіткого тактування кожної операції. В даному проекті проводиться детальний розрахунок та обґрунтування того, яка саме форма організації буде оптимальною для виготовлення консольного вала, враховуючи необхідність забезпечення заданої точності та термінів постачання готової продукції замовнику.

Дані для розрахунку: річна програма випуску $N = 5000$ шт; маса деталі – $q=6,87$ кг. Враховуючи масу деталі і програму випуску визначаємо багатосерійним тип виробництва.

Кількість деталей в партії можна визначити за формулою:

$$n = \frac{a \cdot N}{\Phi} \quad (1.1)$$

де a – періодичність запуску (2 рази на тиждень);

Φ – кількість робочих днів на рік (250 днів).

$$n = \frac{2 \cdot 5000}{250} = 40 \text{ шт.}$$

Операції на робочих місцях виконуються рівномірно та повністю завантажені одними й тими ж операціями та виробництво змінно-потокowe.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Вибір методу отримання заготовки є визначальним етапом проектування технологічного процесу, що безпосередньо впливає на структуру операцій механічного оброблення, обсяг металомісткості та кінцеву собівартість виробу. При обґрунтуванні способу виготовлення заготовки для даного консольного валу розглядаються два альтернативні варіанти: використання стандартного

гарячекатаного прокату (базовий варіант) та застосування методу поперечно-клинової прокатки (проектний варіант).

Базовий варіант передбачає використання в якості вихідного матеріалу сталевого гарячекатаного прокату круглого перерізу. Даний метод характеризується мінімальними підготовчими витратами, оскільки не потребує проектування та виготовлення спеціалізованого технологічного оснащення. Однак застосування прокату супроводжується значними припусками на механічне оброблення, що зумовлює низький коефіцієнт використання матеріалу. Велика різниця між діаметрами ступенів консольного валу та діаметром вихідного прокату призводить до зростання кількості проходів при точінні, підвищення витрат різального інструменту та збільшення обсягу відходів у вигляді стружки.

Проектний варіант передбачає отримання заготовки методом поперечно-клинової прокатки (ПКП). Технологія базується на деформуванні нагрітої циліндричної заготовки між робочими інструментами, що мають клиновий профіль. Застосування ПКП дозволяє отримувати заготовки, геометрія яких максимально наближена до контурів готової деталі. Це забезпечує суттєве зменшення припусків на шліфування та чистове точіння, а в деяких випадках дозволяє повністю виключити операції чорнової обробки. Окрім кількісних показників економії металу, даний метод забезпечує покращення якісних характеристик: перерозподіл волокон металу згідно з контуром ступенів консольного валу підвищує його здатність протистояти втомним навантаженням.

Економічне порівняння двох варіантів базується на розрахунку приведених витрат. Основним критерієм ефективності проектного рішення є перевищення економії від зменшення маси заготовки та скорочення основного технологічного часу над витратами на амортизацію спеціалізованого оснащення (прокатних клинів). У подальших розрахунках наводяться кількісні показники маси заготовок, величини припусків та порівняльна вартість виготовлення деталі для обох варіантів.

Отримання заготовки з прокату. Попередньо визначаємо розміри заготовки (рисунок 1.2) [2,3].

Ra 40

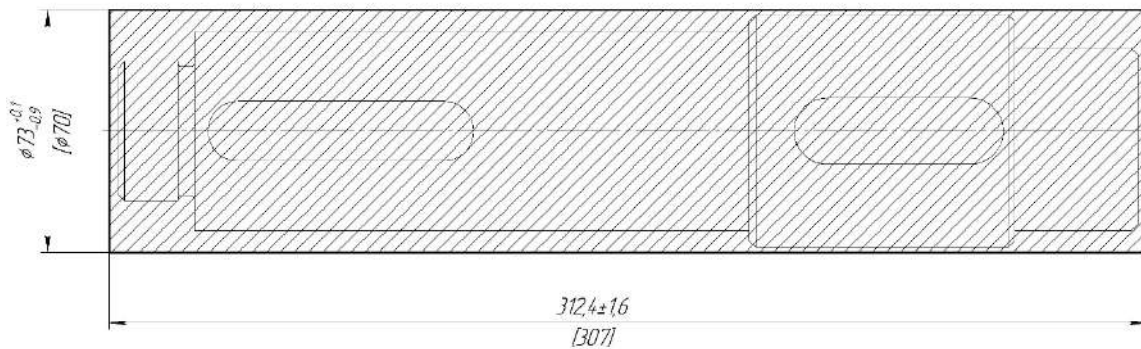


Рисунок 1.2 – Ескіз заготовки, що отримана з прокату

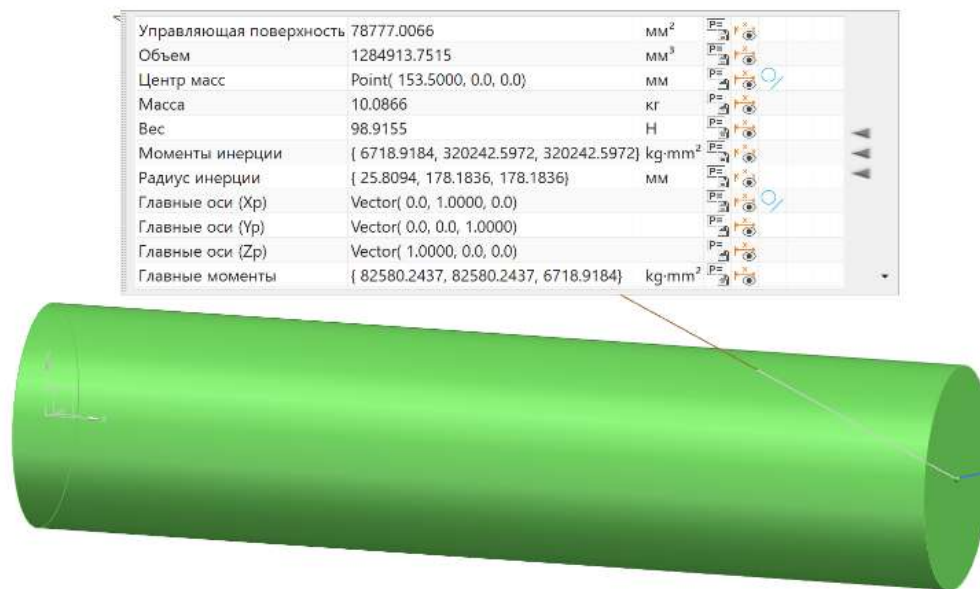


Рисунок 1.3 – Тривимірна модель заготовки, що отримана з прокату

Собівартість виготовлення визначається за формулою (1.2) [2,3]:

$$C_1 = \frac{C_E}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{II} - (Q - q) \cdot \frac{C_{\text{виз}}}{1000}, \quad (1.2)$$

де C_E -базова собівартість 1т заготовки, $C_E=44000$ грн/т;

Q -маса заготовки, $Q=10,08$ кг;

q-маса деталі, q=6,87 кг;

К_Т - коефіцієнт, що враховує клас точності К_Т=1;

К_М - коефіцієнт, враховує марку матеріалу К_М=2,4;

К_В - коефіцієнт, враховує масу заготовки К_В=1;

К_П - коефіцієнт, враховує програму випуску К_П=0,5;

С_{відх} - собівартість 1т стружки, С_{відх}=4500 грн/т.

$$C_1 = \frac{44000}{1000} \times 10,08 \times 1 \times 2,4 \times 1 \times 0,5 - (10,08 - 6.87) \times \frac{4500}{1000} = 517,8 \text{ грн}$$

Визначимо коефіцієнт використання матеріалу за формулою (1.3) [2,3]:

$$K_{BM} = \frac{q}{Q}; \quad (1.3)$$

де q = 6,87 кг – маса деталі;

Q = 10,08 кг – маса заготовки;

$$K_{BM} = \frac{6,87}{10,08} = 0,68$$

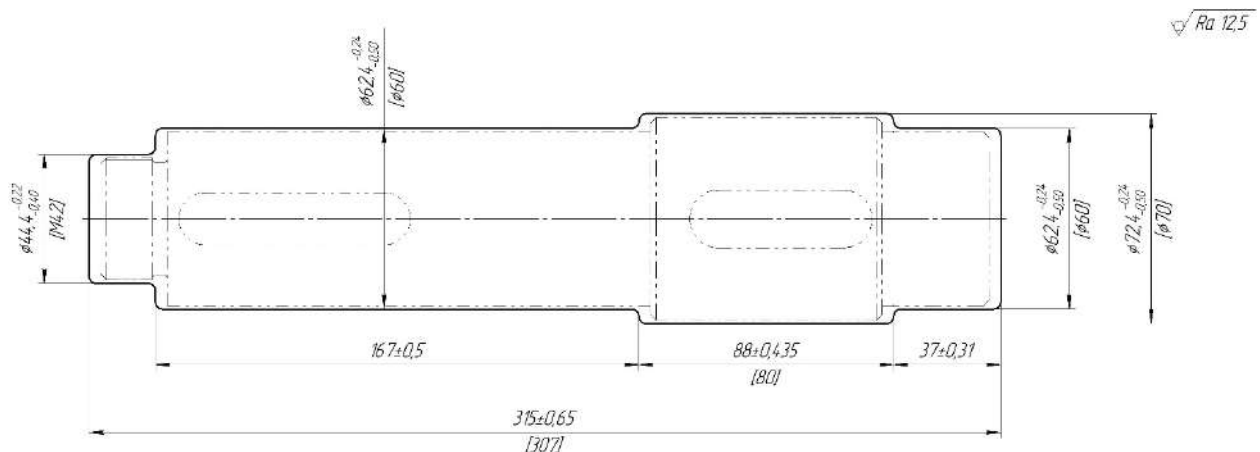


Рисунок 1.4 – Ескіз заготовки, що отримана поперечно клинковою прокаткою

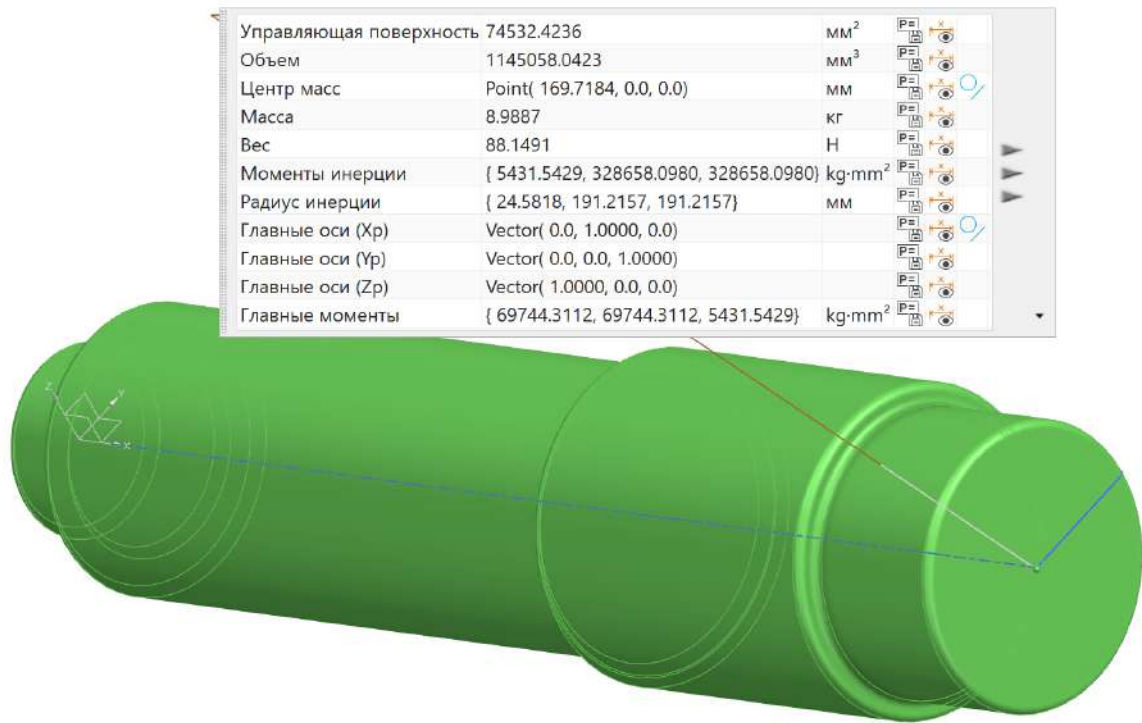


Рисунок 1.5 – Тривимірна модель заготовки, що отримана поперечно клинковою прокаткою

Собівартість виготовлення визначається за формулою (1.2) [2,3]:

$$C_2 = \frac{52000}{1000} \times 8,98 \times 1 \times 2,4 \times 1 \times 0,5 - (8,98 - 6,87) \times \frac{4500}{1000} = 457,47 \text{ грн}$$

де $K_v=1$; $K_m=2,5$; $K_p=0,5$; $K_t=1$; $C_b=52000 \text{ грн/т}$; $q=8,98 \text{ кг}$; $Q=6,87 \text{ кг}$; $S_{вдх}=4500 \text{ грн/т}$.

Визначимо коефіцієнт використання матеріалу за формулою (1.3):

$$K_{vm} = \frac{6,87}{8,98} = 0,76$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 1.4.

Приведені витрати на одну заготовку складають: у 1-му варіанті $C_1=517,8 \text{ грн}$; у 2-му варіанті $C_2=457,47 \text{ грн}$; $C_1 > C_2$; $K_{vm1} < K_{vm2}$

Таблиця 1.4 - Порівняльні показники отримання заготовок двома методами

Показники	Позначення	Одиниці вимірювання	Варіанти	
			Прокат	ПКП
Маса деталі	q	кг	6,87	6,87
Маса заготовки	Q	кг	10,08	8,98
Коефіцієнт використання матеріала	η	—	0,68	0,76
Базова вартість 1т заготовок	B_6	грн.	44000	52000
Коефіцієнти	K_v	-	1	1
	K_m	-	2,4	2,4
	K_{π}	-	0,5	0,5
	K_T	-	1	1
Вартість 1т стружки	$B_{\text{відх.}}$	грн.	4500	4500
Вартість заготовки	C	грн.	517,8	457,47

Аналіз отриманих розрахункових даних підтверджує, що метод поперечно-клинової прокатки є більш раціональним для виготовлення даного консольного валу. Застосування ПКП забезпечує зростання коефіцієнта використання матеріалу порівняно з базовим варіантом (прокатом) та значне скорочення трудомісткості механічного оброблення. Зменшення обсягу видалення металу при точінні дозволяє оптимізувати завантаження верстатного парку. Таким чином, незважаючи на витрати на підготовку виробництва, проектний варіант є економічно ефективним і рекомендується для впровадження у технологічний процес.

1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі «Консольний вал»

1.4.1 Вибір технологічних баз

Вибір технологічних баз для виготовлення консольного валу є визначальним етапом розробки технологічного процесу, від якого залежить забезпечення заданої точності розмірів, форми та взаємного розташування поверхонь, а також економічність виробництва. Деталь, представлена на робочому кресленні, має

низку точних посадкових поверхонь ($\varnothing 60h7$, $\varnothing 70h7$) із вимогами до шорсткості Ra 1,6, а також жорсткий допуск паралельності бокових поверхонь шпоночних пазів і биття секції $\varnothing 70$ відносно поверхні $\varnothing 60$ в межах 0,08 мм. Аналіз вихідної заготовки, отриманої методом поперечно-клинової прокатки, показує наявність припусків по всіх поверхнях: загальна довжина становить 315 мм (при довжині готової деталі 307 мм), а діаметри мають чорнові розміри $\varnothing 62,4$ мм та $\varnothing 72,4$ мм із шорсткістю Ra 12,5. Враховуючи ці вихідні дані, технологічний процес вимагає чіткого розмежування на етапи обробки з використанням чорнових та чистових баз.

На першій, заготівельній стадії технологічного процесу головним завданням є підготовка надійних чистових технологічних баз для подальшої токарної обробки. Оскільки деталь є тілом обертання, найкращими чистовими базами для неї слугуватимуть центрові отвори на торцях. Для підрізання торців і зацентровування необхідно обрати чорнові бази. В якості чорнових технологічних баз найдоцільніше використовувати найбільші та найстабільніші зовнішні не оброблені поверхні заготовки, отримані після КПК. Закріплення заготовки у трикулачковому самоцентруючому патроні за чорнову ділянку $\varnothing 72,4$ мм або $\varnothing 62,4$ мм забезпечить надійну радіальну фіксацію. Для поздовжнього (осьового) базування слід використати один із перехідних уступів заготовки. Це дозволить рівномірно розподілити припуск на загальну довжину консольного валу і створити точні центрові отвори, співвісні з основною масою металу.

Після створення центрових отворів вони стають головними чистовими технологічними базами. Згідно з принципом єдності баз, використання центрів як технологічної та вимірювальної бази дозволяє з мінімальними похибками обробити більшість зовнішніх циліндричних поверхонь. Встановлення консольного валу в центрах верстата з використанням повідкового патрона дає змогу за одну або дві установки виконати чорнове, напівчистове та чистове точіння всіх ступенів, нарізання різьби M42x2-7g, а також наступне кругле шліфування точних шийок. Саме базування в центрах природним шляхом гарантує виконання високих вимог креслення щодо співвісності ступенів консольного валу та дозволяє легко витримати допуск паралельності 0,08 мм між поверхнями $\varnothing 70h7$ та $\varnothing 60h7$, оскільки

обробка ведеться відносно єдиної геометричної осі деталі. Крім того, надійна фіксація між центрами мінімізує вібрації, що є критично важливим для досягнення необхідної шорсткості $Ra\ 1,6$ на відповідальних ділянках.

Окремого підходу вимагають операції фрезерування шпонкових пазів на ділянках $\varnothing 60$ та $\varnothing 70$, а також свердління глухого отвору $\varnothing 12$. Для виконання цих операцій схема базування змінюється. Як чистову опорну та напрямну базу раціонально використовувати вже остаточно оброблені зовнішні циліндричні шийки консольного валу ($\varnothing 60h7$ або $\varnothing 70h7$), встановлюючи деталь у призми на столі фрезерного верстата. Для забезпечення точного кутового положення шпонкових пазів та дотримання вимог щодо їх паралельності до осі консольного валу, додатково використовується базування, що запобігає повороту заготовки. Поздовжнє позиціонування при фрезеруванні та свердлінні здійснюється по одному з чистових оброблених торців. Таким чином, перехід від чорнових баз прокату до центрових отворів як головних чистових баз, із подальшим використанням точних циліндричних поверхонь для допоміжних операцій, створює оптимальний технологічний маршрут, що гарантує високу якість виготовлення консольного валу.

1.4.2 Проєктування маршруту обробки поверхонь

Проєктування маршруту обробки поверхонь (МОП) є одним із ключових та найбільш відповідальних етапів розробки технологічного процесу виготовлення деталі. Головна мета цього розділу полягає у встановленні оптимальної та економічно доцільної послідовності операцій обробки різанням, а також визначенні змісту й місця термічних, слюсарних та контрольних операцій у загальному циклі виробництва. Грамотно побудований маршрут забезпечує поступове перетворення вихідної заготовки на готову деталь із суворим

дотриманням усіх вимог робочого креслення щодо точності розмірів, геометричної форми та якості (шорсткості) поверхонь.

Основою для складання МОП є аналіз конструкції деталі, її службового призначення в механізмі, а також фізико-механічних характеристик обраного типу заготовки. Оскільки за один технологічний перехід неможливо економічно вигідно і технічно правильно зняти весь чорновий припуск та одразу досягти високої точності, розробка маршруту передбачає розподіл технологічного процесу на окремі етапи. Ці етапи об'єднують технологічні методи, що є приблизно рівними за точністю і якістю обробки (наприклад, чорнові, напівчистові, чистові та оздоблювальні операції). Такий поетапний підхід дозволяє поступово зменшувати похибки форми попередньої обробки, знімати залишкові напруження в матеріалі та плавно наближатися до заданих параметрів. Як довідковий матеріал при проектуванні маршруту широко використовуються перевірені типові, групові або робочі заводські технологічні процеси.

Методика проектування маршруту обробки для кожної окремої поверхні базується на математичному розрахунку необхідних ступенів уточнення. Спочатку визначається загальне розрахункове уточнення за параметрами точності, що є відношенням допуску на заготовку до допуску на готову деталь. Аналогічно розраховується загальне уточнення за параметром шорсткості – як відношення шорсткості заготовки до шорсткості деталі. На основі цих показників точності геометричного розміру теоретично визначається необхідна мінімальна кількість технологічних переходів. Далі, керуючись нормативно-довідковою літературою та таблицями економічної точності методів механічної обробки, встановлюється послідовність показників точності (квалітетів) та безпосередньо призначаються методи формоутворення за переходами. Для кожного обраного переходу фіксуються проміжні допуски та значення шорсткості, що дозволяє контролювати динаміку наближення характеристик оброблюваної поверхні до фінальних вимог.

МОП проектуємо для зовнішньої циліндричної та лінійної поверхонь.

Для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 60h7$ шорсткість заготовки $R_a = 12,5$ мкм, [4], допуск $Td_3 = 0,74$ мм, шорсткість деталі $R_a = 1,6$ мкм, допуск $Td_{\varnothing} = 0,03$ мм.

Визначаємо уточнення за параметрами точності ε_d та шорсткості R_{a_d} за формулами (1.4), (1.5) [4]:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_{\varnothing}} \quad (1.4)$$

де Td_3 , Td_d – допуски на заготовку та деталь відповідно.

$$\varepsilon_d = \frac{0,74}{0,03} = 24,67$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{Ra_3}{Ra_{\varnothing}} \quad (1.5)$$

де Ra_3 , Ra_d – шорсткість на заготовку та деталь відповідно.

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{12,5}{1,6} = 7,81$$

Кількість переходів визначаємо за показником точності геометричного розміру. За цим показником розраховуємо k переходів визначаємо за формулою (1.6) [4]:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon_d \quad (1.6)$$

$$k = 2 \cdot \lg 24,67 = 2,78$$

Приймаємо $k = 3$.

Різниця квалітетів точності та їх розподіл $IT = IT14 - IT7 = 7 = 3 + 3 + 1$.

Встановлюємо послідовність показників точності: $IT14 - IT11 - IT8 - IT7$.

Призначаємо методи обробки за переходами. Заготівельна – точіння чорнове – точіння чистове – шліфування.

За [4] призначаємо допуски та шорсткість за переходами, див. табл. 1.5.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості для точіння чорнового за формулами (1.4), (1.5) [4]:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{0,74}{0,19} = 3,89$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{12,5}{6,3} = 1,98$$

Для інших переходів уточнення розраховується так само. Результати розрахунків заносимо в таблицю 1.5.

Для поверхні L307Js10 шорсткість заготовки $R_a=12,5$ мкм, [4], допуск $Td_3 = 1,3$ мм, шорсткість деталі $R_a=3,2$ мкм, допуск $Td_{\square} = 0,21$ мм.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості за формулами (1.4), (1.5) [4]:

$$\varepsilon_d = \frac{1,3}{0,21} = 6,19$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{12,5}{3,2} = 3,9$$

Кількість переходів визначаємо за показником точності геометричного розміру. За цим показником розраховуємо k переходів за формулою (1.6) [4]:

$$k = 2 \cdot \lg 6,19 = 1,58$$

Приймаємо $k = 2$.

Різниця квалітетів точності та їх розподіл $IT=IT14-IT10=4=3+1$.

Встановлюємо послідовність показників точності: IT14-IT11-IT10. Призначаємо методи обробки за переходами. Заготівельна – підрізка торців чорнова – підрізка торців чистова.

За [4] призначаємо допуски та шорсткість за переходами та заносимо в таблицю 1.5. Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості для точіння чорнового за формулами (1.11), (1.12) [4]:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{1,3}{0,32} = 4,1$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{12,5}{6,3} = 1,98$$

Для інших переходів уточнення розраховується так само.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 1.5.

На основі проведених теоретичних розрахунків показників уточнення та аналізу економічної точності різних методів формоутворення, було успішно сформовано маршрути обробки для всіх критичних поверхонь деталі. Обрана послідовність чорнових, напівчистових та чистових переходів є технічно обґрунтованою і гарантує плавне та бездефектне досягнення заданих кресленням квалітетів точності та параметрів шорсткості. Розроблений МОП повністю задовольняє вимоги до якості деталі і слугує вихідною базою для розрахунку міжопераційних припусків та норм часу на наступних етапах проектування.

1.4.3 Проєктування технологічного маршруту виготовлення деталі

Проєктування технологічного маршруту є головним етапом розробки робочого технологічного процесу. Головна мета цього етапу – визначити економічно доцільну та технічно обґрунтовану послідовність виконання операцій, яка забезпечить поступове перетворення вихідної заготовки на готову деталь із суворим дотриманням усіх вимог робочого креслення щодо точності розмірів, макрогеометрії та якості поверхонь.

Відповідно до аналізу конструкції деталі «Консольний вал» та її службового призначення, технологічний процес її виготовлення має комплексний характер і складається з різноманітних операцій, серед яких: заготівельна, токарні, фрезерні, свердлильна, шліфувальні, а також спеціальні, слюсарні та контрольні операції.

Маршрут виготовлення консольного валу поділяється на кілька основних етапів. Розпочинається процес із заготівельної (фрезерно-центрувальної) операції. Оскільки вихідною заготовкою слугує поковка, отримана методом поперечної клинкової прокатки (ПКП), її форма вже наближена до контурів готової деталі. Завдання першої операції – підрізати торці в заданий загальний розмір та просвердлити центрувальні отвори, створивши таким чином надійні та єдині технологічні бази для подальшої обробки.

Наступним етапом є токарні операції. Встановлюючи заготовку в центрах на токарних верстатах з ЧПК, виконують чорнове, напівчистове та чистове точіння всіх зовнішніх циліндричних ступенів, підрізання уступів, формування фасок та нарізання різьбових ділянок.

Після формування поверхонь обертання маршрут передбачає виконання фрезерних та свердлильних операцій. Деталь перебазовується (встановлюється у призми по точно оброблених токарних поверхнях). На фрезерних верстатах виконується обробка плоских поверхонь (лисок) та точне

фрезерування шпонкових пазів. Свердлильна операція включає свердління радіального глухого отвору.

Відповідно до технічних вимог креслення, слюсарні операції призначені для зачищення задирок, притуплення гострих кромek (виконання радіусів R 0,5 мм на лисках та пазах) та мийна. Фінішним етапом механічної обробки є шліфувальні операції. Кругле шліфування призначається виключно для відповідальних посадкових шийок консольного валу, де вимагається висока точність та низька шорсткість поверхні (R_a 1,25). Обробка знову ведеться у центрах для гарантування ідеальної співвісності всіх ступенів.

Завершується технологічний маршрут контрольною операцією. На цьому етапі здійснюється комплексна перевірка лінійних та діаметральних розмірів, відхилень форми і взаємного розташування поверхонь, а також параметрів шорсткості. Детальний, покроковий маршрут виготовлення деталі із зазначенням обладнання, оснащення та баз показано у відповідних операційних ескізах та маршрутних картах.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Встановлення оптимальних припусків на механічну обробку є важливим фактором забезпечення економічної та технічної ефективності машинобудівного виробництва. Рациональний розподіл припуску за технологічними переходами дозволяє оптимізувати навантаження на обладнання та забезпечити стабільність процесу різання. Необхідність розрахунку припусків обумовлена тим, що заготовки, отримані методами пластичного деформування, мають значні відхилення розмірів та форми, а також дефектний поверхневий шар, що виникає внаслідок високотемпературного нагріву.

Процес визначення припусків вимагає глибокого аналізу факторів, що визначають точність обробки. До них належать стан вихідної поверхні, похибки встановлення та закріплення деталі в пристрої, а також геометричні похибки самого металорізального обладнання. Вибір методу розрахунку припусків залежить від відповідальності поверхні та типу виробництва. Для багатосерійного виробництва, де економія металу на кожній одиниці продукції суттєво впливає на загальний економічний ефект, пріоритетним є використання розрахунково-аналітичного методу.

Цей метод дозволяє встановити мінімальну величину припуску шляхом підсумовування окремих складових, що характеризують якість поверхні та похибки розташування після попередньої операції. Формула розрахунку включає висоту мікронерівностей R_z , глибину дефектного шару T , величину сумарних просторових відхилень ρ та похибку встановлення ϵ на операції, що виконується. Аналітичний розрахунок забезпечує величину припуску, яка гарантовано перебиває всі можливі відхилення технологічної системи.

Зовнішня діаметральна поверхня $\varnothing 60h7_{(-0,03)}$.

Для заготовки нормативні значення $R_z=50$ мкм и $h=70$ мкм приймаємо в залежності від маси заготовки.

Просторові відхилення заготовки визначаємо [5,6], як сумму допустимих значень похибки розміру від зміщення $\rho_{см}$ та короблення $\rho_{кор}$. Для заготовки яка отримана клинковою прокаткою: $\rho_{см}=150$ мкм, $\rho_{кор}=\Delta_k \cdot 0,5=0,5 \cdot 315=157,5$ мкм=0,157 мм.

Суммарне значення просторових відхилень визначаємо за формулою (1.7) [5,6]:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2} \quad (1.7)$$

$$\rho_1 = \sqrt{150^2 + 157^2} = 217,14 \text{ мкм} = 0,217 \text{ мм}$$

Отримані значення заносимо в таблицю 1.6.

Для точіння чорнового нормативні значення R_z , h [5,6]: $R_{z2}=25$ мкм, $h_2=35$ мкм, $\rho_2=k_y \cdot \rho_1=0,06 \cdot 217=13,02$ мкм=0,013 мм, $k=0,06$ – коефіцієнт уточнення.

Похибки установки заготовки визначаємо за формулою (1.8) [5,6]:

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{Td_{\text{заг}}^2 + 1} \quad (1.8)$$

$$\varepsilon_2 = 0,25 \sqrt{0,74^2 + 1} = 0,311 \text{ мм} = 311 \text{ мкм}$$

де $Td_{\text{заг}}=0,74$ мм – допуск заготовки.

Для точіння чистового нормативні значення R_z , h [5,6], приймаємо: $R_{z3}=12,5$ мкм, $h_3=17,5$ мкм, $\rho_3=0$ мкм, $\varepsilon_3=18,66$ мкм.

Для шліфування чорнового нормативні значення R_z , h [5,6], приймаємо: $R_{z4}=5$ мкм, $h_4=10$ мкм, $\rho_4=0$ мкм, $\varepsilon_4=0$ мкм.

Мінімальні значення припусків визначаємо за формулою (1.9) [5,6]:

$$2Z_{\min_i} = 2 \left(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) \quad (1.9)$$

Для точіння чорнового:

$$2Z_{1\min} = 2[50 + 70 + \sqrt{(217^2 + 311^2)}] = 998,44 \text{ мкм} = 0,998 \text{ мм}$$

Для точіння чистового:

$$2Z_{3\min} = 2[25 + 35 + \sqrt{(13,02^2 + 18,66^2)}] = 165,5 \text{ мкм} = 0,165 \text{ мм}$$

Для шліфування чорнового:

$$2Z_{4\min} = 2[12,5 + 17,5 + \sqrt{(0^2 + 0^2)}] = 60 \text{ мкм} = 0,06 \text{ мм}$$

Визначаємо мінімальний розмір поверхні деталі – розмір останнього переходу механічної обробки за формулою (1.10) [5,6]:

$$d_4^{\min} = d_4^{\text{НОМ}} + \text{eid}_4 \quad (1.10)$$

$$d_4^{\min} = 60 + (-0,03) = 59,97 \text{ мм}$$

Далі розрахункові мінімальні розміри знаходимо по формулі (1.11) [5,6]:

$$d_i^{\min} = d_{i+1}^{\min} + 2z_{i+1}^{\min} \quad (1.11)$$

$$d_3^{\min} = d_4^{\min} + 2z_4^{\min} = 59,97 + 0,06 = 60,03 \text{ мм};$$

$$d_2^{\min} = d_3^{\min} + 2z_3^{\min} = 60,03 + 0,165 = 60,195 \text{ мм};$$

$$d_1^{\min} = d_2^{\min} + 2z_2^{\min} = 60,195 + 0,998 = 61,193 \text{ мм};$$

Розраховуємо максимальні розміри поверхні для переходів по формулі (1.12) [5,6]:

$$d_i^{\max} = d_i^{\min} + Td_i \quad (1.12)$$

$$d_4^{\max} = d_4^{\min} + Td_4 = 59,97 + 0,03 = 60 \text{ мм};$$

$$d_3^{\max} = d_3^{\min} + Td_3 = 60,03 + 0,074 = 60,104 \text{ мм};$$

$$d_2^{\max} = d_2^{\min} + Td_2 = 60,195 + 0,19 = 60,385 \text{ мм};$$

$$d_1^{\max} = d_1^{\min} + Td_1 = 61,193 + 0,74 = 61,933 \text{ мм};$$

Розраховуємо максимальні припуски для переходів механічної обробки за формулою (1.13) [5,6]:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\max} \quad (1.13)$$

$$2z_2^{\max} = d_1^{\max} - d_2^{\max} = 61,933 - 60,385 = 1,548 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\max} = d_2^{\max} - d_3^{\max} = 60,385 - 60,104 = 0,281 \text{ мм};$$

$$2z_4^{\max} = d_3^{\max} - d_4^{\max} = 60,104 - 60 = 0,104 \text{ мм};$$

Перевіряємо розрахунки, використовуючи наступну рівність:

$$2Z_0^{\max} - 2Z_0^{\min} = Td_{\text{заг}} + Td_{\text{дет}}$$

$$1963 - 1193 = 740 + 30$$

Визначаємо виконавчий розмір заготовки за формулою [5,6]:

$$d_{1\text{ном}} = d_{1\text{min}} + ei_1 = 61,193 + 0,5 = 61,7 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір заготовки буде дорівнювати: $\varnothing 61,7_{-0,50}^{+0,24}$ Виконавчі розміри для інших переходів виконуються в системі вал, тобто номінальний розмір займає максимальний розмір поверхні мінус допуск до обробки як нижнього відхилення, всі дані записані в таблиці 1.6.

За результатами проведених розрахунків у даному розділі сформовано масив технологічних розмірів, що забезпечують перетворення заготовки у готову деталь. Аналітичний метод розрахунку для базового отвору дозволив виявити резерви зниження металоємності процесу порівняно зі стандартними табличними значеннями, що є важливим в умовах серійного випуску. Табличне призначення припусків для забезпечило відповідність технологічного маршруту чинним галузевим стандартам. Встановлені допуски на проміжні розміри виключають можливість появи браку через накопичення похибок. Отримані дані є базою для розробки схем налагодження інструменту та визначення режимів обробки, забезпечуючи високу якість поверхневого шару.

Таблиця 1.6 – Розрахунок припусків [5,6]

№ Пов.	Перехід	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий		Допуск, мм	Макс. розмір, мм	Мінім. розмір, мм	Припуск на обробку, мкм		Виконавчий розмер, мм
		Rz	h	ρ	ε	Мін. припуск, мкм	Розмір, мм				2Z _{max}	2Z _{min}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ø60h7	Заготовка	50	70	217	-	-	61,193	0,74	61,933	61,193	-	-	Ø61,7 ^{+0,24} _{-0,5}
	Т/О	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Точ.чорн.	25	35	13,02	311	998	60,195	0,19	60,385	60,195	1548	998	Ø60,4 _{-0,19}
	Точ. чист	12,5	17,5	0	18,66	165	60,03	0,074	60,104	60,03	281	165	Ø60,1 _{-0,074}
	Шліф.	5	10	0	0	60	59,97	0,03	60	59,97	104	60	Ø60 _{-0,03}

1.6 Розрахунок режимів різання

Призначення режиму різання на 025 Токарну операцію з ЧПК.
Операційний ескіз показано на рисунку 1.6

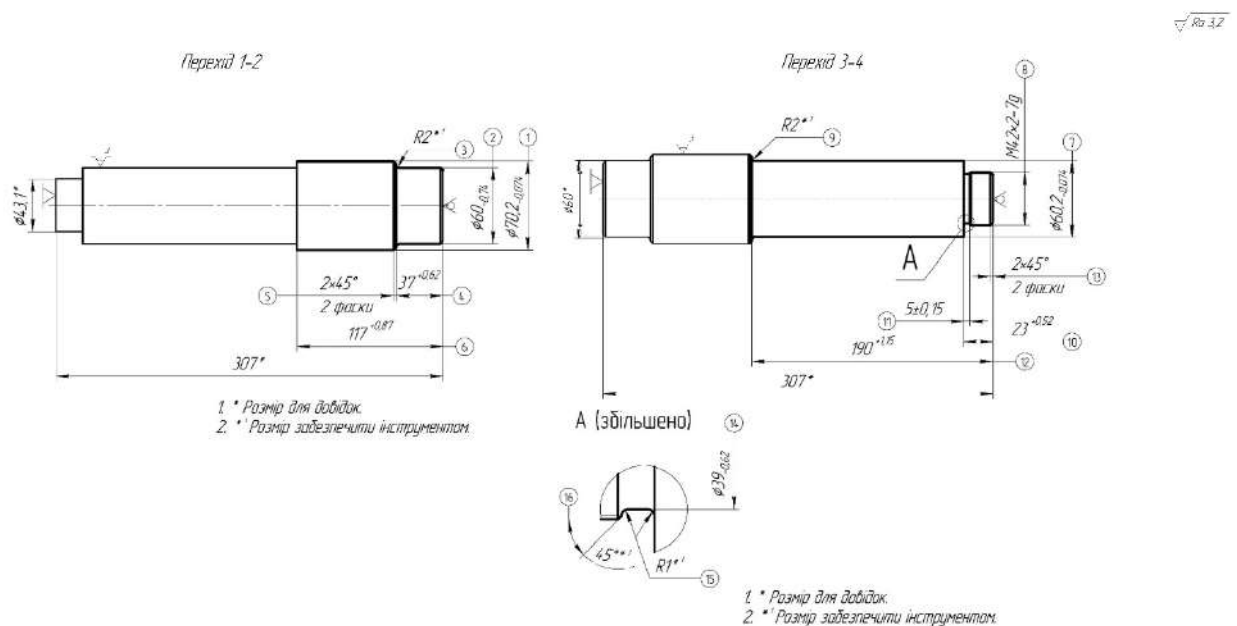


Рисунок 1.6 – Операційний ескіз токарної обробки

Перехід 1: Установочний.

Перехід 2: Точити контур деталі начисто витримуючи розміри 1-6 по програмі. Параметри ріжучих інструментів надаються в таблиці 1.7.

Глибина різання t , мм розраховується за формулою (1.14) [7,8]:

$$t = \frac{h}{i} \quad (1.14)$$

де h - величина припуску на обробку, $h = 0,4$ мм

i - кількість проходів інструменту $i = 1$.

$$t = \frac{0,4}{1} = 0,4 \text{ мм}$$

За нормативними даними призначається подача S_o , мм/об за паспортом верстату: $S_o = 0,09$ мм/об [7,8].

Швидкість різання V_i , м/хв визначається за [7,8] $V_i = 200$ м/хв.

Частота обертання шпинделя n , хв^{-1} визначається за формулою (1.15) [7,8]:

$$n = \frac{1000 \cdot V_i}{\pi \cdot D} \quad (1.15)$$

де D – діаметр поверхні обробки, мм;

$$n = \frac{1000 \cdot 200}{3,14 \cdot 71,3} = 893,3 \text{ хв}^{-1}$$

Дійсна частота обертання n_d , хв^{-1} приймається за паспортом верстату $n_d = 890 \text{ хв}^{-1}$.

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв розраховується за формулою (1.16) [7,8]:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_d}{1000} \quad (1.16)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 71,3 \cdot 890}{1000} = 199,2 \text{ м/хв}$$

Хвилинна подача $S_{\text{хв}}$, мм/хв розраховується за формулою (1.17) [7,8]:

$$S_{\text{хв}} = S_o \cdot n_d \quad (1.17)$$

$$S_{\text{хв}} = 0,09 \cdot 890 = 80,1 \text{ мм/хв}$$

Приймається дійсне значення хвилинної подачі $S_{\text{хв,д}}$, мм/хв. За паспортом верстату: $S_{\text{хв,д}} = 80 \text{ мм/хв}$.

Потужність різання $N_{\text{різ}}$, кВт розраховується за формулою [7,8] (1.18):

$$N_{\text{різ}} = \frac{V_d \cdot t \cdot S_o \cdot k_c}{60 \cdot 1000} \quad (1.18)$$

де k_c – сила різання, Н/мм². Вибирається із каталогу. $k_c = 1600 \text{ Н/мм}^2$

$$N_{\text{різ}} = \frac{199,2 \cdot 0,4 \cdot 0,09 \cdot 1600}{60 \cdot 1000} = 0,19 \text{ кВт}$$

Перевірка двигуна верстата на достатність потужності виконується із умови за формулою (1.19) [7,8]:

$$N_{\text{різ}} \leq N_{\text{дв}} \cdot \eta \quad (1.19)$$

де $N_{\text{дв}}$ – потужність двигуна верстата, кВт;

η – коефіцієнт корисної дії двигуна;

$\eta = 0,85$; $N_{\text{дв}} = 15$

$$0,18 < 12,75$$

Умова виконується, тобто потужність двигуна дозволяє працювати на розрахованих режимах різання.

Основний машинний час T_o , хв розраховується за формулою (1.20) [7,8]:

$$T_o = \frac{l + \gamma + \Delta}{S_{\text{хв}}} \cdot i \quad (1.20)$$

де l – довжина різання, $l_{\text{різ}} = 152,8$ мм;

Δ – величина перебігу інструменту, $\Delta = 2$ мм;

γ – величина врізання інструменту, $\gamma = 0,3$ мм.

$$T_o = \frac{152,8 + 0,3 + 2}{80} \cdot 1 = 1,93 \text{ хв}$$

На перехід 4 режими різання розраховуються аналогічно та надаються в зведеній таблиці режимів різання.

030 Круглошліфувальна. Операційний ескіз показано на рисунку 1.7.

Перехід 1 Установочний

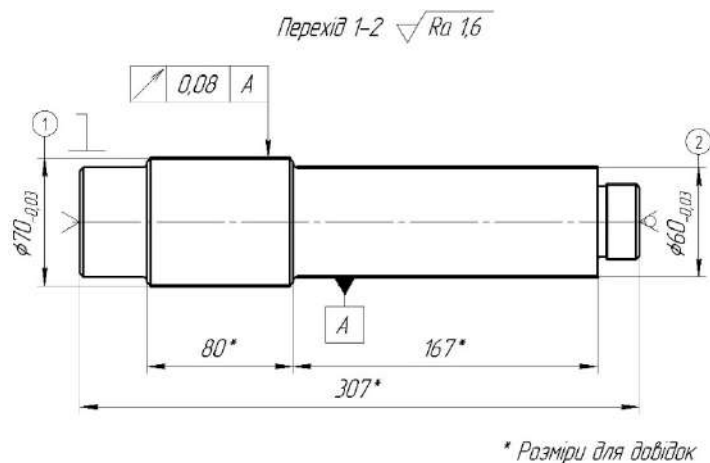


Рисунок 1.7 – Операційний ескіз на круглошліфувальну операцію

Перехід 2: Шліфувати шийку витримуючи розмір 1.

Вибирається група обробляємості шліфуванням матеріалу по [7,8]

Група обробляємості 1.

Частота обертання круга $n_{\text{кр}}$, об/хв, вибирається по паспорту верстата

$$n_{\text{кр}} = 2000 \text{ об/хв}$$

Перевірка на розривну швидкість круга $V_{\text{кр}}$, м/с, виконується за формулою (1.21) [7,8]:

$$V_{кр} = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n_{кр}}{1000 \cdot 60} \leq V_{роз} \quad (1.21)$$

де $V_{роз}=35$ м/с за [7,8];

$$V_{кр} = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 2000}{1000 \cdot 60} = 4,18 \text{ м/с} < 35 \text{ м/с}$$

Умова виконується.

Частота обертання деталі вибирається по таблиці [7,8] $n = 59$ об/хв.

Дійсна частота обертання коригується по паспорту верстата $n_d = 60$ об/хв.

Радіальна подача круга S_t мм/об призначається по таблиці [7,8] $S_t = 0,006$ мм/об.

Хвилинна подача $S_{хв}$ мм/хв призначається по таблиці [7,8] $S_{хв} = 1970$ мм/хв.

Дійсна радіальна подача S_{td} мм/об коригується по паспорту верстата $S_{td} = 0,006$ мм/об.

Глибина різання t , мм $t = S_{td} = 0,006$ мм.

Дійсна швидкість деталі $V_{д.д}$ м/хв розраховується за формулою (1.16) [7,8]:

$$V_{д.д} = \frac{3,14 \cdot 70,2 \cdot 60}{1000} = 13,2 \text{ м/хв}$$

Потужність різання N_p , кВт розраховується за формулою (1.22) [7,8]:

$$N_p = N_{таб} \cdot K_N \quad (1.22)$$

де $N_{таб} = 1,2$ – табличне значення, вибирається по [7,8];

$K_N = 0,8$ – поправочний коефіцієнт, вибирається по [7,8];

$$N_p = 1,2 \cdot 0,8 = 0,96 \text{ кВт}$$

Основний машинний час T_o , хв розраховується по формулі (1.23) [7,8]:

$$T_o = \frac{L_{p.x} \cdot h}{S_{хв.д} \cdot S_{т.д}} \cdot i \cdot K \quad (1.23)$$

де h – припуск на сторону, мм;

K – коефіцієнт точності, $K=1,1$;

i – число переходів;

$L_{p.x}$ – довжина робочого ходу, розраховується за формулою (1.24) [7,8]:

$$L_{p.x} = l + \frac{B}{2} \quad (1.24)$$

де l – довжина обробки, $l = 80$ мм;

B – ширина круга, $B=40$ мм.

$$L_{p.x} = 80 + \frac{40}{2} = 100 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{100 \cdot 0,1}{1970 \cdot 0,006} \cdot 1 \cdot 1,1 = 0,93[d$$

030 Фрезерна з ЧПК. Операційний ескіз показано на рисунку 1.8.

1 перехід установочний.

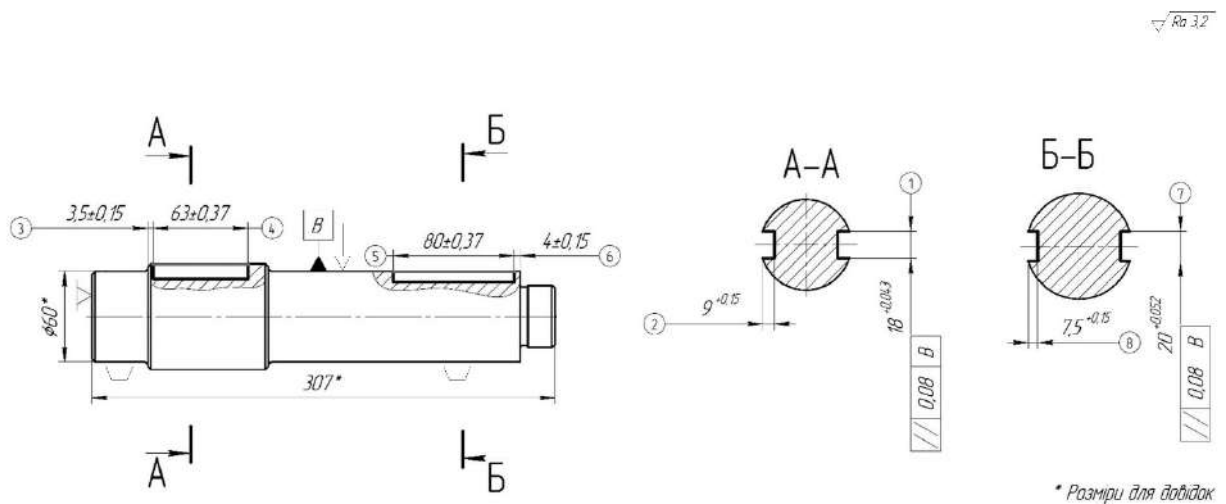


Рисунок 1.8 – Операційний ескіз на фрезерну операцію

Перехід 2: Фрезерувати шпонковий паз попередньо та чисто витримуючи розміри 1-4 по програмі.

Глибина різання t , мм розраховується по формулі (1.14) [7,8]: $h=9$ мм;
 $i=3$.

$$t = \frac{9}{3} = 3 \text{ мм}$$

Подача S_z , мм/зуб розраховується за формулою [7,8] (1.25):

$$S_z = S_{z.T} \cdot K_{sz} \quad (1.25)$$

де $S_z=0,26$ мм/зуб – табличне значення, для фрезерування шпонковою фрезою, діаметр фрези 10мм;

$K_{sz}=1 \cdot 0,9=0,9$ – поправочний коефіцієнт для твердості в межах 250НВ, відношення виліту фрези до діаметра до 10.

$$S_z = 0,26 \cdot 0,9 = 0,23 \text{ мм/зуб}$$

Швидкість різання V_i , м/хв розраховується по формулі (1.26):

$$V_i = V_{\text{таб}} \cdot K_v \quad (1.26)$$

де $V_{\text{таб}} = 15$ м/хв – табличне значення, для фрезерування діаметр фрези 18 мм., подача до 0,3 [7,8]

Поправочний коефіцієнт $K_v=1 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,72$ – для сталі, твердість до 229 НВ, стійкість фрези до 60 [7,8].

$$V_i = 15 \cdot 0,72 = 10,8 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя n , об/хв, розраховується по формулі (1.15) [7,8]:

$$n = \frac{1000 \cdot 10,8}{3,14 \cdot 18} = 191 \text{ об/хв}$$

Дійсна частота обертання n_d , об/хв, коригується по паспорту верстата $n_d = 190$ об/хв.

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв, розраховується по формулі (1.16) [7,8]:

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 18 \cdot 190}{1000} = 10,73 \text{ м/хв}$$

Хвилинна подача $S_{хв.}$, мм/хв розраховується по формулі (1.27) [7,8]:

$$S_{хв} = S_z \cdot n_d \cdot z \quad (1.27)$$

де $z=2$ – кількість зубів фрези;

$$S_{хв} = 0,23 \cdot 191 \cdot 2 = 87,8 \text{ мм/хв}$$

Дійсна хвилинна подача $S_{хв.д}$, мм/хв, коригується по паспорту верстата $S_{хв.д} = 87$ мм/хв.

Потужність різання $N_{різ}$, кВт, розраховується по формулі (1.18): $N_{табл} = 1,1$ кВт – для фрезерування, діаметр фрези 10 мм, глибина фрезерування до 2 мм., $z=2$ [7, с.297]; $K_N=1,0$.

$$N_p = 1,1 \cdot 1 = 1,1 \text{ кВт}$$

Основний машинний час T_o , хв, розраховується за формулою (1.20): $y=1,6$ мм, $l_{різ} = 63$ мм.

$$T_o = \frac{63 + 1,6}{87} \cdot 3 = 2,22 \text{ хв}$$

На перехід 3,4 режими різання розраховуються аналогічно та надаються у зведеній таблиці режимів різання.

Режими різання на всі операції приведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Зведені режими різання

Операції	Назва операції	Перехід	t, мм	So, мм/об	n, хв ⁻¹	V, м/хв	L.p.x, мм	i	T _o , хв
015	Фрезерно-центрувальна	2	2,2	100 мм/хв	450	113	81	1	0,81
		3	0,5	144 мм/хв	600	150,7	81	1	0,56
		4	2,5	0,18	2500	39,25	15,05	1	0,03
020	Токарна з ЧПК	2	2	320 мм/хв	1500	343,8	159,8	4	0,74
		4	2	320 мм/хв	1500	343,8	217,8	8	2,2
025	Токарна з ЧПК	2	0,4	80 мм/хв	890	199,2	155,1	1	1,93
		4	0,4	80 мм/хв	890	170,4	221	1	2,76
		5	1	2	200	26,3	25	6	0,37
030	Кругло-шліфувальна	2	0,006	1970/0,006	2000/60	13,2	100	1	3,45
035	Фрезерна з ЧПК	2	3	87 мм/хв	190	10,73	64,6	3	10,04
040	Фрезерна з ЧПК	2	3	87 мм/хв	190	10,73	57,2	1	2,48
		3	6	25 мм/хв	-	20	93	1	1,24

1.7 Технічне нормування операцій

Технічне нормування технологічних операцій механічної обробки є невіддільним етапом проєктування виробничого процесу, що полягає у визначенні обґрунтованих витрат робочого часу. Методологічною основою є розрахунково-аналітичний та табличний методи визначення часових параметрів, орієнтовані на умови серійного типу виробництва з змінно-поточною формою організації. Розрахунок нормованих витрат часу забезпечує формування вихідної бази для організації виробництва, планування завантаження металорізального устаткування, визначення необхідної кількості верстатів і робітників на дільниці, а також для обчислення остаточної технологічної собівартості виготовлення деталі. Основним показником, що підлягає обчисленню для кожної технологічної операції в умовах серійного випуску, є штучно-калькуляційний час. Розрахунок передбачає розділення штучного часу на оперативний час, час обслуговування робочого місця та час на особисті потреби й регламентований відпочинок робітника. Оперативний час, своєю чергою, об'єднує основний технологічний час, протягом якого відбувається безпосередня зміна форми, розмірів чи мікрогеометрії поверхні заготовки, та допоміжний час, необхідний для встановлення, закріплення й зняття деталі, керування верстатними вузлами та проведення міжопераційних вимірювань. Компоненти часу на обслуговування робочого місця та особисті потреби розраховуються у регламентованому відсотковому відношенні від оперативних часових витрат згідно з чинними галузевими нормативами для серійного машинобудування. Специфіка визначення елементів штучно-калькуляційного часу безпосередньо підпорядковується конструктивно-кінематичним особливостям та рівню автоматизації обраного технологічного обладнання. При нормуванні токарних та фрезерних операцій, що виконуються на обладнанні з числовим програмним керуванням, структура допоміжного часу зазнає суттєвого зменшення завдяки автоматизації циклів

зміни інструменту, прискоренню позиціонування виконавчих органів та активному контролю траєкторій. Основний технологічний час для цих операцій розраховується безпосередньо на базі раніше визначених оптимальних режимів різання: швидкості обертання шпинделя, робочої подачі, глибини та кількості проходів інструменту. Для верифікації та точного моделювання часових параметрів у сучасній інженерній практиці застосовуються інструменти автоматизованої підготовки виробництва – САМ-системи рівня Siemens NX або Fusion 360, які дозволяють симулювати просторові траєкторії руху інструменту з урахуванням кінематичних характеристик конкретного верстата. Водночас, на фінішній круглошліфувальній операції алгоритм розрахунку часу обов'язково враховує кількість проходів абразивного інструменту, тривалість виходжування для досягнення заданої шорсткості поверхонь консольного валу, а також витрати часу на періодичну правку шліфувального круга.

Штучно-калькуляційний час на операцію визначається по формулам (1.28), (1.29) [8,9]:

$$t_{um-к.} = \frac{t_{nz}}{n} + t_{um.} \quad (1.28)$$

$$t_{um.} = t_o + t_{всп} + t_{обс} + t_n$$

де $t_{um.}$ - штучний час, хв;

t_{nz} – підготовчо-завершальний час, хв;

n – кількість деталей в партії, $n=60$ шт;

t_o – сумарний час на операцію, хв;

$t_{всп}$ – допоміжний час, хв;

$t_{обс}$ – час обслуговування робочого місця, хв;

t_n – час на особисті потреби, хв.

Технічне нормування на токарну операцію (025)

Основний сумарний час на операцію $t_o = 5,06$ хв

Допоміжний час визначаємо за формулою (1.30) [8,9]:

$$t_{всп.} = t_{в.у.} + t_{м.в.} \quad (1.30)$$

$t_{в.у.} = 1,08$ хв – час на установку і зняття деталі в патроні з ручним затиском [8,9];

$t_{м.в.} = 1,03$ хв - час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [8,9]:

$$t_{всп.} = 1,08 + 1,03 = 2,11 \text{ хв}$$

Час роботи верстата дорівнює неповному оперативному часу роботи верстата, визначаємо його за формулою (1.31) [8,9]:

$$t_{н.у.} = t_{о.} + t_{м.в.} \quad (1.31)$$

$$t_{н.у.} = 5,06 + 2,11 = 7,17 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця за формулою (1.32) [8,9]:

$$t_{обс} = 10\% \cdot t_{н.у.} \quad (1.32)$$

$$t_{обс} = 0,1 \cdot 7,17 = 0,72 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби за формулою (1.33) [8,9]:

$$t_n = 10\% \cdot t_{н.у.} \quad (1.33)$$

$$t_n = 0,1 \cdot 7,17 = 0,72 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію за формулою (1.29) [8,9]:

$$t_{ум.} = 7,17 + 0,72 + 0,72 = 8,81 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію [8,9] за формулою (1.34) [8,9]:

$$T_{n-3} = T_{n-31} + T_{n-32} \quad (1.34)$$

де $T_{n-31} = 7,4$ хв – час на витрати по обслуговуванню верстата [8,9]

$T_{n-32} = 10$ хв – час на витрати, що враховують додаткові роботи [8,9]

$$T_{n-3} = 7,4 + 10 = 17,4 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час на операцію за формулою (1.28), хв:

$$t_{шт.-к.} = \frac{17,4}{60} + 8,81 = 9,1 \text{ хв}$$

Технічне нормування на круглошлифовальну операцію (30).

Основний сумарний час на операцію $t_o = 3,45$ хв.

Допоміжний час за формулою (1.32) [8,9]:

$t_{уст} = t_{сн} = 0,21$ хв – установка на розтискну оправку [8,9]

$t_{пер} = 1,09$ хв – час, пов'язаний з переходами при шліфуванні зовнішніх циліндричних і торцевих поверхонь на круглошлифовальних верстатах [8,9]

$t_{мех}$ – час технічного обслуговування робочого місця $t_{мех} = 0,5$ хв

$$t_{всн} = 0,21 + 1,09 + 0,5 = 1,8 \text{ хв}$$

Визначаємо оперативний час за формулою (1.37) [8,9]:

$$t_{он.} = t_o. + t_{всн.} \quad (1.37)$$

$$t_{он.} = 3,45 + 1,8 = 5,25 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця за формулою (1.38) [8,9]:

$$t_{обс} = 0,015 \cdot t_{он}. \quad (1.38)$$

$$t_{обс} = 0,015 \cdot 5,25 = 0,078 \text{ хв}$$

Час на відпочинок і природні потреби за формулою (1.39) [8,9]:

$$t_{омд} = 0,04 \cdot t_{он}. \quad (1.39)$$

$$t_{омд} = 0,04 \cdot 5,25 = 0,21 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію за формулою (1.31) [8,9]:

$$t_{шт.} = 5,25 + 0,078 + 0,21 = 5,54 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію [8,9]: $t_{пз} = 40,8 \text{ хв.}$

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв за формулою (1.30) [8,9]:

$$t_{шт.-к.} = \frac{40,8}{60} + 5,54 = 6,22 \text{ хв}$$

Технічне нормування на фрезерну з ЧПК операцію (35).

Основний сумарний час на операцію 10,04 хв.

Допоміжний час за формулою (1.32):

$t_{"0"} = 1,25 \text{ хв}$ - переміщення інструменту в «0» інструменту [8,9];

$t_{с.б.} = 1,17 \text{ хв}$ - час пов'язаний зі зміною блоку [8,9];

$t_{в.у.} = 1,15 \text{ хв}$ - час на установку і зняття деталі в патроні з пневматичним затиском [8,9];

$t_{м.в.} = 0,55 \text{ хв}$ - час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [8,9]

$$t_{ecn} = 1,25 + 1,17 + 1,15 + 0,55 = 4,12 \text{ хв}$$

Час роботи верстата за програмою управління $t_{п.у}$ дорівнює неповному оперативному часу роботи верстата за формулою (1.33) [8,9]:

$$t_{n.y.} = t_o. + t_{м.в.} = 10,04 + 4,12 = 14,16 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця за формулою (1.34) [8,9]:

$$t_{обс} = 0,08 \cdot 14,16 = 1,13 \text{ хв}$$

Час на відпочинок і природні потреби за формулою (1.35) [8,9]:

$$t_n = 0,08 \cdot 14,16 = 1,13 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію за формулою (1.31) [8,9]:

$$t_{um.} = 14,16 + 1,13 + 1,13 = 16,42 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію за формулою (1.36). $T_{п-з1} = 22$ хв - час на витрати для усіх верстатів з ЧПУ [8,9]; $T_{п-з2} = 24,8$ хв - час на витрати додаткові роботи, що враховують, [8,9]:

$$T_{п-з} = 22 + 24,8 = 46,8 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час на операцію за формулою (1.30), хв

$$t_{шт.-к.} = \frac{46,8}{60} + 16,42 = 17,2 \text{ хв}$$

Данні всіх розрахунків заносимо до таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Технічне нормування операцій

Операція	Назва операції	T _о , хв	T _{доп} , хв	T _{оп} , хв	T _{дод} , хв	T _{шт} , хв	T _{пз}	T _{шк} , хв
015	Фрезерно-центрувальна	1,4	0,84	2,24	0,2	2,44	25	2,65
020	Токарна з ЧПК	2,94	1,76	4,7	0,42	5,1	45	5,48
025	Токарна з ЧПК	5,06	2,11	7,17	1,44	8,81	17,4	9,1
030	Кругло-шліфувальна	3,45	1,8	5,25	0,29	5,54	40,8	6,22
035	Фрезерна з ЧПК	10,04	4,12	14,16	2,26	16,41	46,8	17,2
040	Фрезерна з ЧПК	8,02	0,58	9,2	0,457	5,98	11	6,82

У результаті виконання аналітичних розрахунків технічного нормування було сформовано масив нормативних часових показників для всього технологічного маршруту виготовлення консольного валу. Обчислені значення штучно-калькуляційного часу для кожної операції, зведені у підсумкові нормативні таблиці, підтверджують зниження сумарної трудомісткості процесу за рахунок мінімізації допоміжних часових витрат на обладнанні з числовим програмним керуванням.

1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

У сучасному машинобудівному виробництві забезпечення стабільної якості та високої продуктивності механічної обробки неможливе без застосування систем автоматизованої підготовки виробництва (САМ-систем). Розробка керуючої програми (КП) для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) є одним із найбільш відповідальних етапів технологічного проєктування. Від точності згенерованої траєкторії залежить не лише відповідність готової деталі вимогам креслення, але й безаварійна робота дороговартісного обладнання. У даному підрозділі розглядається процес автоматизованого створення керуючої програми для фрезерної операції (обробка шпонкових пазів консольного валу) із використанням інтегрованого програмного комплексу Siemens NX CAM. Вибір цього середовища обґрунтований його широкими можливостями щодо оптимізації траєкторій, повною асоціативністю з 3D-моделлю та наявністю потужних інструментів просторової верифікації процесу різання.

Процес розробки керуючої програми у середовищі Siemens NX складається з чітко структурованої послідовності технологічних кроків. На початковому етапі створюється файл технологічної збірки, в якому визначається геометрія готової деталі (Part) та геометрія заготовки (Blank). Відбувається виділення конструктивних елементів консольного валу, які підлягають механічній обробці на даній операції. 3D-модель операційного ескізу з визначеними зонами фрезерування (шпонковими пазами) наведено на рисунку 1.9

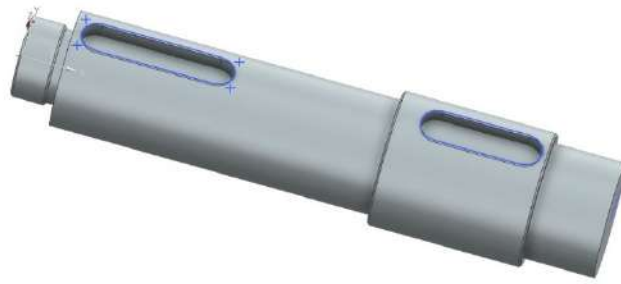


Рисунок 1.9 – 3D-модель операційного ескізу

Після ідентифікації оброблюваних поверхонь виконується налаштування технологічного середовища. Створюється нульова точка деталі (MCS – Machine Coordinate System) та визначається площина відведення інструменту для безпечних прискорених переміщень. Наступним кроком є формування віртуального різального інструменту (кінцевої або шпонкової фрези), геометричні параметри якого (діаметр, довжина різальної частини, кількість зубів) суворо відповідають раніше обраному інструменту. Орієнтація осі інструменту відносно локальної системи координат деталі та напрямок його підведення до оброблюваної поверхні показані на рисунку 1.10.

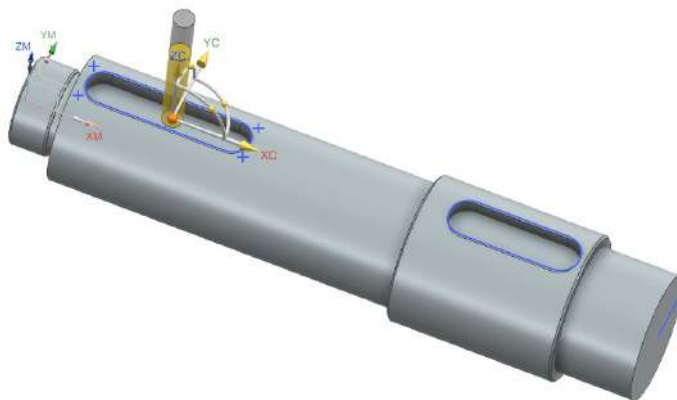


Рисунок 1.10 – Орієнтація осі інструменту відносно локальної системи координат деталі

Центральним етапом проєктування є призначення стратегії обробки (наприклад, Cavity Mill або Planar Milling) та генерація траєкторії руху інструменту з урахуванням розрахованих раніше режимів різання (швидкості обертання шпинделя та хвилинної подачі). Після генерації обов'язково проводиться просторова 3D-симуляція та верифікація процесу зняття припуску. Візуалізація дозволяє оцінити коректність робочих подач (суцільні лінії) та безпеку прискорених переміщень інструменту (штрихові лінії), а також гарантує відсутність колізій між фрезою, деталлю та елементами кріплення. Візуалізацію розрахованої траєкторії обробки пазів наведено на рисунку 1.11.

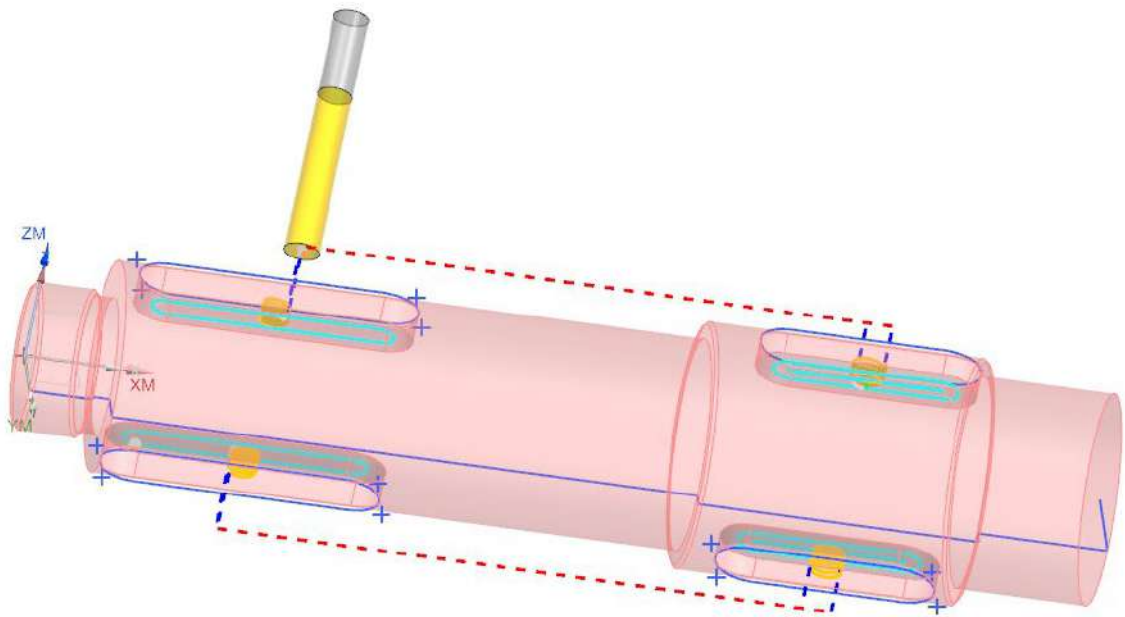


Рисунок 1.11 - Візуалізація розрахованої траєкторії обробки

Завершальною стадією розробки є постпроцесування – автоматичне перетворення внутрішніх даних системи (CL-data) у стандартизований G-код, адаптований під систему керування конкретного фрезерного верстата з ЧПК. Фрагмент згенерованої керуючої програми, що містить координати переміщень та технологічні команди (M-коди, G-коди), подано на рисунку 1.12.

<pre> M06 OFF REAL CANTOLERANCE M07 DEF REAL X_HOME, Y_HOME, Z_HOME, A_HOME M08 DEF REAL J_COILING, J_EDGE, J_RETACT M09 I M10 G00 G17 G18 G19 G20 G90 G60 G001 F1000 M11 ;start of Path M12 I M13 ;TECHNOLOGY: METHOD M14 ;TOOL NAME : HILL M15 ;TOOL TYPE : Milling Tool-5 Parameters M16 ;TOOL DIAMETER : 10.000000 M17 ;TOOL LENGTH : 75.000000 M18 ;TOOL CORNER RADIUS: 0.000000 M19 I M20 ;Total : 0.030000 M21 ;outtol : 0.030000 M22 ;stock : 0.000000 M23 ;cantolerance=0.000000 M24 ;X_HOME=0.0 Y_HOME=0.0 Z_HOME=0.0 M25 ;C_HOME=0.0 A_HOME=0 M26 I M27 I M28 ;operation : POCKETING M29 I M30 TRAPOFF M310 SUPA G0 Z=-Z_HOME DO M320 SUPA G0 X=X_HOME Y=Y_HOME C=C_HOME A=A_HOME DO M330 ;F1000 TOOL M340 T="HILL" M350 F6 M360 HSC("METHOD") M370 TRAPOFF M380 SUPA G0 Z=-Z_HOME DO M390 SUPA G0 X=X_HOME Y=Y_HOME C=C_HOME A=A_HOME DO M400 I M410 ;initial flow M420 CYCLEEND(cantolerance,0,1) M430 TRAORI M440 G54 M450 I M460 ORIKES M470 ORIKES M480 G0 C0.0 AB.0 M490 G0 X70.44272 Y1.73554 Z45.51061 DO P1 M500 ;approach flow M510 Z27. M520 ;edge flow M530 G1 X60.8813 Y2.82592 Z26.92041 H8 P130. M540 X68.40638 Y3.53460 Z26.85082 M550 X67.17777 Y3.82592 Z26.70074 M560 X65.1082 Y3.80476 Z26.73705 M570 X64.10587 Y3.82513 Z26.64700 M580 X63.11215 Y3.8054 Z26.57667 M590 X61.17727 Y3.81151 Z26.50585 M600 X60.89438 Y3.53464 Z26.43529 M610 X61.47215 Y3.1.83126 Z26.36471 M620 X64.26556 Y3.2.92343 Z26.29412 M630 X65.20361 Y3.3.68217 Z26.22353 M640 X66.20525 Y4.0.87180 Z26.15294 M650 X68.83649 Y3.3.09093 Z26.88235 M660 X68.25887 Y3.5.13629 Z26.81176 M670 X70.14423 Y2.2.94435 Z26.93115 M680 X70.70000 Y1.1.54026 Z26.87059 M690 X70.51846 Y1.5.84151 Z25.8 </pre>	<pre> M590 X67.17787 Y3.81151 Z26.50588 M600 X67.00430 Y3.53464 Z26.43529 M610 X67.47215 Y3.1.83126 Z26.36471 M620 X64.26556 Y3.2.92343 Z26.29412 M630 X65.20361 Y3.3.68217 Z26.22353 M640 X66.20525 Y4.0.87180 Z26.15294 M650 X68.83649 Y3.3.09093 Z26.88235 M660 X68.25887 Y3.5.13629 Z26.81176 M670 X70.14423 Y2.2.94435 Z26.93115 M680 X70.70000 Y1.1.54026 Z26.87059 M690 X70.51846 Y1.5.84151 Z25.8 M700 X70.50416 Y1.51204 Z25.72841 M710 X65.82651 Y2.43007 Z25.50802 M720 X66.72229 Y2.42620 Z25.50624 M730 X67.43907 Y3.80543 Z25.51765 M740 X66.80104 Y3.72337 Z25.64700 M750 X64.85038 Y3.18091 Z25.37647 M760 X63.00139 Y2.26774 Z25.30580 M770 X62.24724 Y3.00000 Z25.23529 M780 X62.07489 Y1.27551 Z25.16471 M790 X63.16459 Y1.50023 Z25.09412 M800 X64.00444 Y2.75493 Z25.02353 M810 X63.14053 Y3.5.50046 Z24.95294 M820 X65.43148 Y3.3.09093 Z24.88235 M830 X67.7015 Y3.5.51577 Z24.81176 M840 X65.87026 Y3.4.59847 Z24.74118 M850 X70.05524 Y2.5.57003 Z24.67059 M860 X70.71232 Y1.3.39057 Z24.6 M870 X70.23004 Y1.8077 Z24.52941 M880 X70.68160 Y1.27007 Z24.45882 M890 X70.00234 Y2.43631 Z24.38824 M900 X68.76408 Y3.30276 Z24.31765 M910 X67.05842 Y3.76749 Z24.24700 M920 X68.54791 Y3.77548 Z24.17647 M930 X65.87445 Y3.3254 Z24.10588 M940 X64.8014 Y3.47150 Z24.03529 M950 X63.33132 Y3.31304 Z24.96471 M960 X63.07127 Y1.81123 Z24.89412 M970 X63.27221 Y1.3.54057 Z24.82353 M980 X65.91529 Y2.5.54741 Z24.75294 M990 X64.92108 Y3.1.43533 Z24.68235 M1000 X66.17354 Y3.3.34206 Z24.61176 M1010 X67.52458 Y3.3.09093 Z24.54118 M1020 X68.51078 Y3.3.8811 Z24.47059 M1030 X69.00475 Y3.2.70923 Z24.4 M1040 X70.61004 Y2.1.55511 Z24.32941 M1050 X70.54912 Y1.33744 Z24.25882 M1060 X70.76682 Y1.82159 Z24.18824 M1070 X70.16472 Y2.35468 Z24.11765 M1080 X69.18802 Y3.1.64115 Z24.04700 M1090 X67.51466 Y3.71235 Z24.92647 M1100 X66.00760 Y3.81014 Z24.85588 M1110 X65.38700 Y3.4.66551 Z24.81529 M1120 X64.20643 Y2.66304 Z24.76471 M1130 X63.4157 Y3.55407 Z24.69412 M1140 X63.80591 Y3.25047 Z24.62353 M1150 X63.11941 Y1.1.00537 Z24.55294 M1160 X63.79908 Y3.2.21046 Z24.48235 M1170 X64.76396 Y3.2.30935 Z24.41176 M1180 X65.91920 Y3.1.67041 Z24.34118 M1190 X67.20221 Y4.0.62718 Z24.27059 M1200 X68.57425 Y3.3.70104 Z24.2 M1210 X70.70000 Y2.2.95556 Z24.12941 M1220 X70.50707 Y1.87387 Z24.05882 </pre>	<pre> M1190 X67.26223 Y4.0.81126 Z24.27059 M1200 X68.87428 Y4.7.70000 Z24.1 M1210 X69.70000 Y2.2.95556 Z24.12941 M1220 X70.50707 Y1.87387 Z24.05882 M1230 X70.00075 Y1.5.00001 Z24.00004 M1240 X70.61301 Y1.70003 Z24.91765 M1250 X70.11801 Y2.81476 Z24.84700 M1260 X68.68101 Y3.811 Z24.77667 M1270 X68.20660 Y3.64064 Z24.70600 M1280 X66.80522 Y3.82701 Z24.63529 M1290 X65.16725 Y3.55152 Z24.56471 M1300 X64.39087 Y2.84402 Z24.49412 M1310 X62.55294 Y2.70004 Z24.42353 M1320 X63.11790 Y1.51061 Z24.35294 M1330 X63.14052 Y1.83973 Z24.28235 M1340 X63.01005 Y2.1.80772 Z24.21176 M1350 X64.4095 Y3.1.2202 Z24.14118 M1360 X65.86845 Y3.7.70000 Z24.07059 M1370 X67.00027 Y4.1.23. M1380 ;cutting M1390 X67.00125 M1400 X68.2014 Y3.1.84355 M1410 X100.1187 Y3.3.2550 M1420 X101.2502 Y2.3.2550 M1430 X101.7521 Y1.3.3517 M1440 X102.0204 Y1.12740 M1450 X101.0907 Y1.00125 M1460 X101.7500 Y1.0510 M1470 X101.24704 Y2.30195 M1480 X100.51010 Y2.20579 M1490 X99.2253 Y3.83054 M1500 X97.0007 Y4. M1510 X96.01077 M1520 X95.4133 Y3.90001 M1530 X94.8173 Y3.85100 M1540 X94.22025 Y3.80000 M1550 X93.6236 Y3.75100 M1560 X93.0268 Y2.70471 M1570 X92.4300 Y1.77479 M1580 X91.83204 Y3.80544 M1590 X91.23448 Y1.49142 M1600 X90.63633 Y1.84153 M1610 X90.03877 Y2.84704 M1620 X89.43991 Y3.80544 M1630 X88.8415 Y3.75000 M1640 X88.2431 Y3.65300 M1650 X87.6447 Y3.55600 M1660 X87.0463 Y3.45900 M1670 X86.4479 Y3.36200 M1680 X85.8495 Y3.26500 M1690 X85.2511 Y3.16800 M1700 X84.6527 Y3.07100 M1710 X84.0543 Y2.97400 M1720 X83.4559 Y2.87700 M1730 X82.8575 Y2.78000 M1740 X82.2591 Y2.68300 M1750 X81.6607 Y2.58600 M1760 X81.0623 Y2.48900 M1770 X80.4639 Y2.39200 M1780 X79.8655 Y2.29500 M1790 X79.2671 Y2.19800 M1800 X78.6687 Y2.10100 M1810 X78.0703 Y2.00400 M1820 X77.4719 Y1.90700 M1830 X76.8735 Y1.81000 M1840 X76.2751 Y1.71300 M1850 X75.6767 Y1.61600 M1860 X75.0783 Y1.51900 M1870 X74.4799 Y1.42200 M1880 X73.8815 Y1.32500 M1890 X73.2831 Y1.23000 M1900 X72.6847 Y1.13500 M1910 X72.0863 Y1.04000 M1920 X71.4879 Y0.94500 M1930 X70.8895 Y0.85000 M1940 X70.2911 Y0.75500 M1950 X69.6927 Y0.66000 M1960 X69.0943 Y0.56500 M1970 X68.4959 Y0.47000 M1980 X67.8975 Y0.37500 M1990 X67.2991 Y0.28000 M2000 X66.7007 Y0.18500 M2010 X66.1023 Y0.09000 M2020 X65.5039 Y0.00000 M2030 X64.9055 Y0.00000 M2040 X64.3071 Y0.00000 M2050 X63.7087 Y0.00000 M2060 X63.1103 Y0.00000 M2070 X62.5119 Y0.00000 M2080 X61.9135 Y0.00000 M2090 X61.3151 Y0.00000 M2100 X60.7167 Y0.00000 M2110 X60.1183 Y0.00000 M2120 X59.5199 Y0.00000 M2130 X58.9215 Y0.00000 M2140 X58.3231 Y0.00000 M2150 X57.7247 Y0.00000 M2160 X57.1263 Y0.00000 M2170 X56.5279 Y0.00000 M2180 X55.9295 Y0.00000 M2190 X55.3311 Y0.00000 M2200 X54.7327 Y0.00000 M2210 X54.1343 Y0.00000 M2220 X53.5359 Y0.00000 M2230 X52.9375 Y0.00000 M2240 X52.3391 Y0.00000 M2250 X51.7407 Y0.00000 M2260 X51.1423 Y0.00000 M2270 X50.5439 Y0.00000 M2280 X49.9455 Y0.00000 M2290 X49.3471 Y0.00000 M2300 X48.7487 Y0.00000 M2310 X48.1503 Y0.00000 M2320 X47.5519 Y0.00000 M2330 X46.9535 Y0.00000 M2340 X46.3551 Y0.00000 M2350 X45.7567 Y0.00000 M2360 X45.1583 Y0.00000 M2370 X44.5599 Y0.00000 M2380 X43.9615 Y0.00000 M2390 X43.3631 Y0.00000 M2400 X42.7647 Y0.00000 </pre>	<pre> M1510 X331.50000 Y2.5 M1520 Z10.5 M1530 ;operation flow M1540 G0 Z45. M1550 ;end of Path M1560 TRAPOFF M1570 SUPA G0 Z=-Z_HOME DO M1580 SUPA G0 X=X_HOME Y=Y_HOME C=C_HOME A=A_HOME DO M1590 CYCLEEND(1) M1600 I M1610 ;start of Path M1620 I M1630 ;TECHNOLOGY: METHOD M1640 ;TOOL NAME : HILL M1650 ;TOOL TYPE : Milling Tool-5 Parameters M1660 ;TOOL DIAMETER : 10.000000 M1670 ;TOOL LENGTH : 75.000000 M1680 ;TOOL CORNER RADIUS: 0.000000 M1690 I M1700 ;Total : 0.030000 M1710 ;outtol : 0.030000 M1720 ;stock : 0.000000 M1730 ;cantolerance=0.000000 M1740 ;X_HOME=0.0 Y_HOME=0.0 Z_HOME=0.0 M1750 ;C_HOME=0.0 A_HOME=0 M1760 I M1770 I M1780 ;operation : POCKETING M1790 I M1800 TRAPOFF M1810 SUPA G0 Z=-Z_HOME DO M1820 SUPA G0 X=X_HOME Y=Y_HOME C=C_HOME A=A_HOME DO M1830 ;F1000 TOOL M1840 T="HILL" M1850 F6 M1860 HSC("METHOD") M1870 TRAPOFF M1880 SUPA G0 Z=-Z_HOME DO M1890 SUPA G0 X=X_HOME Y=Y_HOME C=C_HOME A=A_HOME DO M1900 I M1910 ;initial flow M1920 CYCLEEND(cantolerance,0,1) M1930 TRAORI M1940 G54 M1950 I M1960 ORIKES M1970 ORIKES M1980 G0 C0.0 AB.0 M1990 G0 X70.44272 Y1.73554 Z45.51061 DO P1 M2000 ;approach flow M2010 Z27. M2020 ;edge flow M2030 G1 X60.8813 Y2.82592 Z26.92041 H8 P130. M2040 X68.40638 Y3.53460 Z26.85082 M2050 X67.17777 Y3.82592 Z26.70074 M2060 X65.1082 Y3.80476 Z26.73705 M2070 X64.10587 Y3.82513 Z26.64700 M2080 X63.11215 Y3.8054 Z26.57667 M2090 X61.17727 Y3.81151 Z26.50585 M2100 X60.89438 Y3.53464 Z26.43529 M2110 X61.47215 Y3.1.83126 Z26.36471 M2120 X64.26556 Y3.2.92343 Z26.29412 M2130 X65.20361 Y3.3.68217 Z26.22353 M2140 X66.20525 Y4.0.87180 Z26.15294 M2150 X68.83649 Y3.3.09093 Z26.88235 M2160 X68.25887 Y3.5.13629 Z26.81176 M2170 X70.14423 Y2.2.94435 Z26.93115 M2180 X70.70000 Y1.1.54026 Z26.87059 M2190 X70.51846 Y1.5.84151 Z25.8 </pre>
---	---	---	---

Рисунок 1.12 – Фрагмент згенерованої керуючої програми

У результаті виконання аналізу даного підрозділу за допомогою програмного комплексу Siemens NX CAM було успішно спроектовано керуючу програму для фрезерування шпонкових пазів консольного валу. Використання інструментів віртуальної 3D-симуляції дозволило оптимізувати траєкторію руху різального інструменту, мінімізувати час "холостих" переміщень та повністю виключити ймовірність технологічних колізій. Згенерований через постпроцесор файл керуючої програми у форматі G-кодів підтверджує правильність прийнятих технологічних рішень і є повністю готовим до завантаження у стійку ЧПК та безпосереднього впровадження у виробничий процес.

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Пристосування (рисунок 2.1) розроблено на операцію 040 для фрезерування лиски на деталі консольний вал. При проектуванні врахована можливість переналагодження на інші деталі і на інші операції.

Деталь встановлюється на призму по зовнішній циліндричній поверхні і впирається правим торцем в упор. Упор закріплений на торці призми. Лівий кінець валу встановлюється в рухому призму. За допомогою гвинта і гайки призма підводиться до поверхні деталі, для забезпечення повного контакту валу з площинами призми. Зверху на корпусі встановлюється прихват. У нижній частині пристосування знаходиться пневмоциліндр, для зменшення зносу поршень переміщається у втулці. Порожнина пневмоциліндра закрита кришкою. Прихват переміщається по тязі і стійці. Пристосування кріпиться до столу верстата верстатними болтами за чотирма пазами, для орієнтації пристосування на столі верстата є знизу плити і шпонки.

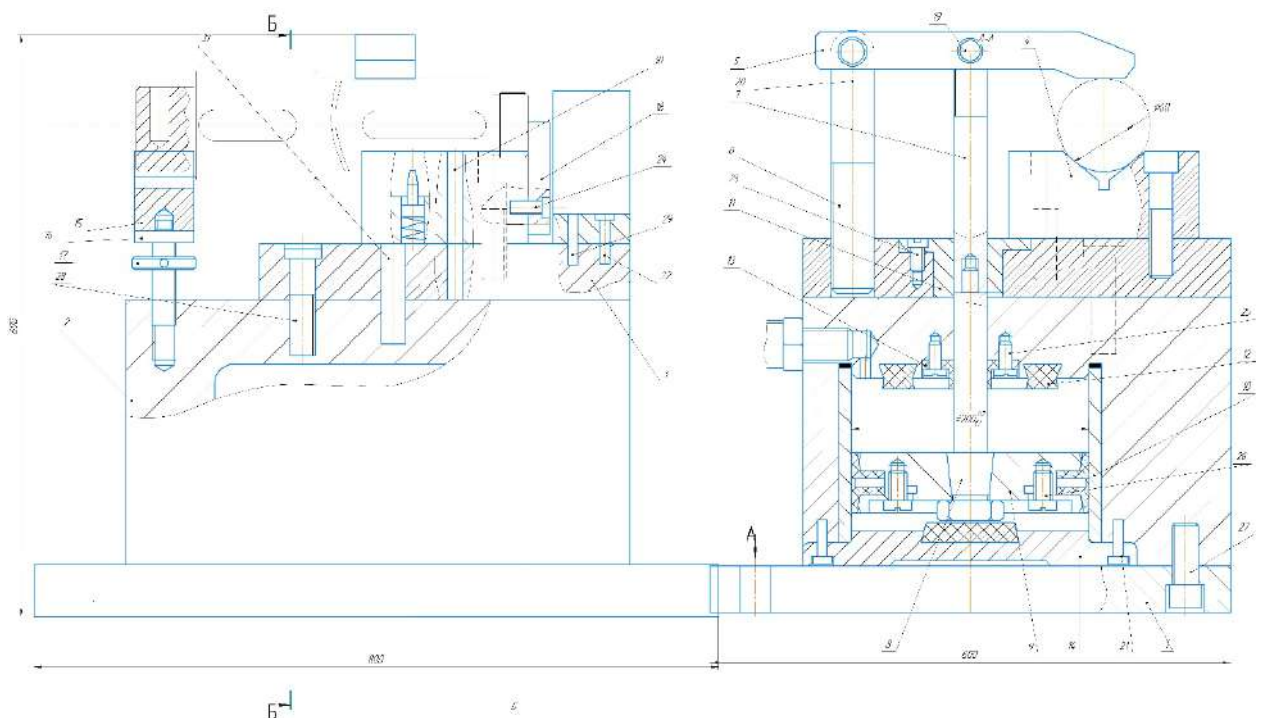


Рисунок 2.1 – Пристрій для фрезерування лисок

Деталь базується зовнішньою циліндричною поверхнею по призмі, при цьому під лівий кінець валу підводиться рухома призма за допомогою гвинта і гайки для забезпечення повного контакту в призмі. Торцем деталь впирається в упор. Після цього подається стиснене повітря в верхню порожнину пневмоциліндра. Шток під тиском стисненого повітря переміщається вниз і тягне тягу. Тяга, переміщаючись вниз, тягне прихват. Прихват переміщається за допомогою стійки і тяги і притискає деталь до призми, забезпечуючи її надійне закріплення. Потім проводиться операція фрезерування. Після чого стиснене повітря по каналах подається в нижню порожнину пневмоциліндра. Під тиском стисненого повітря шток переміщається вгору і штовхає тягу. Тяга, переміщаючись вгору, штовхає прихват. Прихват переміщаючись зі стійкою і тягою, в втулках, закріплених в корпусі, відкріплює деталь звільняючи її від дії сил затиску. Після чого деталь знімається з пристосування.

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність

В умовах багатосерійного виробництва обробка заготовок проводиться на верстатах, налагоджених на розмір обробки. У цьому випадку з'являється поняття настроювальної бази, від якої проводиться настройка металорізального інструменту. Відхилення настроювальної і вимірювальної баз в процесі установки заготовки в пристосування буде однією зі складових загальної похибки обробки.

Похибка базування є різницею граничних відстаней вимірювальної бази щодо встановленого на розмір інструменту. Як похибка положення, похибка базування впливає на точність виконання розмірів, на точність взаємного положення поверхонь і не впливає на точність їх форм.

Похибка установки заготовки в пристосуванні визначається за формулою (1.2) [10, 11]:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta} + \varepsilon_z} \quad (2.1)$$

де ε_y - різниця граничних відхилень вимірювальної бази щодо встановленого на розмір ріжучого інструменту, що виникає в процесі базування і закріплення заготовки;

ε_{δ} - частина похибки установки, що виникає внаслідок неспівпадання вимірювальної і настроювальної баз;

ε_z - частина похибки установки, що виникає внаслідок відхилення вимірювальної бази щодо встановленого на розмір ріжучого інструменту під дією прикладених сил закріплення. $\varepsilon_z = 0,09$ мм [10, 11]

У пристосуванні для фрезерної операції заготовка встановлюється на призму по циліндричних поверхнях (рисунок 2.2).

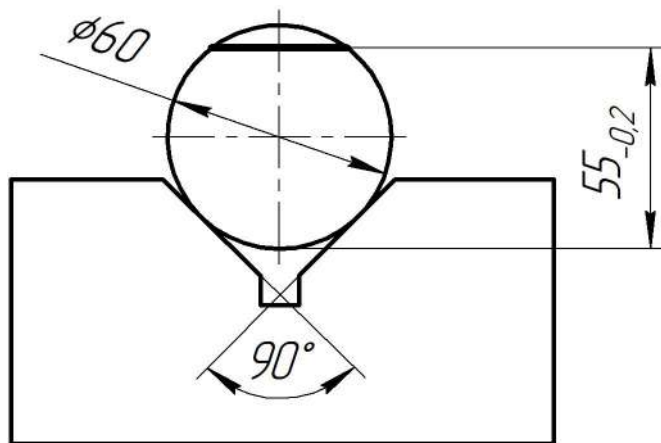


Рисунок 2.2 – Схема встановлення для фрезерної операції

Похибку базування визначаємо за формулою (2.2) [10, 11]:

$$\varepsilon_{\delta} = \kappa_2 \cdot Td + \frac{T_D}{2} \quad (2.2)$$

де $\kappa_2=0,7$ – коефіцієнт який враховує кут призми;

T_d – допуск на діаметр, мм.

$$\varepsilon_{\phi} = 0,7 \cdot 0,2 + \frac{0,2}{2} = 0,24 \text{ мм.}$$

Виконаємо розрахунок щодо відповідності нашого пристосування допуску на обробку. Для забезпечення заданої точності обробки необхідно дотримуватися умови за формулою (2.3) [10, 11]:

$$\sum E_i \leq T_{\text{обр}} \quad (2.3)$$

де $T_{\text{обр}}$ – допуск на розмір обробки, мм.

Розраховуємо допуск на виготовлення установу за формулою (2.4) [10, 11]:

$$T_{np} \leq T_{обр} - (\kappa_1 \cdot E_{\phi} + E_z + \kappa_2 \cdot w) \quad (2.4)$$

де $\kappa_1 = 0,8 \dots 0,85$ параметр, що враховує відхилення позиціонування значень від знаку нормального розподілення внаслідок того, що дійсний розмір поверхонь установок рідко дорівнює крайньому;

E_{ϕ} – похибка базування при виконанні операції, мкм;

E_z – похибка закріплення, котра виникає в результаті впливу прикладених зусиль затиску, мкм;

$\kappa_2 = 0,6 \dots 0,65$ – параметр зменшення величини w , який враховує долю похибки обробки, визвану факторами, котрі не залежать від пристосування;

w – середня економічна точність обробки на цю операцію [10, 11];

T_{np} – допуск на виготовлення пристосування.

$$T_H \leq 200 - (0,8 \cdot 24 + 40 + 0,6 \cdot 15)$$

$$T_H \leq 43,4$$

Визначаємо величину $\pm \frac{T_H}{2}$, округливши значення до найближчого нормалізованого. Виходячи з виконаних розрахунків для забезпечення заданої точності обробки допуск на точність виготовлення пристосування повинен бути $\frac{T_H}{2} = \pm 0,021$ мм.

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу

У процесі обробки заготовки виникають сили і моменти різання, які можуть порушити її положення, досягнуте при базуванні, порушити точність обробки і привести до підвищеного зносу інструменту. В процесі затиску не повинно порушуватися положення деталі; сили затиску мають бути достатніми, щоб виключити можливість зміщення і вібрацій деталі в процесі обробки; силовий механізм має бути швидкодіючим і легко керованим.

Величина потрібної сили визначається рішенням завдання статики на рівновагу твердого тіла під дією всіх прикладених до нього сил і їх моментів (рис. 2.3).

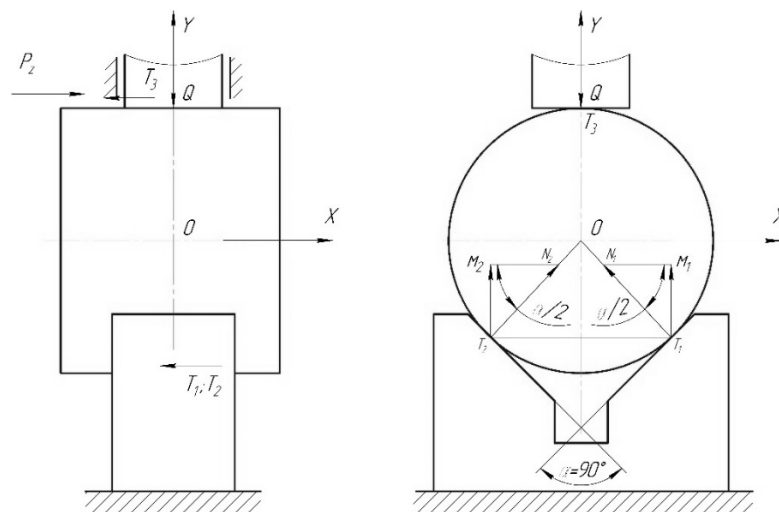


Рисунок 2.3 – Схема для визначення сил затиску

Необхідна статична сила затиску $Q_{ст}$ визначається, виходячи з принципу статистичної рівноваги за формулою (2.5) [10, 11]:

$$T_{1-2} = \frac{Q_{cm} \cdot f_1}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \quad (2.5)$$

де $f_1=0,16$ – коефіцієнт тертя.

Складаюча сили тертя T_3 визначається за формулою (2.6) [10, 11]:

$$T_3 = Q_{cm} \cdot f_2 \quad (2.6)$$

де $f_2=0,16$ – коефіцієнт тертя в контактi деталь-зажим.

Враховуючи умови статичної статичну силу затиску $Q_{ст}$ визначаємо за формулою (2.7) [10, 11]:

$$Q_{cm} = \frac{P_z}{\frac{f_1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + f_2} \quad (2.7)$$

Дійсна сила затиску Q з урахуванням коефіцієнта запасу визначаємо за формулою (2.8) [10, 11]:

$$Q = k \cdot Q_{cm} = k \cdot \frac{P_z}{\frac{f_1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + f_2} \quad (2.8)$$

Коефіцієнт запасу визначаємо за формулою (2.9) [10, 11]:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \quad (2.9)$$

де $k_0 = 1,5$ - гарантований коефіцієнт запасу [10, 11];

$k_1 = 1,2$ - враховує зміну сил різання в процесі обробки через нерівномірність припуску на заготовці [10, 11];

$k_2 = 1,2$ - залежить від виду обробки оброблюваного матеріалу і нерівномірного зносу ріжучого інструменту [10, 11];

$k_3 = 1,2$ - враховує умови переривчастого виду обробки [10, 11];

$k_4 = 1,0$ - характеризує затискний пристрій з точки зору сталості сил затиску [10, 11];

$k_5 = 1,2$ - характеризує затискачі з точки зору зручності закріплення деталі [10, 11].

$$k = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 3,1$$

$$Q = 3,1 \cdot \frac{1469}{\frac{0,16}{\sin \frac{90}{2}} + 0,16} = 11983 \text{ Н.}$$

Затискний механізм пристосування служить для надійного утримання заготовки в процесі її обробки.

Сила на штоку пневмопривода визначається за формулою (2.10) [10, 11]:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \cdot \eta \quad (2.10)$$

де D – діаметр пневмоциліндру;

$p=0,5$ МПа – тиск стисненого повітря;

$\eta=0,85$ – ККД, який враховує втрати на тертя.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11983}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,85}} = 189 \text{ мм.}$$

Приймаємо по [10, табл.7.3, с.139] $D=200$ мм. За міжнародною класифікацією приймаємо пневмоциліндр 61M2P200A0050 (Camozzi, ISO 15552).

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Конструкція пристосування показана на рисунку 2.4.

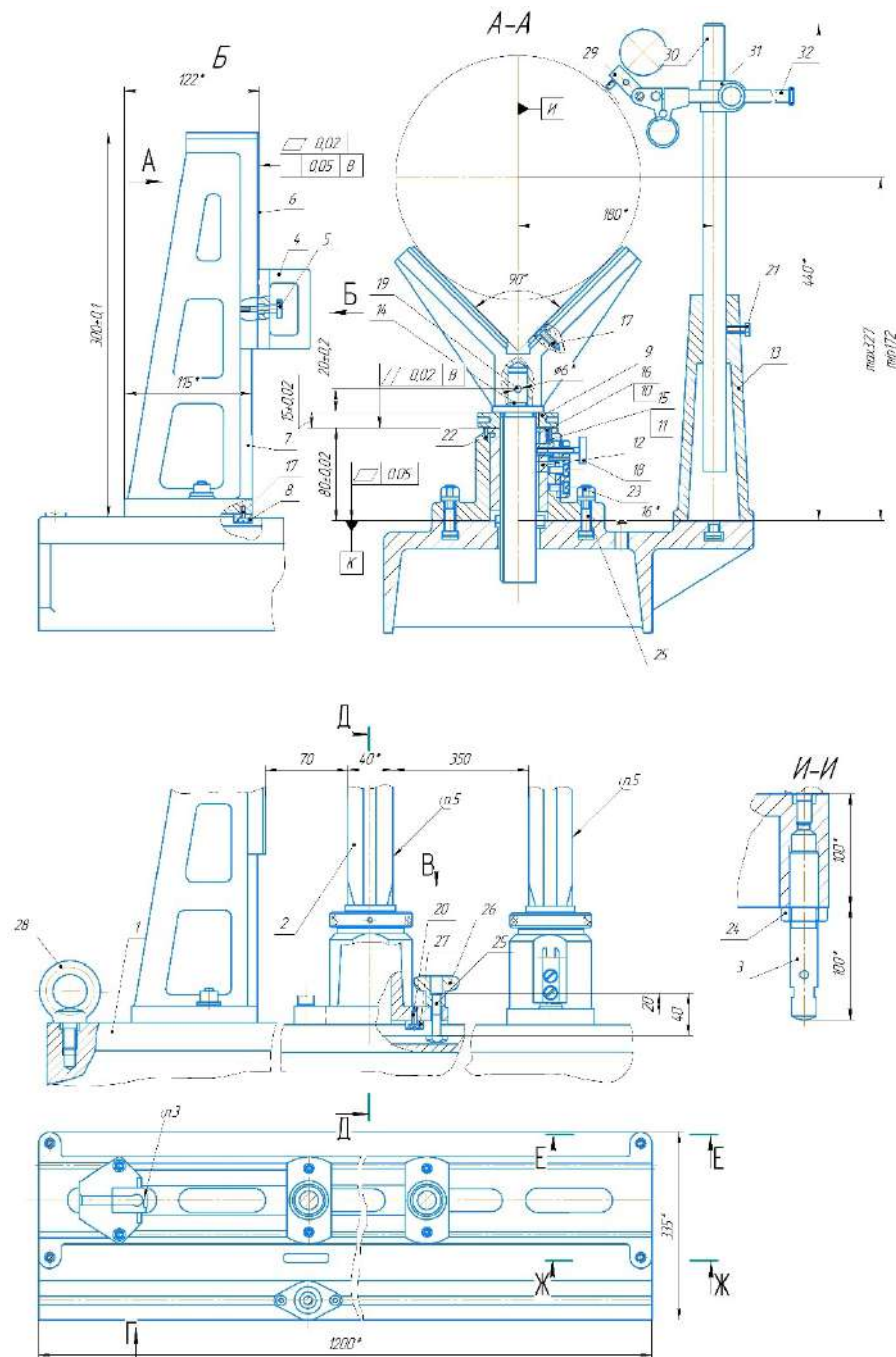


Рисунок 2.4 – Конструкція контрольного пристосування

Деталь встановлюється на дві призми по зовнішніх циліндричних поверхнях і упирається лівим торцем впритул. Лівий край консольного валу встановлюється на нерухому призму. За допомогою гвинта та гайки призма підводиться до поверхні деталі для забезпечення повного контакту шийки консольного валу із площинами призми.

Пристосування кріпиться до столу верстата верстатними болтами по чотирьох пазах, для орієнтації пристрою на столі верстата є знизу плити шпонки.

Деталь базується зовнішніми циліндричними поверхнями за двома призмами. Після повного забезпечення контакту деталі із призмами, до вимірюваного діаметра підводиться індикатор, встановлений на стійці. Після зняття показань індикатора його відводять від поверхні деталі, деталь знімається з пристосування.

2.3 Розрахунок на міцність деталі

Надійність та безвідмовність роботи спроектованих деталей машин в умовах дії експлуатаційних навантажень є визначальним фактором їхньої довговічності та безпеки механізму в цілому. Для підтвердження працездатності розробленої конструкції консольного валу у даному підрозділі виконується перевірковий розрахунок на міцність із застосуванням сучасних методів комп'ютерного інженерного аналізу (CAE). Оцінка напружено-деформованого стану деталі проводиться у спеціалізованому розрахунковому модулі інтегрованого програмного комплексу Siemens NX на базі методу скінченних елементів (МСЕ). Головною метою цього розрахунку є визначення максимальних еквівалентних напружень у зонах концентраторів (шпонкові пази, різьба, перехідні галтелі), щоб переконатися, що вони не перевищують допустимих значень для обраного конструкційного матеріалу.

Процес комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану складається з послідовних етапів підготовки та розрахунку математичної моделі. Базою для проведення інженерного аналізу виступає тривимірна твердотільна модель консольного валу, яка містить усі необхідні конструктивні елементи: шпонкові пази, різбову ділянку, радіальний отвір та лиску. Тривимірну геометричну модель деталі наведено на рисунку 2.5.

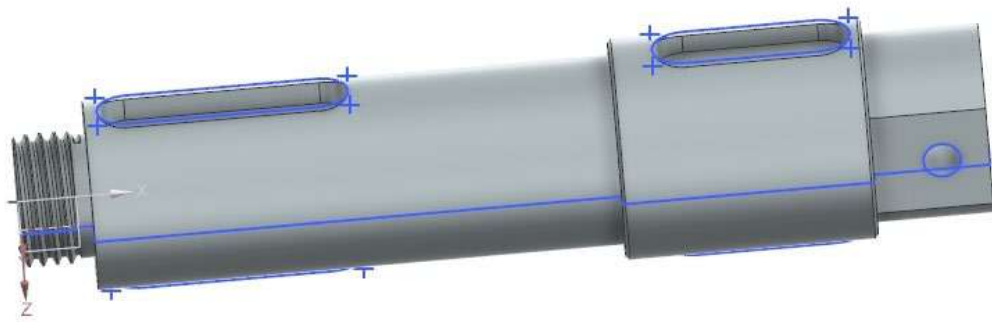


Рисунок 2.5 – Тривимірна геометрична модель деталі

Для виконання математичних обчислень за методом скінченних елементів суцільне тіло деталі необхідно дискретизувати. Модель було розбито на просторову тетраедричну сітку скінченних елементів. Розмір елементів підібрано таким чином, щоб забезпечити необхідну точність розрахунків у зонах складного рельєфу (наприклад, у западинах різьби та кутах пазів) без надмірного перевантаження обчислювальних потужностей. Розбивку консольного валу сіткою скінченних елементів показано на рисунку 2.6.

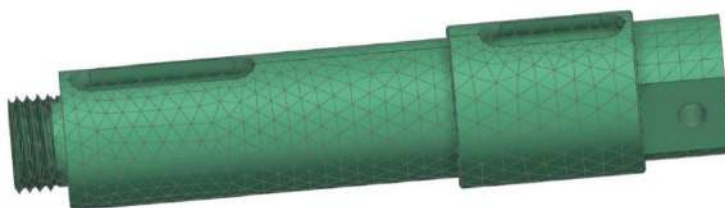


Рисунок 2.6 – Розбивка консольного валу сіткою скінченних елементів

Наступним критично важливим кроком є задання фізичних умов роботи деталі, що передбачає фіксацію моделі у просторі та прикладання робочих зусиль. На відповідні посадкові поверхні консольного валу було накладено кінематичні обмеження, що імітують встановлення деталі в опорах, а також задано розподілені силові навантаження, які відповідають робочим крутним та згинальним моментам під час експлуатації. Візуалізацію накладання на деталь обмежень та силових векторів навантажень зображено на рисунку 2.7.

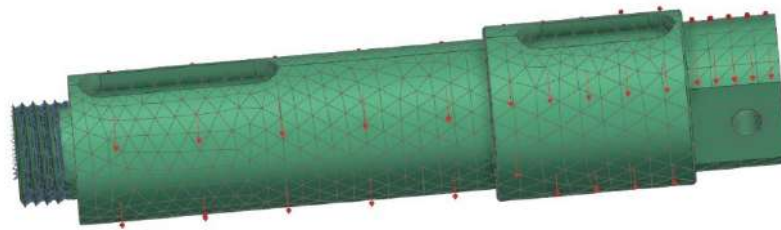


Рисунок 2.7 - Візуалізація накладання на деталь обмежень та силових векторів навантажень

Після налаштування розв'язувача (Solvers) було проведено статичний розрахунок моделі. Результати обчислень генератора виводяться у вигляді кольорових епюр, що дозволяє візуально локалізувати найбільш небезпечні перерізи. Результат розрахунку напружено-деформованого стану деталі показано на рисунку 2.8.



Рисунок 2.8 – Результат розрахунку напружено-деформованого стану деталі

На основі проведеного скінченно-елементного аналізу в середовищі Siemens NX було отримано вичерпну картину розподілу еквівалентних напружень (за критерієм фон Мізеса) у тілі спроектованого консольного валу. Згідно з отриманою кольоровою епюрою, максимальні напруження локалізуються в зоні різьбового переходу та становлять 8,585 МПа. Оскільки границя текучості для обраного матеріалу деталі (сталь 45 після поліпшення) значно перевищує 350 МПа, виникаючі робочі напруження є мізерно малими порівняно з допустимими. Це переконливо доводить, що конструкція консольного валу має значний запас статичної міцності, стійка до пластичних деформацій і гарантовано забезпечить надійну роботу вузла під час експлуатації.

3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ

Для визначення необхідної кількості робочих місць на дільниці за окремими операціями необхідно зробити наступні розрахунки.

Обчислення річної верстатомісткості для кожного виду технологічних операцій виконується за наведеною нижче залежністю (3.1):

$$t_{u-\kappa_j} = \sum_{j=1} t_{u-\kappa_j} \cdot N_j \quad (3.1)$$

де: $t_{u-\kappa_i}$ - штучно – калькуляційний час обробки однієї деталі на поточній операції;

N_j - річна програма випуску.

За таким самим алгоритмом проводяться розрахунки і для інших операцій. Потрібну кількість верстатів на кожну технологічну операцію обчислюють за допомогою наступної формули (3.2):

$$C_{Pi} = \frac{t_{u-\kappa_i} \cdot N}{F_{эф} \cdot 60} \quad (3.2)$$

де i – номер технологічної операції або вид механічної обробки;

N – річна програма випуску, $N=5000$ шт;

$F_{эф}$ – ефективний фонд роботи, $F_{эф}=4015$ ч;

Коефіцієнт завантаження верстату визначається за формулою (3.3):

$$K_3 = \frac{C_{Pi}}{C_{PP_i}} \quad (3.3)$$

де $C_{пр}$ – прийнята кількість обладнання на поточній операції.

За таким самим алгоритмом проводяться розрахунки і для інших операцій. Результати розрахунків зводимо до таблиці 3.1.

Середній коефіцієнт завантаження визначаємо за формулою (3.4):

$$\overline{K_3} = \frac{\sum C_p}{\sum C_{np}} \quad (3.4)$$

$$\overline{K_3} = \frac{7,22}{10} = 0,72$$

Розрахуємо кількість деталей-операцій, які виконуються на даній дільниці:

$$O = 10 \times 3 + 2 = 32 \text{ деталі - операції.}$$

$$\text{Кількість робочих місць } M = \sum S_n = 10.$$

Розрахуємо коефіцієнт закріплення операції за формулою (3.5):

$$K_{30} = \frac{O}{M} = \frac{32}{10} = 3,2 \quad (3.5)$$

Зважаючи на те, що розрахунковий коефіцієнт закріплення операцій становить $K_{30} = 3,2$ (що потрапляє в нормативний діапазон $K_{30} < 10$), дане виробництво обґрунтовано класифікується як багатосерійне.

Таблиця 3.1 – Розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання та його завантаження

Вихідні данні	Група деталей	Річна програма випуску N , шт	Номер операції, i					
			15	20	25	30	35	40
			Модель станка					
			Фрезерно центрувальний FRITZ HECKERT FZWD-160	Ток. з ЧПК Lynx300M	Ток. з ЧПК Lynx300M	Кругло шліфувальний 3C130B	Фрезерна з ЧПК Has VF3	Фрезерна з ЧПК Has VF3
			Верстатомісткість (штучно-калькуляційний час), хв					
Результати розрахунків	Вал консольний	5000	2,65	5,48	9,1	6,22	17,2	6,82
	Вал тонкостінний	5000	5,47	3,16	9,3	4,21	11,7	3,47
	Вал ведомий	5000	1,98	10,2	4,13	2,89	6,9	5,18
	$\sum_{j=1} t_{ш-к_j} \cdot N_j$		151500	282600	337950	199800	537000	232050
	C_{Pi}		0,63	1,17	1,4	0,83	2,23	0,96
	$C_{ПPi}$		1	2	2	1	3	1
	K_{3i}		0,63	0,56	0,7	0,83	0,74	0,96

4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

З метою забезпечення необхідної точності механічної обробки та гарантованого зусилля закріплення заготовки на фрезерній операції, розроблений технологічний процес виготовлення консольного валу передбачає застосування механізованого оснащення. Зокрема, базове ручне пристосування було замінено на конструкцію, оснащену пневматичним затискачем.

Розрахунок витрат на застосування впровадженого технологічного оснащення виконано згідно [12] за формулою (4.1):

$$C_a = Z_a \cdot \left(1 + \frac{H}{100}\right) + \frac{S_a}{P} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{q}{100}\right) \quad (4.1)$$

Розрахунок витрат на застосування старого технологічного оснащення виконано згідно [12] за формулою (4.2):

$$C_b = Z_b \cdot \left(1 + \frac{H}{100}\right) + \frac{S_b}{P} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{q}{100}\right) \quad (4.2)$$

де Z_a , Z_b – заробітна плата робітника за одну деталь відповідно для нового та старого пристосування, грн;

H - цехові накладні витрати у % до заробітної плати;

S_a , S_b – витрати на виготовлення відповідно нового та старого пристосувань, грн;

P - річна програма випуску деталей, шт;

A - строк амортизації пристосування в роках;

q - витрати, пов'язані з експлуатацією пристосувань (ремонт, регулювання, зберігання) у % від їх вартості.

Вартість виготовлення запроєктованого технологічного оснащення розрахуємо, використовуючи спрощену методику, згідно [12] за формулою (4.3):

$$S = C_{\Pi} \cdot N \quad (4.3)$$

де S - витрати на виготовлення пристосування, грн.

N - кількість деталей в пристосуванні, шт;

C_{Π} - затрати на одну деталь пристосування, грн;

Оскільки конструктивне виконання і нового, і вихідного пристроїв не відрізняється високою складністю форм $C_{\Pi}=75$ грн [12].

$$S_{\text{стар}} = 75 \cdot 45 = 3375 \text{ грн}$$

$$S_{\text{нов}} = 75 \cdot 30 = 2250 \text{ грн}$$

Підрахування заробітної плати робітника виконуємо за формулою (4.4) згідно [12]:

$$З = t_{\text{шт}} \cdot З_{\text{хв}} \quad (4.4)$$

де $t_{\text{шт}}$ – штучно-калькуляційний час на операції, $t_{\text{шт}}=17,2$ хв;

$З_{\text{хв}}$ – хвилинна ставка робітника, виходячи з того, що робота виконується за 5 розрядом то $З_{\text{хв}}=65,1$ грн

$$З_{\text{стар}} = 20,48 \cdot \frac{65,1}{60} = 22,22 \text{ грн}$$

$$З_{\text{нов}} = 17,2 \cdot \frac{65,1}{60} = 18,66 \text{ грн}$$

Спираючись на нормативи розрахунку економічної доцільності, період амортизації для наявного та модернізованого пристроїв затверджено тривалістю в один рік, оскільки обидві конструкції класифікуються як нескладні [12].

Річні витрати на утримання та експлуатацію оснащення (q) складають 20 % від його початкової ціни (S) [12]. Відповідно, ці показники дорівнюють: $q_{\text{стар.}} = 675$ грн, а $q_{\text{нов.}} = 450$ грн.

Показник цехових накладних витрат у відсотках (H) обчислюється пропорційно — шляхом ділення сумарних річних накладних витрат по підрозділу (цеху) на річну суму основної зарплати виробничого персоналу (як правило, це значення варіюється в межах $H = 200...300$ %) [12].

Розрахуємо собівартості за кожним із варіантів за формулами (4.1) та (4.2):

$$C_{\text{стар}} = 22,22 \cdot \left(1 + \frac{250}{100}\right) + \frac{3375}{5000} \cdot \left(\frac{1}{1} + \frac{675}{100}\right) = 83 \text{ грн}$$

$$C_{\text{нов}} = 18,66 \cdot \left(1 + \frac{250}{100}\right) + \frac{2250}{5000} \cdot \left(\frac{1}{1} + \frac{450}{100}\right) = 67,78 \text{ грн}$$

Розрахуємо економічний ефект від застосування нового пристосування за формулою (4.5) згідно [12]:

$$E_{\text{еф}} = (C_{\text{стар}} - C_{\text{нов}}) \cdot N \quad (4.5)$$

$$E_{\text{еф}} = (83 - 67,78) \cdot 5000 = 76100 \text{ грн}$$

Для визначення більш вигідного пристосування, скористуємося формулою (4.6):

$$\Pi_K = \frac{(S_{\text{нов}} - S_{\text{стар}}) \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{q}{100}\right)}{(3_{\text{стар}} + 3_{\text{нов}}) \cdot \left(1 + \frac{H}{100}\right)} \quad (4.6)$$

$$\Pi_K = \frac{(3375 - 2250) \cdot \left(\frac{1}{1} + \frac{450}{100}\right)}{(22,22 + 18,66) \cdot \left(1 + \frac{250}{100}\right)} = 43,25 \text{ дет.}$$

На основі проведених техніко-економічних розрахунків можна стверджувати, що впровадження механізованого пристосування з пневматичним затискачем замість базового ручного на фрезерній операції є повністю виправданим.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Робочим місцем оператора за верстатом з числовим програмним керуванням (ЧПК), називають ту частину виробничої площі цеху, де розташовані верстат, пристосування, інструменти, заготовки тощо. Зразкове утримання робочого місця – запорука підвищення продуктивності праці та якості оброблюваних деталей. Необхідно пам'ятати, що робоче місце оператора з ЧПК є тією первинною ланкою, в якій створюються матеріальні цінності. Тому воно повинно бути організовано так, щоб оператору з ЧПК не доводилося непродуктивно витратити час на пошуки інструменту, пристосувань, заготовок, ходити за нарядями, технічною документацією тощо. Правильна організація робочого місця передбачає оснащення його пристосуваннями і тарою, інструментом, необхідними для забезпечення технологічного процесу, засобами контролю, підйомно-транспортним устаткуванням, що забезпечує мінімальні витрати праці і часу оператора з ЧПК. Правильна організація робочого місця верстатника також повинна забезпечити повну безпеку роботи, раціональне освітлення, нормальну температуру, вологість, чистоту повітря.

Планування передбачає раціональне розташування устаткування та оснастки, найефективніше використання виробничих площ, створення безпечних умов праці.

На робочому місці верстатника повинні знаходитися тільки ті інструменти, пристосування і заготовки, які необхідні для виконання даної операції. Все інше слід зберігати на стелажах або в робочій шафі з полицями і окремими осередками. Часто вжиті матеріали та інструменти зберігають на верхніх полицях, а все те, що потрібне рідше, - на нижніх. Різальний інструмент в робочій шафі слід розкласти по типорозмірам. Невеликий різальний інструмент необхідно розміщувати на верхніх полицях, крупніший

і рідко застосовуваний – на нижніх. Вимірювальний інструмент слід зберігати окремо від ріжучого.

Дрібні заготовки, оброблювані у великих кількостях, необхідно зберігати в ящиках, розташованих біля верстата на рівні рук робітника. Готові деталі складаються у окремий ящик, також стоїть поблизу робочого місця, який має одне відділення (для однозмінного режиму роботи).

Працюючи на верстаті з числовим програмним керуванням може бути викидання заготовки з шпинделя, облом інструменту, викидання інструменту з револьверної головки. та інше.

Біля кожного верстата мусить бути вивішена інструкція по безпечній його експлуатації і табличка із зазначенням особи, який відповідає за його експлуатацію.

На кожному робочому місці біля верстата на підлозі мають бути дерев'яні трапи на всю довжину робочої зони і завширшки виступаючих частин верстата або гумовий килимок.

По інструкції оператор ЧПК інструктується до початку роботи на підприємстві (первинний інструктаж), і потім через кожні 6 місяців (повторний інструктаж). Результат інструктажу заноситься в "Журнал реєстрації інструктажів з питань охорони праці", у журналі після проходження інструктажу мусить бути підпис особи що інструктує і оператора ЧПК.

За невиконання даної інструкції оператор ЧПК несе дисциплінарну, матеріальну, адміністративну та кримінальну відповідальність.

Власник повинен застрахувати оператора ЧПК від нещасних випадків і фахових захворювань. У разі пошкодження здоров'я оператора ЧПК з вини власника, він (оператор ЧПК) має право відшкодування заподіяної нього шкоди.

До самостійної роботи оператором ЧПК допускаються особи не молодше 18 років, які мають відповідну кваліфікацію, пройшли вступний інструктаж з охорони праці з відповідним записом у журналі реєстрації вступного інструктажу з обов'язковим підписом інструктованого та

інструктуючого, а також первинний інструктаж на робочому місці до початку виробничої діяльності.

Оператор ЧПК повинен:

- виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку;
- виконувати лише роботу, яку доручив керівник і з якій він проінструктований;
- користуватися спецодягом і засобами індивідуального захисту;
- утримувати чистим і в порядку робоче місце;
- не загороджувати проходи;
- не допускати на робоче місце сторонніх осіб;
- пам'ятати про особисту відповідальність у виконанні правил охорони праці та безпеку товаришів по службі;
- уважно слідкувати за процесом обробки, у разі виявлення порушень та помилок, вжити необхідних заходів для запобігання шкоди здоров'ю або матеріальної шкоди підприємству;
- користуватися засобами пасивної безпеки, передбаченими конструкцією верстата.

Головні небезпечні й шкідливі чинники, що діють на оператора з ЧПК:

- поразка електрострумом;
- дію на шкіру мастильного олії, охолоджуючих рідин;
- протяги;
- стружка, що відкололася від оброблюваної деталі;
- несправність управління верстатом;
- обертові частини верстатів і оброблюваних деталей;
- різальний інструмент;
- підвищені рівні шуму.

Пусковий пристрій, електродвигуни, і навіть металеве устаткування, які знаходяться під напругою, повинні бути заземлені.

Пускові ящики електродвигунів повинні мати блокування, що дозволяє відкривати ящик тільки після вимикання рубильника.

Пускові кнопки мають бути поглиблені, що виключає самовільне включення при випадковому дотику.

У результаті гігієнічної оцінки умов праці (УП) оператора з ЧПК механічного цеху встановлено, що показники мікроклімату, а саме: температура повітря, °C, швидкість руху повітря, м/с, відносна вологість повітря, % та теплове випромінювання, Вт/м², були допустимими за ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

ВИСНОВОК

У дипломному проєкті успішно вирішено інженерне завдання щодо розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Консольний вал» автономної системи охолодження для умов багатосерійного виробництва з річною програмою випуску 5000 штук. В межах технологічної частини економічно обґрунтовано вибір заготовки, отриманої методом поперечно-клинової прокатки, що дозволило суттєво підвищити коефіцієнт використання матеріалу до 0,76 у порівнянні з 0,68 для базового варіанту з прокату. Розроблено оптимальний маршрут обробки із застосуванням високопродуктивних верстатів з ЧПК, для яких аналітично розраховано міжопераційні припуски, режими різання та норми часу. Крім того, за допомогою програмного комплексу Siemens NX CAM було успішно спроектовано та верифіковано керуючу програму для фрезерування шпонкових пазів. У конструкторській частині спроектовано спеціальне верстатне пристосування для фрезерування лисок із пневматичним приводом (на базі пневмоциліндра), яке забезпечує розрахункову діючу силу затиску 11983 Н, а також розроблено контрольне пристосування. Для підтвердження працездатності розробленої конструкції виконано скінченно-елементний аналіз напружено-деформованого стану валу в середовищі Siemens NX. Розрахунок показав, що максимальні еквівалентні напруження становлять 8,585 МПа, що значно нижче границі текучості матеріалу і гарантує деталі високий запас статичної міцності. Повна собівартість виготовлення однієї деталі склала 1052,99 грн. За рахунок впровадження прогресивного технологічного процесу та зниження трудомісткості на 13,1 %, досягнуто підвищення продуктивності праці на 15,1 %, при цьому загальна сума річної економії складе 31 607,89 грн. Додатково проаналізовано умови праці на робочому місці оператора верстатів з ЧПК та передбачено комплекс необхідних заходів щодо охорони праці й забезпечення безпечної роботи персоналу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Сервіс стандартів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64466 (дат звернення 04.03.2026 р.)
- 2 Плєскач В.М., Акімов І.В., Мітяєв О.А. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин: підручник. Запоріжжя: Просвіта, 2013. – 372 с.
- 3 Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін з технологічних методів виробництва заготовок для студентів спеціальностей: 131 «Прикладна механіка», 132 «Матеріалознавство», 133 «Галузеве машинобудування», 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» денної форми навчання / національний університет «Запорізька політехніка». Каф. Композиційні матеріали, хімія та технології; уклад. В. М. Плєскач, В. О. Савченко, І. В. Акімов, Ф. В. Гаврил-Оглу. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 38 с.
- 4 Добрянський, С. С., Малафєєв Ю. М. Технологічні основи машинобудування: підручник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 379 с.
- 5 Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А., Петраков Ю.В. Технологія машинобудування. Житомир: ЖДТУ, 2005. 882 с.
- 6 Основи технології машинобудування: навчальний посібник. / Ципак В.І. та ін. ; за ред. Ципак В.І. та ін. Запоріжжя : ЗНТУ, АТ «Мотор Січ», 2003. 335 с.
- 7 Основи теорії різання матеріалів: підручник для вищих навчальних закладів. / Мазур М. П. та ін. за ред. М.П. Мазура. Львів: Новий Світ. 2000. 422 с.

8 Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя. 2019. 240 с.

9 Загальномашинобудівні нормативи часу і режимів різання для нормування робіт, виконуваних на універсальних і багатоцільових верстатах з ЧПК. М.: Економіка. 1990 р. 474 с

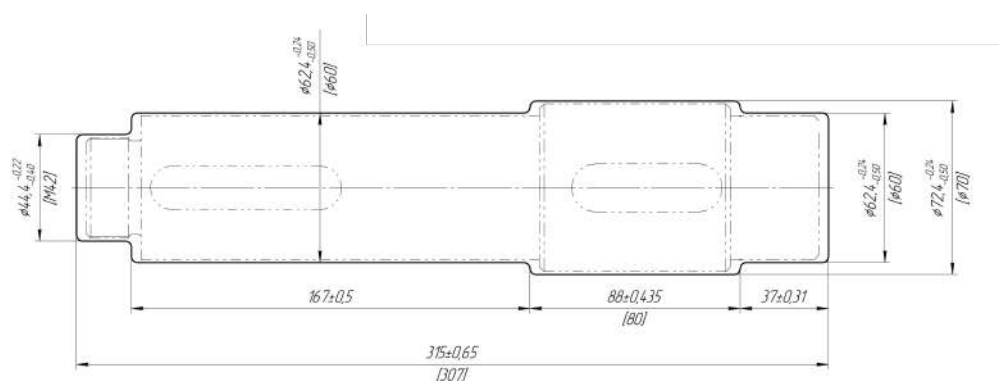
10 Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Технологічна оснастка» для студентів зі спеціальностей: 131 «Прикладна механіка» освітня програма «Технології машинобудування» 133 «Галузеве машинобудування» освітня програма «Металорізальні верстати та системи» усіх форм навчання / НУ «Запорізька політехніка». Каф. Технологія машинобудування; уклад. Е.В. Вишнепольський, О.Б. Козлова. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. 82 с.

11 Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологічна оснастка» для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / НУ «Запорізька політехніка». Каф. Технологія машинобудування; уклад. Е.В. Вишнепольський, О.Б. Козлова. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. 45 с.

12 Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / НУ «Запорізька політехніка». Каф. Технологія машинобудування; уклад. Г.В. Пухальська - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023. 43 с.

ДОДАТОК А КОМПЛЕКТ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КАРТ

					Опер. 005		Аркушів 1	Аркуш 1
Розраб.	Минка А.В.			НУЗП	НУЗП 711347.026			
Перевір.	Гончар Н.В.							
				Консольний вал автономної системи охолодження				Літ н
Н. контр.	Дядя С.І.							



1. Заготовка отримана методом поперечно-клинової протакти за технологічним регламентом підприємства.
2. Точність розмірів заготовки відповідає IT12-IT14 згідно з ДСТУ ISO 286-1.
3. Поверхня заготовки повинна бути очищена від технологічної окалини (методом дробоструминного або хімічного очищення).
4. На поверхні не допускаються запискання, тріщини, заходи металу та глибокі риски, що перевищують половину припуску на механічну обробку.
5. Термічна обробка: нормалізація для вирівнювання структури металу та покращення оброблюваності різанням.
Твердість 170...210НВ.
6. Кутти нахилу технологічних кантів та радіуси переходів між ступенями – за ГОСТ 7505 (або згідно з профілем клинів).
7. Маркувати партію заготовок згідно з вимогами ВТК підприємства.

[illegible]

Карта заготовки

[illegible]

[illegible]

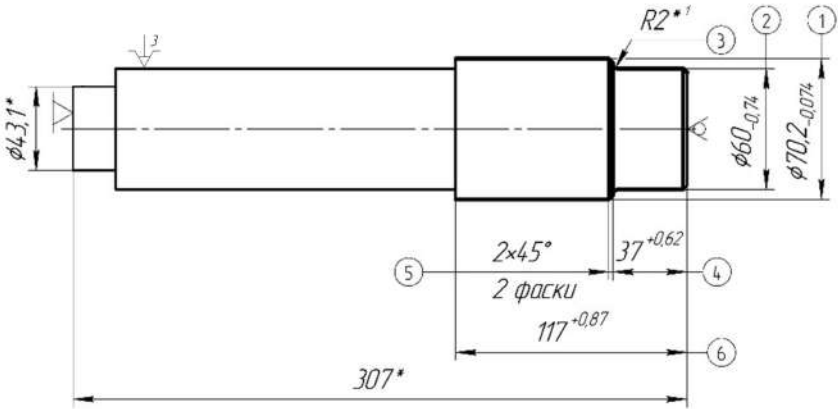
Дубл.			
Взам.			
Подл.			

--	--	--	--	--	--

						НУЗП 02141.26.026	1	1
Разраб.	Минка А.В.			НУЗП	НУЗП 711347.026		М - 113сп.20141.00025	
Проверил	Гончар Н.В.							
Нормировал								
Н.контр.	Дядя С.І.			Консольний вал автономної системи охолодження				025

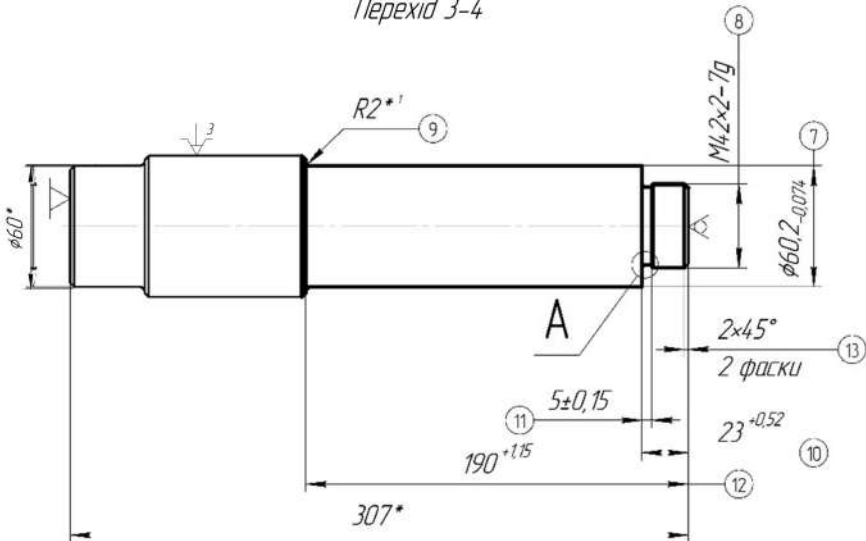
▽ Ra 3,2

Перехід 1-2

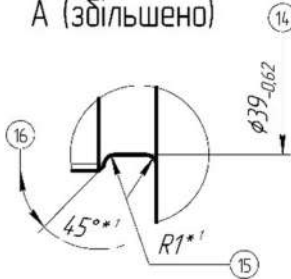


1. * Розмір для довідок.
2. * Розмір забезпечити інструментом.

Перехід 3-4



А (збільшено)



1. * Розмір для довідок.
2. * Розмір забезпечити інструментом.

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

--	--	--	--	--

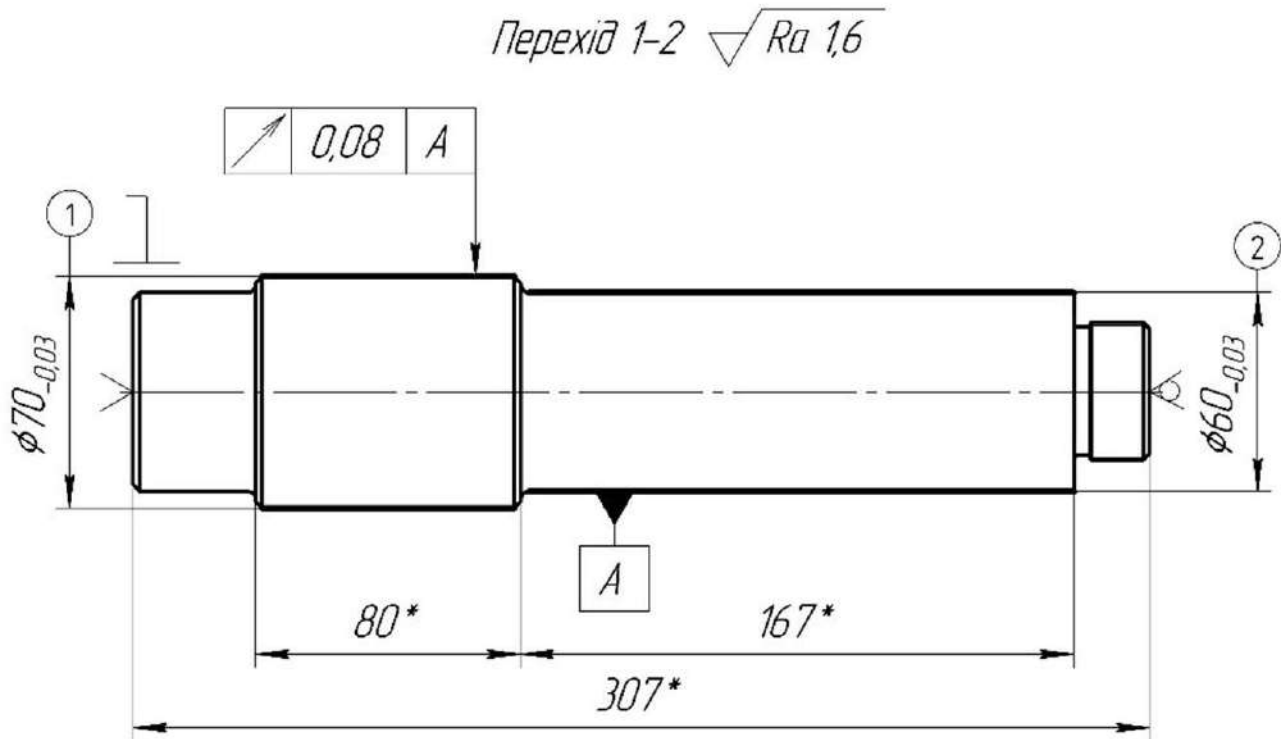
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Р								ПИ		Д или В		L	t	i	S	n	V		
Т	PI Різець контурний 2101-0601 ГОСТ 20872-80																		
Т	ЗВ Набір спеціальних шаблонів																		
Р								2		60.2		221		0.4		1	80 мм/хв	890	170.4
О	4 Точити поверхні, витримуючи розміри 14-16																		
Т	ВІ Блок інструментальний																		
Т	PI Різець канавочний 2128-4002 СТП 2128-4000																		
Т	ЗВ Набір спеціальних шаблонів																		
Р								3		5		25		1		6	2	200	26.3
О	5 Зняти деталь																		
OK																			

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

--	--	--	--	--

					НУЗП 02141.26.026		1	1
Разраб.	Минка А.В.			НУЗП	НУЗП 711347.026		М - 113сп.20141.00030	
Проверил	Гончар Н.В.							
Нормировал								
				Консольний вал автономної системи охолодження			030	
Н.контр.	Дядя С.І.							



* Розміри для довідок

КЭ				
----	--	--	--	--

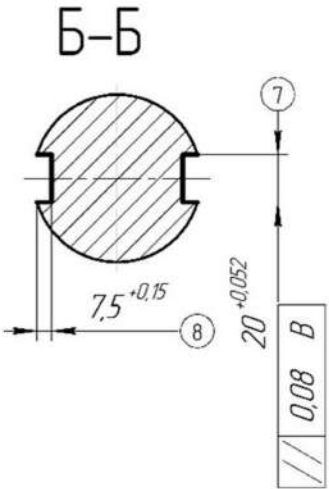
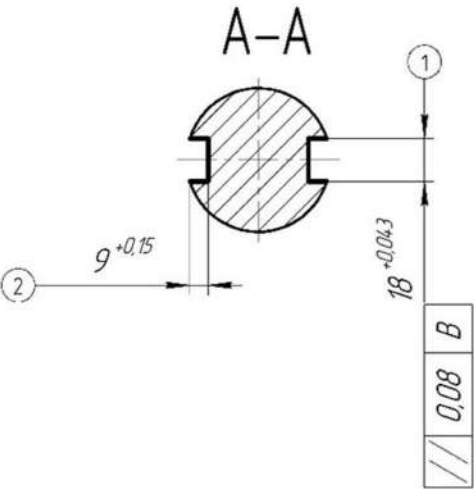
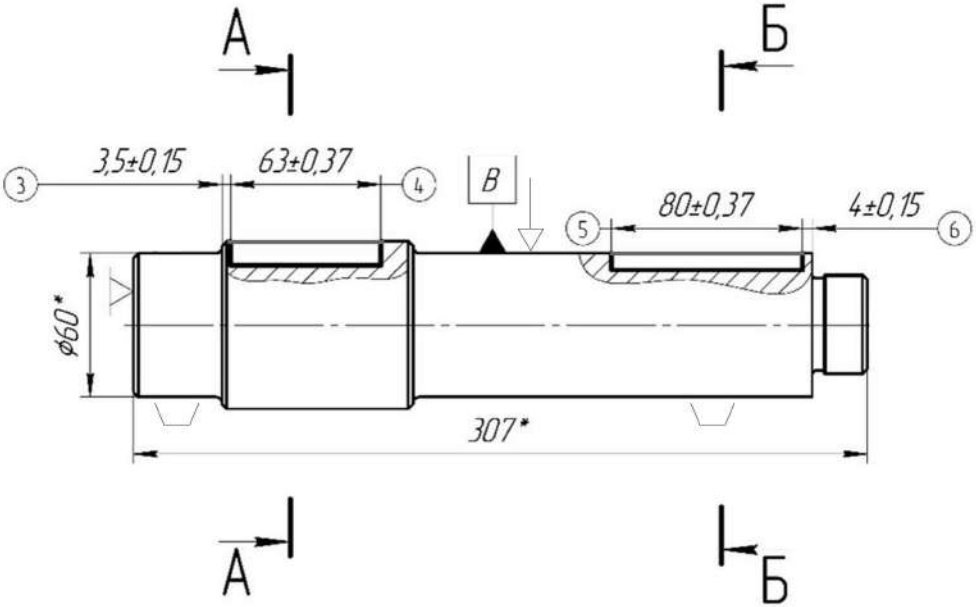
[illegible]

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

--	--	--	--	--	--

					НУЗП 02141.26.026		1	1
Разраб.	Минка А.В.			НУЗП	НУЗП 711347.026		М - 113сп.20141.00035	
Проверил	Гончар Н.В.							
Нормировал								
				Консольний вал автономної системи охолодження			035	
Н.контр.	Дядя С.І.							

$\sqrt{Ra\ 3,2}$



* Розміри для довідок

КЭ							
----	--	--	--	--	--	--	--

[illegible]