

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
(повне найменування інституту, факультету)

ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ
(повне найменування кафедри)

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

на тему Розроблення технологічного процесу
виготовлення проміжного вала коробки змінних передач

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

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Технології машинобудування

БЕРЕЖНИЙ Є.А.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ГОНЧАР Н.В.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ФРОЛОВ М.В.
(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

« _____ » _____ 2026 року

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

БЕРЕЖНОГО Єгора Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розроблення технологічного процесу виготовлення проміжного вала коробки змінних передач

керівник проєкту (роботи) Гончар Н.В., канд. техн. наук, 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

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення проміжного вала, 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	08.06.2026	

Студент(ка)

(підпис)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Єгор БЕРЕЖНИЙ
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Наталя ГОНЧАР
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 93 с., 12 табл., 19 рис., 1 дод., 12 джерел.

ВЕРСТАТНЕ ПРИСТОСУВАННЯ, ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛУ, ГАРТУВАННЯ, КЕРУЮЧА ПРОГРАМА, КОНСТРУКЦІЙНА СТАЛЬ, МАШИНОБУДУВАННЯ, РАДІАЛЬНЕ БИТТЯ, СИМУЛЯЦІЯ ОБРОБКИ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА.

Об'єкт дослідження – вал коробки змінних передач.

Мета роботи – Розроблення технологічного процесу виготовлення проміжного вала коробки змінних передач

Метод дослідження – розрахунково-аналітичний.

В дипломному проєкті використані багатоцільові верстати з ЧПК і сучасне обладнання та оснащення. Розроблено технологічний процес виготовлення валу коробки змінних передач, передбачено економічні можливості виробництва, розраховано режими різання, норми часу, розроблено операцію з ЧПК, спроєктовано робоче та запропоновано контрольне пристосування, досліджено міцносні характеристики деталі, виконано розрахунок щодо організаційних питань і кількості технологічного обладнання та робітників на ділянці, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ЗМІСТ

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	16
1.4 Проєктування технологічного маршруту виготовлення деталі «Вал коробки змінних передач»	22
1.4.1 Вибір технологічних баз	22
1.4.2 Проєктування маршруту обробки поверхонь	24
1.4.3 Проєктування технологічного маршруту виготовлення деталі	29
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	31
1.6 Розрахунок режимів різання	36
1.7 Технічне нормування операцій	47
1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК	53
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	57
2.1 Конструкція і принцип роботи пристосування.	57
2.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.	58
2.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу.	61
2.4 Проєктування контрольного пристосування.	65
2.4.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування	65
2.5 Розрахунок на міцність деталі.	67
3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ	70
4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ	73
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	77

ВИСНОВКИ	79
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	80
Додаток А. Комплект технологічних карт	82

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ГРО – гаряче ротаційне обтиснення

ЗОТС – змащувально-охолоджувальне технологічне середовище

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

ККД – коефіцієнт корисної дії

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

ТО – термічна обробка

ТП – технологічний процес

ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

Ефективна робота машин і механізмів безпосередньо залежить від надійності їхніх складових одиниць, серед яких вали посідають одне з провідних місць. Як основні деталі для передачі потужності, вони працюють у складних умовах циклічних навантажень, що висуває високі вимоги до якості їх виготовлення. Технологія машинобудування пропонує нові методи обробки, які дозволяють не лише отримати необхідну форму, а й цілеспрямовано формувати фізико-механічні властивості поверхневих шарів металу. У даному дипломному проєкті розглядається системний підхід до створення технологічного процесу виготовлення вала коробки змінних передач, де кожен етап обробки взаємопов'язаний і впливає на кінцевий результат.

Основою проєктування є принцип забезпечення заданої точності при високій продуктивності праці. Це досягається шляхом раціонального розподілу припусків та правильної послідовності технологічних переходів. Особлива увага приділяється питанню технологічності конструкції вала коробки змінних передач – можливості його виготовлення з мінімальними витратами часу та матеріалів. Сучасний інженер-технолог повинен враховувати не лише геометричні параметри, а й стан поверхневого шару після кожної операції, оскільки залишкові напруження та мікротріщини можуть суттєво знизити втомну міцність деталі під час експлуатації.

Важливим аспектом проєктування є інтеграція термічної обробки в загальну структуру технологічного маршруту. Правильне поєднання механічної та термічної обробки дозволяє отримати оптимальне поєднання твердості поверхні та в'язкості серцевини вала коробки змінних передач. У проєкті детально опрацьовуються питання вибору різальних інструментів з сучасних зносостійких матеріалів, що дозволяє валу працювати на високих швидкостях. Такий підхід використовує концентрацію операцій та зменшення кількості необхідного обладнання, що є економічно вигідним для підприємства.

Крім суто технічних питань, проєктування включає в себе розробку безпечних умов праці та екологічність виробництва. Використання сучасних

мастильно-охолоджувальних технологічних засобів та раціональне управління відходами металообробки є невід'ємною частиною сучасної інженерної культури. Загалом, розроблений технологічний процес виготовлення вала коробки змінних передач спрямований на створення конкурентоспроможного продукту, який відповідає високим стандартам точності та надійності. Глибокий аналіз кожного кроку виробництва – від отримання заготовки до фінішного контролю – гарантує отримання виробу з максимальним експлуатаційним ресурсом, що є першочерговим завданням для фахівця з технології машинобудування.

У системі механічного привода вал коробки змінних передач виступає як підтримуюча конструкція, що об'єднує в єдиний кінематичний ланцюг кілька робочих елементів – зубчастих коліс, муфт, шківів – які встановлюються на його відповідні ступені. Основна функціональна задача деталі реалізується через передачу обертальних зусиль, при цьому вал коробки змінних передач піддається складному деформаційному впливу, що включає кручення, згин у двох площинах від сил зачеплення, а також циклічні розтяг-стиснення у поверхневих шарах. Службове призначення також охоплює функцію орієнтації та жорсткої фіксації деталей у просторі: через систему точних посадкових поверхонь вал коробки змінних передач забезпечує стабільність міжосьових відстаней у зачепленнях та мінімізацію радіального й осьового биття. Наявність трьох шпонкових пазів у конструкції вказує на те, що вал коробки змінних передач є проміжним або вихідним елементом редукторної системи, де крутний момент не лише передається, а й розподіляється між різними ступенями трансформації швидкості. Конструктивні особливості, такі як бурти діаметром 50 мм, призначені для сприйняття осьових зусиль, що виникають у косозубих або черв'ячних передачах, запобігаючи неконтрольованому зміщенню вузлів.

Конструктивно виріб являє собою складне ступінчасте тіло обертання загальною довжиною 450 мм, де кожна поверхня має чітку технологічну та експлуатаційну роль. Ступінчаста форма обумовлена необхідністю забезпечення осьової фіксації деталей та зручністю їх послідовного монтажу без пошкодження посадкових поверхонь. Аналіз характерних геометричних поверхонь дозволяє виділити ділянки з різними режимами навантаження. Поверхні діаметром 40 мм на краях валу коробки змінних передач є консольними або вихідними частинами, що працюють переважно на кручення. Перша ступінь діаметром 40 мм з полем допуску $h9$ та довжиною 130 мм містить закритий шпонковий паз, виконаний методом фрезерування. Друга ступінь діаметром 45 мм з полем допуску $k6$ виконує роль опорної шийки під підшипник кочення. Висока точність цього діаметра та регламентована шорсткість поверхні $Ra\ 1,25\ \mu\text{m}$ є критичними для забезпечення стабільної роботи підшипникового вузла. Центральна ступінь діаметром 50 мм є

найбільшою за перерізом і виконує функцію дистанційного бурта. Четверта ступінь діаметром 45 мм з допуском h9 містить ще один шпонковий паз для проміжної передачі моменту. П'ята ступінь діаметром 40 мм (допуск h9) завершує конструкцію. Геометрична конфігурація передбачає використання перехідних галтелей (радіуси R1, R2 та R0,5), які є важливими для розосередження напружень у місцях різкої зміни перерізів. Шорсткість Ra 1,25 на опорних шийках є обов'язковою умовою для забезпечення рідинного або напіврідинного тертя у підшипниках, що безпосередньо впливає на коефіцієнт корисної дії та безвідмовність механізму. Канавка завширшки 3 мм з радіусом заокруглення R0,5, призначена для виходу шліфувального круга під час чистової обробки опорних шийок.

Хімічний склад наведено в таблиці 1.1 [1].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 45 згідно з ДСТУ 7809:2015 [1]

Елемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
Вміст, %	0,42– 0,50	0,17– 0,37	0,50– 0,80	≤ 0,30	≤ 0,040	≤ 0,035	≤ 0,30	≤ 0,30

Механічні властивості наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 45 згідно з ДСТУ 7809:2015 [1]

Властивість	Значення
Межа плинності σ_T , Н/мм ² , щонайменше	355
Тимчасовий опір σ_B , Н/мм ² , щонайменше	600
Відносне подовження δ_5 , %, щонайменше	16
Відносне звуження Ψ , %, щонайменше	40

Матеріал виробу – сталь 45 згідно з ДСТУ 7809:2015 – характеризується вмістом вуглецю в межах 0,42...0,50%, що дозволяє застосовувати термічне

зміцнення для досягнення необхідного комплексу експлуатаційних характеристик. Фізичні властивості сталі наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Фізичні властивості сталь 45 згідно з ДСТУ 7809:2015 [1]

Характеристика	Значення
Межа міцності при розтягу (σ_B), МПа	600-750
Межа текучості (σ_T), МПа	355
Відносне подовження (δ_5), %	16
Ударна в'язкість (КСУ), Дж/см ²	59
Твердість за Брінеллем (НВ), НВ	207-255
Твердість за Роквеллом (HRC), після загартування	28-32

Відповідно до креслення, деталь повинна мати твердість у межах НВ 207...236. Для досягнення таких параметрів технологічний процес обов'язково включає операцію поліпшення. Поліпшення складається з гартування та високого відпуску. Процес гартування передбачає нагрів деталі в термічній печі до температури 840...860⁰С з наступним інтенсивним охолодженням у воді або оливі для отримання структури мартенситу. Оскільки сталь 45 має обмежену прогартовуваність (близько 10–15 мм для наскрізного загартування), при діаметрі 50 мм серцевина валу коробки змінних передач залишається відносно в'язкою, що корисно для поглинання ударних навантажень. Наступний етап – високий відпуск при температурі 550...600 ⁰С з охолодженням на повітрі – трансформує мартенсит загартування у сорбіт відпуску. Саме ця структура забезпечує вказану твердість НВ 207...236 та оптимальне співвідношення між границею текучості $\sigma_{0,2}$ = 360 МПа та ударною в'язкістю. Цей стан металу забезпечує найкращий баланс між границею витривалості (що важливо для валу коробки змінних передач як деталі, що обертається) та пластичністю, дозволяючи деталі витримувати пікові пускові навантаження без крихкого руйнування.

Допуски на діаметральні розміри опорних шийок розраховані таким чином, щоб забезпечити необхідний натяг або зазор у підшипникових вузлах.

Використання квалітетів IT7 та IT8 свідчить про обробку, яка досягається шліфуванням. Відхилення від циліндричності та круглості на цих поверхнях суворо обмежені, оскільки будь-яка неточність призведе до вібрацій під час роботи на високих частотах. Допуски на лінійні розміри, зокрема довжину ступенів, забезпечують правильне осьове розташування вузлів передачі. Шпонкові пази, виконані за розмірами 12 мм та 10 мм з відповідними допусками, гарантують щільне прилягання шпонок, що виключає появу люфтів при зміні напрямку обертання або при пускових режимах. Шорсткість поверхонь валу коробки змінних передач диференційована залежно від їхньої функції. Поверхні з параметром Ra 1,25 мкм піддаються шліфуванню, тоді як торцеві поверхні та вільні діаметри з Ra 2,5 мкм обробляються чистовим точінням. Невказані граничні відхилення розмірів згідно з п. 2 технічних вимог (по H10, h10, IT10/2) вказують на середній рівень точності вільних розмірів, що є економічно доцільним для машинобудування. Гострі кромки пазів та переходів підлягають притупленню радіусом R 0,5 мм, що зменшує ризик травматизму при складанні та покращує розподіл напружень у конструкції.

Сукупність геометричних параметрів, точності виготовлення та характеристик термічно зміцненого матеріалу дозволяє валу коробки змінних передач повноцінно виконувати своє призначення протягом усього міжремонтного періоду експлуатації машини, забезпечуючи надійну та безпечну роботу механічного привода в цілому. Конструктивно-технологічний аналіз підтверджує, що деталь спроектована з урахуванням сучасних вимог машинобудування щодо металоємності, технологічності та експлуатаційної витривалості.

1.2 Вибір типу та форми організації виробництва

Вибір типу та форми організації виробництва є фундаментом для проєктування технологічного процесу виготовлення валу коробки змінних передач, оскільки саме масштаб випуску та фізичні характеристики деталі визначають ступінь автоматизації, вибір обладнання, оснащення та структуру виробничих

циклів. Для розрахунку та обґрунтування типу виробництва ключовими вихідними даними є річна програма випуску в обсязі 5000 одиниць та маса деталі, що становить 5,05 кг. Згідно з загально прийнятими нормами машинобудування для деталей класу «вали» середньої маси (від 2 до 10 кг), річний обсяг у 5000 штук дозволяє однозначно ідентифікувати тип виробництва як середньосерійний з тенденцією до багатосерійного. Такий масштаб випуску характеризується постійністю номенклатури заготовок, що виготовляються протягом тривалого періоду, та періодичною повторюваністю партій виробів, що дає змогу закріплювати за робочими місцями обмежену кількість технологічних операцій.

Враховуючи конструктивну складність валу коробки змінних передач, що вимагає точної обробки шпонкових пазів та шліфування посадкових шийок, найбільш доцільною формою організації виробничого процесу є змінно-потокowa форма, яка базується на принципах безперервності, ритмічності та пропорційності, де рух партій деталей між робочими позиціями здійснюється з мінімальними перервами. Для реалізації цієї форми в умовах середньосерійного випуску 5000 деталей на рік організовується змінно-потокowa лінія, на якій обробка ведеться партіями. Це обумовлено необхідністю скорочення тривалості виробничого циклу та зменшення обсягів незавершеного виробництва, що є критичним при роботі з довгими валами, які потребують значних площ для міжопераційного зберігання.

Кількість деталей в партії можна визначити за формулою (1.1) [2]:

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

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

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

$$n = \frac{3 \cdot 5000}{250} = 60 \text{ шт.}$$

Використання потокової форми організації при заданій програмі випуску стимулює спеціалізацію робочих місць, що призводить до зростання

продуктивності праці та зниження собівартості одиниці продукції за рахунок зменшення підготовчо-заключного часу на кожну деталь.

Поєднання середньосерійного типу виробництва зі змінно-потоковою формою організації для виготовлення валу коробки змінних передач масою 5,05 кг за програмою 5000 штук є технічно обґрунтованим та економічно вигідним рішенням. Це дозволяє поєднати гнучкість серійного виробництва з високою ефективністю масового, забезпечуючи стабільну якість обробки, передбачену конструкторською документацією. Вибрана форма організації створює передумови для подальшої автоматизації виробництва, впровадження промислових роботів для маніпуляцій із заготовками та переходу до концепції інтегрованого комп'ютерного виробництва, що відповідає сучасним тенденціям розвитку машинобудівної галузі. Орієнтація на потоковість за умови стабільного попиту на 5000 виробів на рік мінімізує втрати часу на переналагодження та оптимізує використання виробничих площ ділянки механічної обробки.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Етап вибору методу отримання заготовки є вирішальним чинником, що визначає структуру подальшого технологічного процесу механічної обробки, коефіцієнт використання матеріалу та загальну собівартість виготовлення валу коробки змінних передач. При проєктуванні заготовки для ступінчастого валу коробки змінних передач масою 5,05 кг за умови серійного випуску 5000 одиниць на рік необхідно збалансувати витрати на матеріал із витратами на механічну обробку. Основним критерієм ефективності при цьому виступає наближення геометричних форм і розмірів заготовки до параметрів готової деталі, що дозволяє мінімізувати припуски на обробку та зменшити обсяг стружки.

Першим розглянутим методом є використання гарячекатаного прокату круглого перерізу. Даний спосіб характеризується мінімальними початковими

витратами на підготовку виробництва, оскільки не потребує проектування та виготовлення спеціальних штампів або прес-форм. Прокат забезпечує стабільні механічні властивості по всій довжині, проте його головним недоліком для ступінчастих валів є значна різниця між діаметрами ступенів (від 35 мм до 50 мм). Це зумовлює необхідність вибору вихідного діаметра заготовки за максимальним перерізом деталі з урахуванням припусків на чорнову та чистову обробку. Як наслідок, значна частина металу на ділянках меншого діаметра перетворюється на відходи, що знижує коефіцієнт використання матеріалу та збільшує станкомісткість токарних операцій. Використання прокату є економічно виправданим лише за умов невеликих перепадів діаметрів, як в нашому випадку.

Альтернативним і прогресивним методом отримання заготовки є гаряче радіальне обтиснення (ГРО), яке часто реалізується через технологію ротаційного кування. Цей метод базується на пластичній деформації нагрітої заготовки шляхом багатократного радіального впливу бойків спеціалізованої ротаційно-кувальної машини. На відміну від традиційного прокату, радіальне обтиснення дозволяє отримувати ступінчастий профіль заготовки, що максимально повторює контури майбутнього валу коробки змінних передач. Завдяки цілеспрямованому перерозподілу металу в процесі деформації, волокна сталі 45 не перерізаються, а орієнтуються вздовж контуру деталі, що суттєво підвищує міцнісні характеристики виробу, зокрема його опір втомним навантаженням.

Застосування ГРО забезпечує високу точність розмірів заготовки (до 0,5 – 1,0 мм на діаметр) та низьку шорсткість поверхні, що дозволяє значно скоротити кількість проходів при чорновому точінні або взагалі виключити деякі етапи попередньої обробки. В умовах програми 5000 штук на рік впровадження ротаційного кування вимагає врахування витрат на енергоносії для нагріву та експлуатацію складного обладнання. Технологія ГРО може дозволити досягти коефіцієнта використання металу на рівні 0,85...0,92, тоді як при використанні прокату цей показник рідко перевищує 0,6...0,7. Економічне обґрунтування даного вибору базується на порівняльному аналізі сумарних витрат, де вища вартість

заготовки, отримана методом ГРО, компенсується різким зниженням витрат на інструмент, електроенергію для верстатів та оплату праці верстатників.

Крім економічних показників, вибір методу отримання заготовки шляхом пластичної деформації позитивно вплине на експлуатаційну надійність валу коробки змінних передач. Ущільнення структури металу в поверхневих шарах та створення сприятливих залишкових напружень стиснення після радіального обтиснення підвищують зносостійкість опорних шийок. Таким чином, перехід від простої заготовки з прокату до спеціалізованої штампованої або кованої заготовки є закономірним кроком при оптимізації середньосерійного виробництва, і спрямований на підвищення загальної рентабельності підприємства та забезпечення відповідності виробу сучасним стандартам машинобудування.

Остаточно зробимо вибір на основі порівняльного розрахунку двох методів отримання заготовки. Отримання заготовки з прокату. Попередньо визначаємо розміри заготовки (рисунок 1.2) [3].



Рисунок 1.2 – Ескіз заготовки, що отримана з прокату

Визначення вагових характеристик заготовки показано на рисунку 1.3.

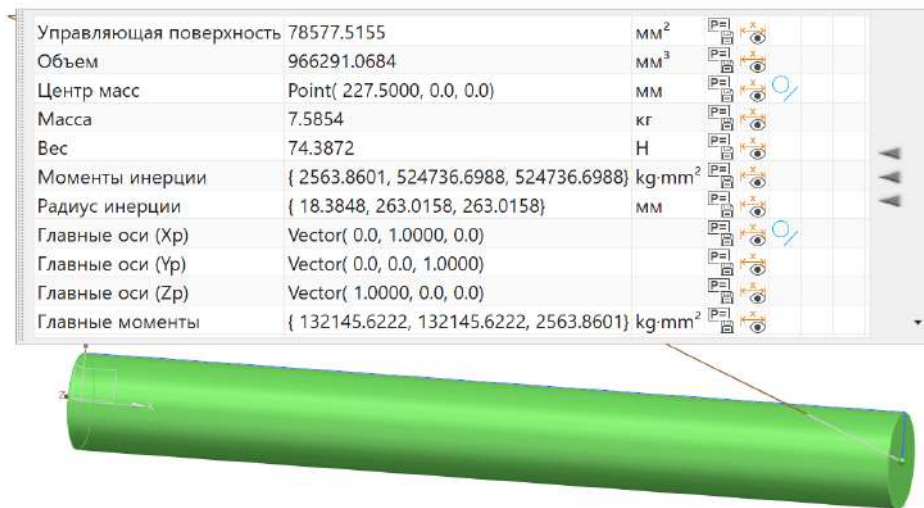


Рисунок 1.3 – Тривимірна модель заготовки, що отримана з прокату

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

$$C_1 = \frac{C_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_P - (Q - q) \cdot \frac{C_{\text{відх}}}{1000}, \quad (1.2)$$

де C_B - базова собівартість 1т заготовки, $C_B=52000$ грн/т;

Q - маса заготовки, $Q=7,58$ кг;

q -маса деталі, $q=5,05$ кг;

K_T - коефіцієнт, що враховує клас точності $K_T=1$ [3];

K_M - коефіцієнт, враховує марку матеріалу $K_M=2,4$ [3];

K_B - коефіцієнт, враховує масу заготовки $K_B=1$ [3];

K_P - коефіцієнт, враховує програму випуску $K_P=0,5$ [3];

$C_{\text{відх}}$ - собівартість 1 т стружки, $C_{\text{відх}}=5000$ грн/т.

$$C_1 = \frac{52000}{1000} \cdot 7,58 \cdot 1 \cdot 2,4 \cdot 1 \cdot 0,5 - (7,58 - 5,05) \cdot \frac{5000}{1000} = 460,3 \text{ грн}$$

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

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

де $q = 5,05$ кг – маса деталі;

$Q = 7,58$ кг – маса заготовки;

$$K_{\text{ВМ}} = \frac{5,05}{7,58} = 0,66$$

Ескіз заготовки, що отримана ГРО показано на рисунку 1.4.

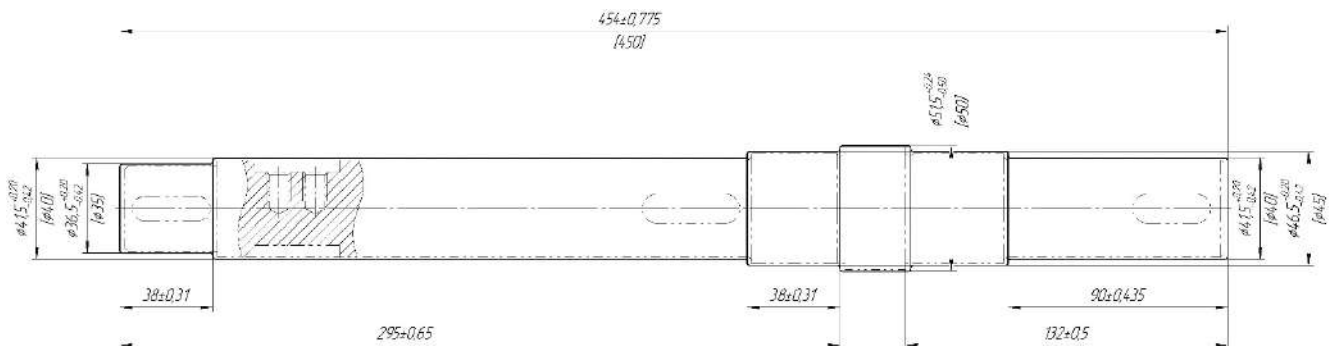


Рисунок 1.4 – Ескіз заготовки, що отримана ГРО

Визначення вагових характеристик показано на рисунку 1.5.

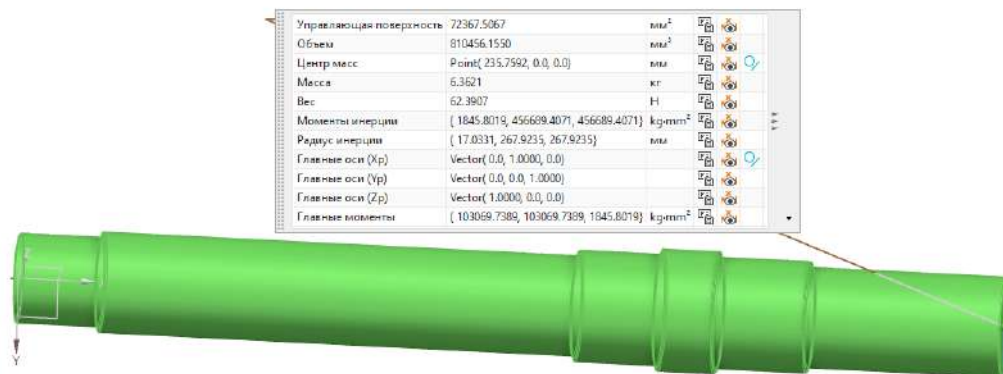


Рисунок 1.5 – Тривимірна модель заготовки, що отримана ГРО

Собівартість виготовлення визначається за формулою:

$$C_2 = \frac{55000}{1000} \cdot 6,36 \cdot 1 \cdot 2,4 \cdot 1 \cdot 0,5 - (6,36 - 5,05) \cdot \frac{5000}{1000} = 413,21 \text{ грн}$$

де $K_B=1$; $K_M=2,5$; $K_P=0,5$; $K_T=1$; $C_B=55000$ грн/т; $q=6,36$ кг; $Q=5,05$ кг;

$S_{вдх}=5000$ грн/т.

Визначимо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{BM} = \frac{5,05}{6,36} = 0,79$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 1.4.

Приведені витрати на одну заготовку складають: в першому варіанті $C_1=460,3$ грн; в другому варіанті $C_2= 413,21$ грн; тобто маємо $C_1 > C_2$; $K_{BM1} < K_{BM2}$

Таблиця 1.4 - Порівняльні показники отримання заготовок двома методами

Показники	Позначення	Одиниці вим.	Варіанти	
			Прокат	ГРО
Маса деталі	q	кг	5,05	5,05
Маса заготовки	Q	кг	7,58	6,36
Коефіцієнт використання матеріала	η	—	0,66	0,79
Базова вартість 1т заготовок	B_B	грн.	52000	55000
Коефіцієнти	K_B	-	1	1
	K_M	-	2,4	2,4
	K_P	-	0,5	0,5
	K_T	-	1	1
Вартість 1т стружки	$B_{вдх.}$	грн.	5000	5000
Вартість заготовки	C	грн.	460,3	413,21

Визначимо середньорічний економічний ефект:

$$E = (460,3 - 413,21) \cdot 5000 = 235450 \text{ грн.}$$

Визначимо річну економію матеріалу:

$$M = \frac{5,05 \times (0,79 - 0,66)}{0,79 \times 0,66} \times 5000 = 6295 \text{ кг}$$

На основі проведеного порівняльного аналізу та техніко-економічних розрахунків встановлено, що найбільш раціональним методом отримання заготовки для валу коробки змінних передач масою 5,05 кг при річній програмі 5000 штук є гаряче радіальне обтиснення (ротаційне кування). Незважаючи на вищу вартість технологічного оснащення та необхідність використання спеціалізованого кувального обладнання порівняно зі стандартним прокатом, даний метод забезпечує значну економію матеріалу за рахунок наближення форми заготовки до геометрії готового виробу. Коефіцієнт використання металу при застосуванні ротаційного кування зростає на 13 %, що в масштабах серійного виробництва призводить до суттєвого зниження матеріальних витрат. Скорочення обсягів механічної обробки на токарних операціях дозволяє зменшити верстатомісткість процесу та витрати на різальний інструмент. Крім того, покращення структури металу в результаті пластичної деформації підвищує втомну міцність валу коробки змінних передач, що повністю відповідає вимогам до відповідальних деталей трансмісій. Таким чином, метод гарячого радіального обтиснення є економічно доцільним та технічно пріоритетним рішенням.

1.4 Проєктування технологічного маршруту виготовлення деталі «Вал коробки змінних передач»

1.4.1 Вибір технологічних баз

Вибір технологічних баз є одним із найважливіших етапів проєктування технологічного процесу механічної обробки, оскільки від нього безпосередньо залежить точність виготовлення деталі, правильність взаємного розташування її поверхонь, а також економічність виробництва. Розробляючи маршрут для виготовлення представленого на кресленні ступінчастого валу коробки змінних

передач довжиною 450 мм, необхідно врахувати специфіку вихідної заготовки, отриманої методом гарячого радіального обтиснення (ГРО). Цей метод забезпечує високу наближеність форми заготовки до готової деталі з відносно невеликими та рівномірними припусками (наприклад, $\varnothing 41,5$ мм для кінцевого $\varnothing 40$ мм), а також прийнятну вихідну шорсткість $Ra\ 10,0$. Крім того, робоче креслення містить пряму вказівку виконати центрувальні отвори з обох боків деталі, що однозначно визначає стратегію вибору головних чистових баз.

На першій, фрезерно-центрувальній операції головним завданням є підготовка цих чистових баз, а саме підрізання торців і зацентровування. Оскільки оброблених поверхонь ще немає, базування здійснюється по чорнових базах у призмах. Враховуючи достатньо точну геометричну форму заготовки після ГРО, як радіальну центрувальну чорнову базу доцільно обрати одну з найдовших і найстабільніших циліндричних поверхонь, наприклад, шийку $\varnothing 46,5$ мм або центральний борт $\varnothing 51,5$ мм. Для правильного поздовжнього позиціонування та рівномірного розподілу припуску по довжині (454 мм заготовки проти 450 мм готової деталі) як осьову чорнову базу слід використати один із перехідних уступів. Після обробки торців та створення центрових отворів саме вони стають головними технологічними та вимірювальними базами для більшості наступних операцій. Згідно з принципом єдності баз, встановлення валу коробки змінних передач в центрах верстатів (із застосуванням різноманітних патронів) для виконання точіння, а згодом і шліфування, є класичним і найбільш раціональним рішенням. Жорстке кріплення патрону між центрами зменшує прогини та вібрації довгого валу коробки змінних передач, гарантує максимально можливу співвісність усіх циліндричних ступенів ($\varnothing 35$, $\varnothing 40$, $\varnothing 45$, $\varnothing 50$) відносно єдиної осі обертання та дозволяє стабільно витримувати жорсткі розмірні допуски разом із заданою шорсткістю $Ra\ 1,25$ на відповідальних посадкових шийках. Однак, деталь має також конструктивні елементи, що не є тілами обертання (шпонкові пази та радіальні глухі отвори), для виконання яких деталей потрібно жорстко зафіксувати від провертання, тому схему базування необхідно змінити.

На фрезерних та свердлильних операціях застосовується принцип суміщення баз: як подвійну напрямну базу використовують вже остаточно оброблені на токарних чи шліфувальних операціях точні циліндричні шийки, встановлюючи їх у призми; осью базою слугує готовий торець, від якого задані лінійні розміри розташування пазів, а для правильної кутової орієнтації наступних елементів використовують додатковий елемент або застосовують ділильну головку з фіксацією в тих самих центрах. Такий комплексний підхід, що передбачає логічний перехід від чорнових баз до єдиної бази (центрових отворів) із наступним використанням точних шийок для допоміжних операцій, повною мірою враховує вихідну якість заготовки ГРО та гарантує надійне виконання всіх технічних вимог креслення.

1.4.2 Проєктування маршруту обробки поверхонь

Проєктування маршруту обробки окремих поверхонь (МОП) являє собою один із найважливіших аналітичних етапів розробки технологічного процесу, який визначає стратегію перетворення вихідної заготовки на готову деталь. Головна складність механічної обробки полягає в тому, що досягти високої точності розмірів та заданої якості поверхні за один робочий хід практично неможливо. Видалення всього припуску одразу призводить до значних пружних деформацій системи «верстат-пристрій-інструмент-деталь», інтенсивного тепловиділення та перенесення похибок форми заготовки на готову деталь (явище так званого технологічної спадковості). Тому виникає об'єктивна необхідність у розчленуванні процесу формоутворення на окремі взаємопов'язані стадії: чорнові, напівчистові, чистові та фінішні.

Розробка МОП базується на суворому математичному та технологічному обґрунтуванні. В основі алгоритму лежить визначення ступеня уточнення – комплексного показника, який демонструє, у скільки разів необхідно зменшити

похибку розміру (допуск) та параметр мікрогеометрії (шорсткість) при переході від початкового стану заготовки до фінальних вимог робочого креслення. Цей етап починається з порівняльного аналізу вихідних даних: параметрів обраного виду заготовки та відповідних технічних вимог до конкретної поверхні деталі.

Шляхом обчислення загального показника уточнення за точністю та шорсткістю, технолог розраховує теоретично необхідну кількість технологічних переходів. Далі відбувається раціональний розподіл загального перепаду квалітетів між знайденою кількістю етапів обробки. Для кожного проміжного переходу за допомогою нормативно-довідкової бази встановлюються власні економічно досяжні допуски та показники якості поверхні, що гарантує поступове наближення до заданих параметрів.

Результатом проектування МОП є чітко структурований план, який не лише визначає еволюцію лезової чи абразивної обробки, але й слугує базисом для раціональної інтеграції термічних операцій у загальний цикл. Складений маршрут виступає фундаментом для подальшого визначення міжопераційних припусків, вибору металорізального обладнання та конструювання технологічних операцій.

Аналітично розрахуємо МОП на зовнішню діаметральну та лінійні поверхні.

Для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 40h7$ шорсткість заготовки $R_a = 10$ мкм, допуск $Td_3 = 0,62$ мм, шорсткість деталі $R_a = 1,25$ мкм, допуск $Td = 0,025$ мм.

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

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d}; \quad (1.4)$$

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

$$\varepsilon_d = \frac{0,62}{0,025} = 24,8.$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{Ra_3}{Ra_0}; \quad (1.5)$$

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

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{10}{1,25} = 8.$$

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

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

$$k = 2 \cdot \lg 24,8 = 2,79.$$

Приймаємо $k = 3$.

Різниця квалітетів точності та їх розподіл $IT = IT_{13} - IT_7 = 6 = 3 + 2 + 1$.

Встановлюємо послідовність показників точності: $IT_{13} - IT_{10} - IT_8 - IT_7$.

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]:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{0,62}{0,1} = 6,2;$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{10}{5} = 2.$$

Для інших переходів уточнення розраховується так само.

Перевірка: $\varepsilon_{Td} = \sum_{i=2}^k \varepsilon_i = 6,2 \cdot 1,39 \cdot 2,88 = 24,8$

Перевірка: $\varepsilon_{Ra} = \sum_{i=2}^k \varepsilon_i = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 1.5.

Для поверхні розміром 450×10 шорсткість заготовки $R_a = 10$ мкм, [4], допуск $Td_3 = 1,55$ мм, шорсткість деталі $R_a = 2,5$ мкм, допуск $Td = 0,25$ мм.

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

$$\varepsilon_d = \frac{1,55}{0,25} = 6,2;$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{10}{2,5} = 4.$$

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

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

Приймаємо $k = 2$.

Різниця квалітетів точності та їх розподіл $IT = IT13 - IT10 = 3 = 2 + 1$.

Встановлюємо послідовність показників точності: $IT13 - IT11 - IT10$. 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 (1.4), (1.5) [4]:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{1,55}{0,4} = 3,875;$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{10}{5} = 2.$$

Для інших переходів уточнення розраховується так само.

Перевірка: $\varepsilon_{Td} = \sum_{i=2}^k \varepsilon_i = 3,88 \cdot 1,6 = 6,2$

Перевірка: $\varepsilon_{Ra} = \sum_{i=2}^k \varepsilon_i = 2 \cdot 2 = 4$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 1.5.

У результаті виконання розрахунків та аналізу нормативних даних було успішно спроектовано оптимальні маршрути обробки для заданих поверхонь деталі. Визначена кількість та послідовність технологічних переходів забезпечує поступове, технологічно безпечне досягнення необхідних квалітетів точності та параметрів шорсткості. Запропонована структура маршруту є економічно обґрунтованою, що створює надійне підґрунтя для розрахунку міжопераційних розмірів і формування робочих операцій.

1.4.3 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

Розробка технологічного маршруту є обов'язковим етапом проектування робочого технологічного процесу механічної обробки. Відповідно до робочого креслення, технологічний процес виготовлення валу коробки змінних передач складається з різноманітних операцій, серед них токарні, свердлильні операції, а також фрезерні, шліфувальні, заготівельні, слюсарні та контрольні. Послідовність цих операцій жорстко регламентується технічними вимогами до деталі, конфігурацією поверхонь, системою проставлення розмірів та характеристиками вихідної заготовки.

Оскільки як вихідна заготовка використовується поковка, отримана методом гарячого радіального обтиснення (ГРО), яка характеризується високим коефіцієнтом використання матеріалу та малими припусками, першою механічною операцією призначається фрезерно-центрувальна. Її технічне призначення – підрізання торців у загальний розмір та виконання центрувальних отворів з обох боків деталі (згідно з п.3 технічних вимог креслення). Це створює надійні та єдині головні чистові технологічні бази для всіх наступних етапів формоутворення.

Наступним етапом є токарна обробка, яка виконується за кілька переходів. З метою забезпечення вимог співвідношення ступенів валу коробки

змінних передач, базування здійснюється виключно в центрових отворах із застосуванням повідкового патрона. Маршрут передбачає чорнове точіння для зняття поверхневого шару металу та напівчистове/чистове точіння. На цьому етапі формуються остаточні розміри циліндричних шийок ($\varnothing 35$, $\varnothing 40$, $\varnothing 45$, $\varnothing 50$), виконуються технологічні канавки, фаски та нарізається зовнішня різьба.

Після формування поверхонь обертання виконується обробка асиметричних конструктивних елементів: шпонкових пазів та радіальних глухих отворів. Для виконання фрезерних та свердлильних операцій схема базування обов'язково змінюється. Деталь встановлюється на призми по точно оброблених циліндричних шийках (напрямна база), а кутова орієнтація забезпечується відносно першого відфрезерованого елемента. Така схема базування гарантує виконання допусків на симетрію та паралельність конструктивних елементів відносно центральної осі валу коробки змінних передач.

Після лезової обробки маршрут передбачає виконання слюсарної операції для зачищення задирок у місцях перетину поверхонь (шпонкові пази, отвори) та притуплення гострих кромek (виконання радіусів $R0,5$ мм). Оскільки посадочні шийки валу коробки змінних передач мають жорсткі вимоги до розмірної точності (допуски від -0.025 до -0.062) та шорсткості ($Ra 1,25$), фінішною операцією формоутворення призначається кругле шліфування. Воно виконується з базуванням у центрових отворах, що повністю виключає похибку перевстановлення.

Завершується технологічний маршрут операцією технічного контролю. На цій стадії за допомогою універсального та спеціального вимірювального інструменту перевіряється відповідність геометричних розмірів, відхилень форми, взаємного розташування поверхонь та параметрів шорсткості вимогам робочого креслення.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Проектування технологічного процесу механічної обробки заготовок нерозривно пов'язане з необхідністю обґрунтованого визначення величини шарів металу, що видаляються з поверхонь на кожному технологічному переході. Величина припуску визначає не лише металомісткість виробу, а й кількість необхідних операцій, вибір обладнання, різального інструменту та, як наслідок, загальну собівартість виготовлення деталі. В умовах сучасного машинобудування припуск розглядається, як необхідна умова усунення похибок, що виникли на попередніх етапах обробки або при отриманні заготовки.

Теоретичною основою розрахунку припусків є поняття технологічної спадковості. Кожен метод обробки залишає після себе певний стан поверхневого шару, який характеризується висотою мікронерівностей, глибиною дефектного шару, а також відхиленням від заданої геометричної форми. Проектування маршруту обробки кожної поверхні спрямоване на послідовне виправлення цих параметрів. Для забезпечення високої точності та мінімізації витрат металу в даному проєкті застосовується диференційований підхід до визначення міжопераційних припусків.

Основним методом, що забезпечує найвищу точність проектування, є розрахунково-аналітичний метод, розроблений професором В.М. Кованом. Цей метод базується на аналізі факторів, що впливають на формування похибок у конкретних умовах виконання операції. Він враховує стан поверхні після попереднього переходу, просторові відхилення та похибку встановлення на поточному переході. Розрахунково-аналітичний метод дозволяє визначити мінімально необхідний припуск, який гарантує видалення всіх дефектів та отримання якісної поверхні при мінімальних витратах металу.

Поряд із аналітичним методом у практиці технологічного проектування широко використовується табличний метод. Він базується на використанні

нормативних даних, розроблених на основі узагальнення великого обсягу виробничого досвіду для типових умов обробки. Табличний метод є менш трудомістким і доцільним для поверхонь із нижчими вимогами до точності, де потенційна економія металу від аналітичного розрахунку не перекидає витрати часу на його проведення.

Розрахуємо припуск розрахунково-аналітичним методом на зовнішню діаметральну поверхню $\varnothing 40h7(-0.025)$.

Для заготовки нормативні значення $Rz=40$ мкм и $h=80$ мкм приймаємо в залежності від маси заготовки. Просторові відхилення – це сума значень похибки розміру від зміщення $\rho_{см}$ та короблення $\rho_{кор}$. Для штамповки нормальної точності (серійне виробництво) [5]: $\rho_{см}=400$ мкм, $\rho_{кор}=\Delta_k \cdot l=0,75 \cdot 454=340,5$ мкм=0,34 мм. Сумарне значення просторових відхилень визначаємо за формулою (1.7) [6]:

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

$$\rho_1 = \sqrt{400^2 + 340^2} = 524,97 \text{ мкм} = 0,525 \text{ мм.}$$

Отримані значення заносимо в таблицю 1.6.

Для точіння чорнового нормативні значення Rz , h [5]: $Rz_2=20$ мкм, $h_2=40$ мкм, $\rho_2=k_y \cdot \rho_1=0,06 \cdot 525=31,5$ мкм=0,032 мм, $k=0,06$ – коефіцієнт уточнення. Похибки установки заготовки визначаємо за формулою (1.8) [6]:

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

де $Td_{заг}=0,62$ мм – допуск розміру заготовки.

$$\varepsilon_2 = 0,25 \sqrt{0,62^2 + 1} = 0,294 \text{ мм} = 294 \text{ мкм.}$$

Для точіння напівчистового нормативні значення Rz , h , прийmemo [5]: $Rz_3=10$ мкм, $h_3=20$ мкм, $\rho_3=1,57$ мкм, $\varepsilon_3=17,64$ мкм.

Для шліфування нормативні значення Rz , h , прийmemo [5]: $Rz_4=5$ мкм, $h_4=10$ мкм, $\rho_4=0$ мкм, $\varepsilon_4=0,88$ мкм.

Мінімальний припуск визначаємо за формулою (1.9) [6]:

$$2Z_{imin} = 2 \cdot \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right); \quad (1.9)$$

де Rz_{i-1} – шорсткість за i -тим переходом;

h_{i-1} – глибина дефектного слою за i -тим переходом;

ρ_{i-1} – сумарне значення просторових відхилень за i -тим переходом;

ε_i – похибка встановлення заготовки за i -тим переходом.

Для точіння чорнового:

$$2Z_{1min} = 2 \left[40 + 80 + \sqrt{(525^2 + 294^2)} \right] = 1443,43 \text{ мкм} = 1,443 \text{ мм}$$

Для точіння напівчистового:

$$2Z_{2min} = 2 \left[20 + 40 + \sqrt{(31,5^2 + 17,64^2)} \right] = 312,21 \text{ мкм} = 0,312 \text{ мм}$$

Для шліфування чорнового:

$$2Z_{3min} = 2 \left[10 + 20 + \sqrt{(1,57^2 + 0,88^2)} \right] = 63,599 \text{ мкм} = 0,064 \text{ мм}$$

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

$$d_5^{\min} = d_5^{\text{НОМ}} + \text{eid}_5 \quad (1.10)$$

$$d_4^{\min} = 40 + (-0,025) = 39,975 \text{ мм}$$

Далі розрахункові мінімальні розміри знаходимо за формулою (1.11) згідно [6]:

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

$$d_3^{\min} = 39,975 + 0,064 = 40,039 \text{ мм};$$

$$d_2^{\min} = 40,039 + 0,312 = 40,351 \text{ мм};$$

$$d_1^{\min} = 40,351 + 1,443 = 41,794 \text{ мм}.$$

Розраховуємо максимальні розміри поверхні для переходів за формулою (1.12) згідно [6]:

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

$$d_4^{\max} = 39,975 + 0,025 = 40 \text{ мм};$$

$$d_3^{\max} = 40,039 + 0,072 = 40,111 \text{ мм};$$

$$d_2^{\max} = 40,351 + 0,1 = 40,451 \text{ мм};$$

$$d_1^{\max} = 41,794 + 0,62 = 42,414 \text{ мм}.$$

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

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

$$2z_2^{\max} = 42,414 - 40,451 = 1,963 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\max} = 40,451 - 40,111 = 0,340 \text{ мм};$$

$$2z_4^{\max} = 40,111 - 40 = 0,111 \text{ мм}.$$

Перевіряємо розрахунки, використовуючи формулу (1.14) згідно [6]:

$$2Z_0^{\max} - 2Z_0^{\min} = Td_{\text{заг}} + Td_{\text{дет}} \quad (1.14)$$

$$2439 - 1794 = 620 + 25$$

Визначаємо виконавчий розмір заготовки за формулою (1.15) згідно [6]:

$$d_{1\text{ном}} = d_{1\text{min}} + ei_1 \quad (1.15)$$

$$d_{1\text{ном}} = d_{1\text{min}} + ei_1 = 41,794 + 0,42 = 42,21 \text{ мм}$$

Виконуючий розмір заготовки буде дорівнювати: $\varnothing 42,21^{+0,20}_{-0,42}$. Виконуючі розміри за іншими переходами беремо в системі «валу», за номінальний розмір приймається максимальне значення розміру поверхні мінус допуск на обробку як нижнє відхилення, всі данні заносимо в таблицю 1.6.

Таблиця 1.6 – Розрахунок припусків

№ 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}	
Ø47h7	Заготовка	40	800	525	-	-	41,794	0,62	42,414	41,794	-	-	Ø42,21 ^{+0,2} _{-0,42}
	Т/О	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Точ.чорн.	20	40	31,5	294	1443	40,351	0,1	40,451	40,351	1963	1443	Ø40,5 _{-0,1}
	Точ. напів/чист	10	20	1,57	17,64	312	40,039	0,072	40,111	40,039	340	312	Ø40,1 _{-0,072}
	Шліф.	5	10	0	0,88	64	39,975	0,025	40	39,975	111	64	Ø40 _{-0,025}

У результаті виконання даного розділу було проведено комплексне визначення міжопераційних припусків та технологічних розмірів для ключових поверхонь деталі. Застосування розрахунково-аналітичного методу для центрального отвору дозволило встановити науково обґрунтовані значення мінімальних припусків. Табличний метод, підтвердив свою ефективність для стандартизованих елементів конструкції. Сформована система технологічних розмірів та допусків на кожному етапі обробки створює необхідну базу для наступного розрахунку режимів різання та

нормування операцій. Розраховані припуски гарантують повне видалення дефектних шарів металу та отримання готового виробу у повній відповідності до вимог конструкторської документації за умови мінімальних витрат матеріалу.

1.6 Розрахунок режимів різання

В умовах сучасного машинобудівного виробництва підвищення ефективності механічної обробки деталей є одним із пріоритетних завдань технологічного проєктування. Використання високопродуктивного обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК) вимагає особливо ретельного підходу до вибору та розрахунку режимів різання. Оптимізація цих параметрів дозволяє не лише забезпечити необхідну якість оброблених поверхонь та точність розмірів, але й підвищити продуктивність процесу, раціонально використати ресурс металорізального інструменту та знизити загальну собівартість виготовлення продукції.

Деталі класу «вал» є одними з найбільш розповсюджених і відповідальних елементів у конструкціях машин та механізмів. Під час експлуатації вони передають крутні моменти, сприймають згинальні навантаження та слугують базами для встановлення інших деталей. Це зумовлює високі вимоги до точності їх геометричних параметрів, відхилень форми, взаємного розташування поверхонь та фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Забезпечення цих вимог безпосередньо залежить від обґрунтовано призначених режимів на кожному етапі обробки.

У даному розділі кваліфікаційної роботи наведено детальний розрахунок режимів різання для основних операцій механічної обробки заданого валу коробки змінних передач. Проєктування технологічного процесу передбачає послідовне формування профілю деталі із застосуванням

сучасних методів формоутворення. Зокрема, на етапі токарної операції з ЧПК виконується основне видалення припуску, формування ступінчастого профілю валу коробки змінних передач, обробка торців та забезпечення попередньої точності. Застосування верстатів з ЧПК дозволяє вести обробку за складними контурами з використанням змінного твердосплавного інструменту, що вимагає точного розрахунку швидкості різання та хвилинної подачі для оптимізації стружкодроблення та уникнення вібрацій. Наступним етапом є фрезерна операція з ЧПК, яка призначена для обробки специфічних конструктивних елементів, таких як шпонкові пази, лиски або шліци. Розрахунок режимів для цієї операції обов'язково враховує характер переривчастого різання, кінематику фрезерування та динамічні навантаження на кінцевий інструмент. Фінішним етапом механічної обробки виступає круглошліфувальна операція, що забезпечує остаточну точність і задану мікрогеометрію відповідальних посадкових шийок валу коробки змінних передач. Для цього етапу розраховуються швидкості обертання деталі та абразивного круга, а також поперечна і поздовжня подачі.

Головною метою всіх наведених розрахунків є визначення раціональних значень глибини різання, подачі та швидкості для кожного технологічного переходу. Розрахунки базуються на сучасних нормативно-довідкових даних, емпіричних формулах та паспортах обладнання та оснастки. Отримані результати стануть базою для подальшого технічного нормування часу, розробки керуючих програм у САМ-системах та загальної оцінки ефективності розробленого технологічного процесу.

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

Перехід 1 установочний не механічний

Перехід 2 Точити поверхні 1-12 за програмою

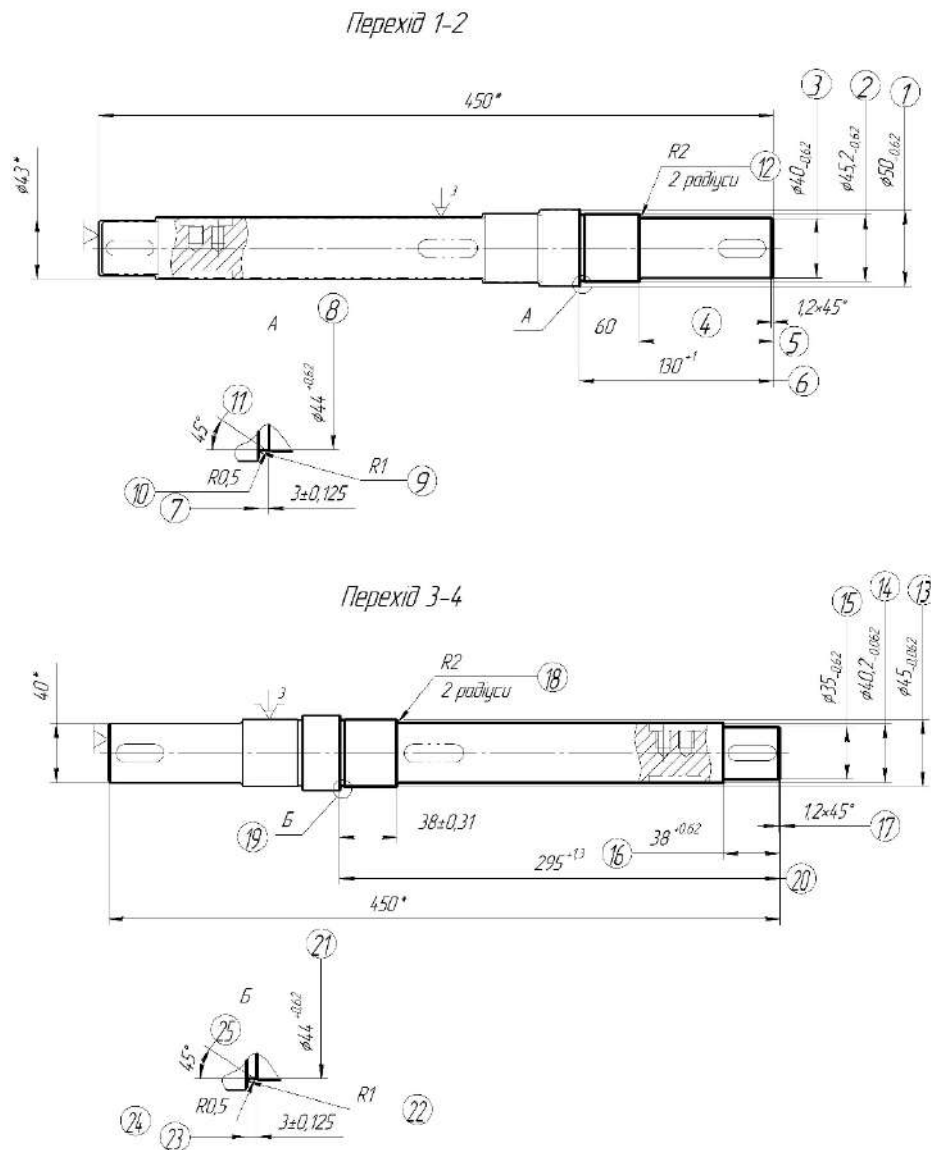


Рисунок 1.6 – Операційний ескіз на операцію токарної обробки з ЧПК

Точити контур деталі начисто витримуючи розміри 1-12 за програмою. Параметри ріжучих інструментів надаються в таблиці 1.7.

Глибина різання t , мм розраховується за формулою (1.16) згідно [7]:

$$t = \frac{h}{i} \quad (1.16)$$

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

i - кількість проходів інструменту, $i = 1$.

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

Призначається подача S_o , згідно [7]: $S_o = 0,09 \text{ мм/об.}$

Швидкість різання V_i , визначається згідно [7]: $V_i = 195 \text{ м/хв.}$

Частота обертання шпинделя n , хв^{-1} визначається за формулою (1.17) згідно [7]:

$$n = \frac{1000 \cdot V_i}{\pi \cdot D} \quad (1.17)$$

де D – діаметр оброблюємої поверхні, мм;

$$n = \frac{1000 \cdot 195}{3,14 \cdot 50} = 1242 \text{хв}^{-1}$$

Дійсна частота обертання n_d , приймається за паспортом верстату $n_o = 1200 \text{ хв}^{-1}$.

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв, розраховується за формулою (1.18) згідно [7]:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_d}{1000} \quad (1.18)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 1200}{1000} = 188,4 \text{ м/хв}$$

Хвилинна подача $S_{хв}$, мм/хв, розраховується за формулою (1.19) згідно [7]:

$$S_{хв} = S_o \cdot n_d \quad (1.19)$$

$$S_{хв} = 0,09 \cdot 1200 = 108 \text{ мм/хв}$$

Приймається дійсне значення хвилинної подачі $S_{\text{хв,д}}$, мм/хв, згідно [7]
 $S_{\text{хв,д}} = 108 \text{ мм/хв.}$

Потужність різання $N_{\text{різ}}$, кВт розраховується за формулою (1.20) згідно [7]:

$$N_{\text{різ}} = \frac{V_{\text{д}} \cdot t \cdot S_{\text{o}} \cdot k_{\text{с}}}{60 \cdot 1000} \quad (1.20)$$

де $k_{\text{с}}$ – сила різання, Н/мм². Вибирається $k_{\text{с}} = 1600 \text{ Н/мм}^2$. згідно [7];

$$N_{\text{різ}} = \frac{188,4 \cdot 0,4 \cdot 0,09 \cdot 1600}{60 \cdot 1000} = 0,18 \text{ кВт.}$$

Основний машинний час T_{o} , хв розраховується за формулою (1.21) згідно [7]:

$$T_{\text{o}} = \frac{l + \gamma + \Delta}{S_{\text{хв}}} \cdot i \quad (1.21)$$

де l – довжина різання, $l_{\text{різ}} = 157 \text{ мм}$;

Δ – величина перебігу інструменту, $\Delta = 2 \text{ мм}$ згідно [7];

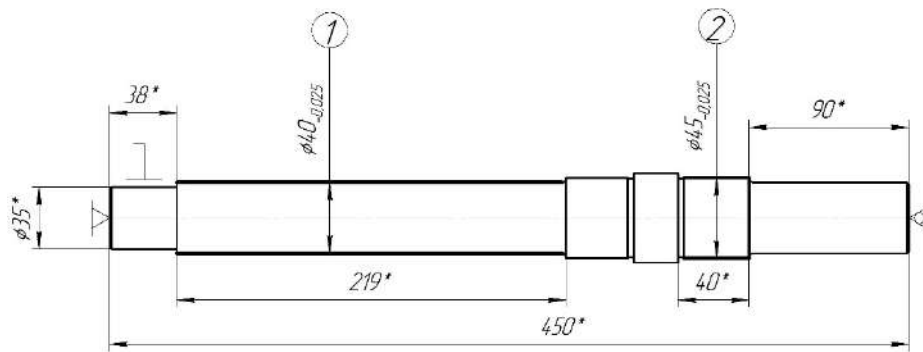
γ – величина врізання інструменту, $\gamma = 0,3 \text{ мм}$ згідно [7];

$$T_{\text{o}} = \frac{157 + 0,3 + 2}{108} \cdot 1 = 1,47 \text{ хв.}$$

Перехід 3 Перевстановити деталь.

На перехід 4 режими різання розраховуються аналогічно та надаються в зведеній таблиці режимів різання. На інші операції режими різання розраховуються табличним методом.

030 Круглошліфувальна. Перехід 1 Установочний. Перехід 2: Шліфувати шийки послідовно витримуючи розміри 1,2. Операційний ескіз показано на рисунку 1.7.



* розміри для довідок

Рисунок 1.7 - Операційний ескіз на круглошліфувальну операцію

Вибирається група обробляємості шліфуванням матеріалу згідно [7].
Група обробляємості 1.

Частота обертання круга $n_{кр}$ вибирається $n_{кр} = 2000$ об/хв згідно [7]

Перевірка на розривну швидкість круга, $V_{кр}$, м/с, виконується за формулою (1.22) згідно [7]:

$$V_{кр} = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n_{кр}}{1000 \cdot 60} \leq V_{роз}; \quad (1.22)$$

де $V_{роз} = 35$ м/с [7]

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

Умова виконується

Частота обертання деталі вибирається згідно нормативних даних [7] $n = 59$ хв⁻¹.

Дійсна частота обертання коригується згідно нормативних даних [7] $n_{\partial} = 60$ хв⁻¹.

Радіальна подача круга S_t , мм/об, призначається згідно нормативних даних [7] $S_t = 0,006$ мм/об.

Хвилинна подача $S_{хв}$, мм/хв, призначається згідно нормативних даних [7] $S_{хв} = 1970$ мм/хв.

Дійсна радіальна подача St_d , мм/об, коригується згідно нормативних даних [7] $S_{t\partial} = 0,006$ мм/об.

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

Дійсна швидкість деталі $V_{д.д}$, м/хв, розраховується за формулою (1.18) згідно [7]:

$$V_{д.д} = \frac{3,14 \cdot 45,2 \cdot 60}{1000} = 8,51 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Потужність різання N_p , кВт, розраховується за формулою (1.23) згідно [7]:

$$N_p = N_{\text{таб}} \cdot K_N; \quad (1.23)$$

де $N_{\text{таб}} = 1,3$ – табличне значення, вибирається згідно нормативних даних [7];

$K_N = 0,9$ – поправочний коефіцієнт, вибирається згідно нормативних даних [7];

$$N_p = 1,3 \cdot 0,9 = 1,17 \text{ кВт}$$

Основний машинний час T_o , хв, розраховується за формулою (1.24) згідно [7]:

$$T_o = \frac{L_{p.x} \cdot h}{S_{хв.д} \cdot S_{т.д}} \cdot i \cdot K \quad (1.24)$$

де h – припуск на сторону, мм;

K – коефіцієнт точності;

i – число переходів;

$K=1,1$;

$L_{p.x}$ – довжина робочого ходу, розраховується за формулою (1.25) згідно [7]:

$$L_{p.x} = l + \frac{B}{2} \quad (1.25)$$

де l – довжина обробки, $l = 40$ мм;

B – ширина круга, $B=40$ мм.

$$L_{p.x} = 40 + \frac{40}{2} = 60 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{60 \cdot 0,1}{1970 \cdot 0,006} \cdot 1 \cdot 1,1 = 0,55 \text{ хв}$$

035 Фрезерна з ЧПК. Перехід 1 Установочний. Перехід 2: Фрезерувати шпонковий паз попередньо та начисто витримуючи розміри 1-4 по програмі. Операційний ескіз показано на рисунку 1.8.

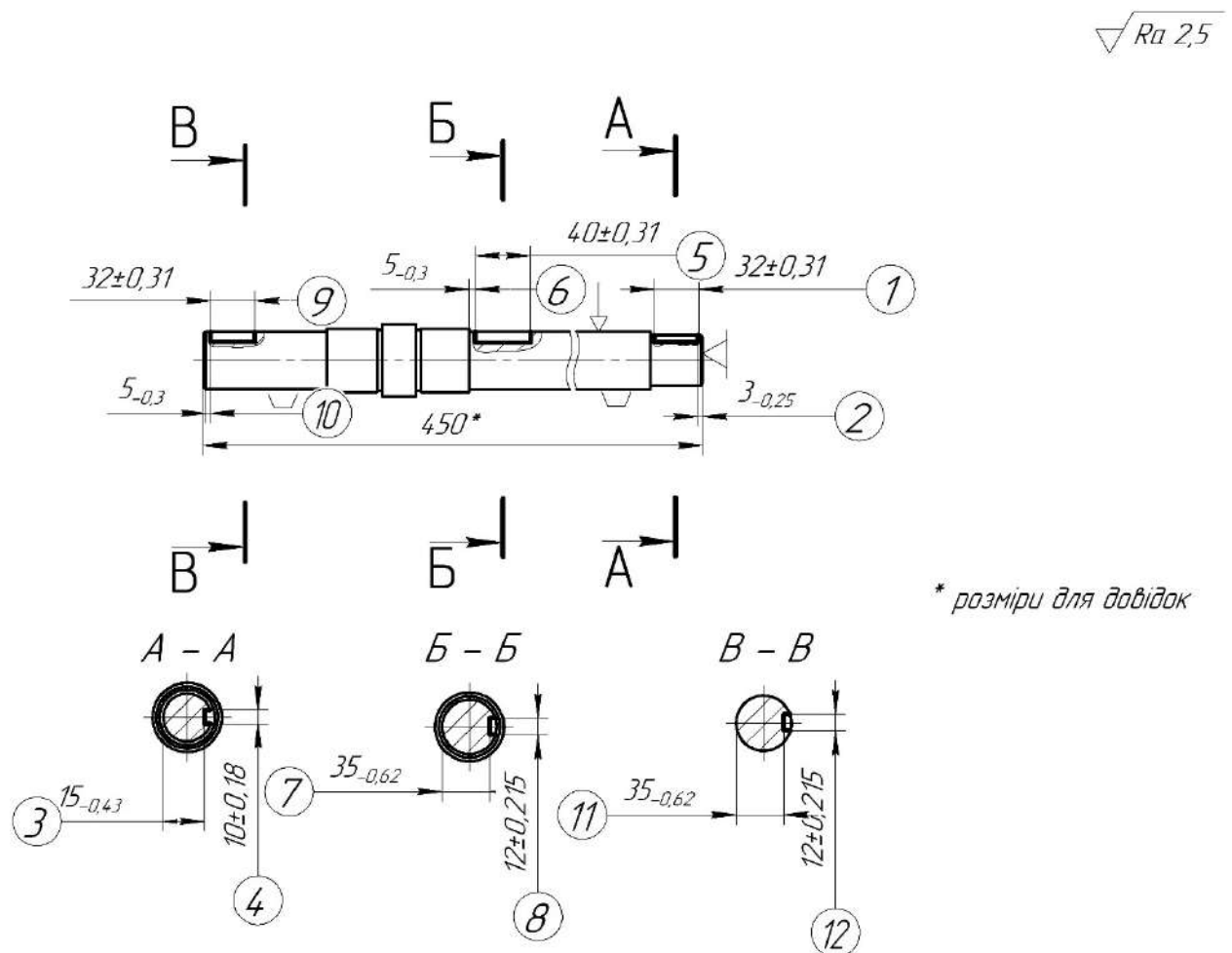


Рисунок 1.8 – Операційний ескіз фрезерної операції

Глибина різання t , мм розраховується за формулою (1.16):

$$t = \frac{5}{3} = 1,6 \text{ мм}$$

Подача S_z , мм/зуб, розраховується за формулою (1.26) згідно [8]:

$$S_z = S_{z.т} \cdot K_{sz} \quad (1.26)$$

де S_z – табличне значення, для фрезерування шпонковою фрезою, діаметр фрези 10 мм, $S_z = 0,26$ мм/зуб згідно нормативних даних [8];

$K_{sz} = 1 \cdot 0,9 = 0,9$ – поправочний коефіцієнт для твердості 250НВ, відношення виліту фрези до діаметра менше 10 згідно нормативних даних [8].

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

Швидкість різання V_i , м/хв, розраховується за формулою (1.27) згідно нормативних даних [8]:

$$V_i = V_{таб} \cdot K_v; \quad (1.27)$$

де V – табличне значення, для фрезерування згідно нормативних даних [8],

$$V_{табл} = 18 \text{ м/хв};$$

$K_v = 0,72$ – Поправочний коефіцієнт згідно нормативних даних [8].

$$V_i = 18 \cdot 0,72 = 12,96 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя n , об/хв, розраховується за формулою (1.17) згідно [8]:

$$n = \frac{1000 \cdot 12,96}{3,14 \cdot 10} = 412 \text{ об/хв.}$$

Дійсна частота обертання n_d , об/хв коригується згідно нормативних даних [8] $n_o = 400$ об/хв.

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв розраховується за формулою (1.18) [8]:

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 400}{1000} = 12,56 \text{ м/хв}$$

Хвилинна подача $S_{хв.}$, мм/хв, розраховується за формулою (1.28) згідно [8]:

$$S_{хв} = S_z \cdot n_d \cdot z; \quad (1.28)$$

де $z=2$ – кількість зубів фрези згідно нормативних даних [8].

$$S_{хв} = 0,23 \cdot 400 \cdot 2 = 184 \text{ мм/хв.}$$

Дійсна хвилинна подача $S_{хв.д}$, мм/хв, коригується згідно нормативних даних [8]: $S_{хв.д} = 184$ мм/хв.

Потужність різання $N_{різ}$, кВт, розраховується за формулою (1.20), де $N_{табл} = 0,8$ – для фрезерування, діаметр фрези 10 мм, глибина фрезерування до 2 мм, $z=2$ згідно нормативних даних [8], $K_N=1,0$.

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

Основний машинний час T_o , хв розраховується за формулою (1.24) згідно нормативних даних [8]: $y=1,3$, $l_{різ} = 32$

$$T_o = \frac{32 + 1,3}{184} \cdot 3 = 0,54 \text{ хв.}$$

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

Режими різання на всі операції приведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Зведена таблиця режимів різання

Операція	Назва операції	Перехід	t, мм	So, мм/хв	n, хв ⁻¹	V, м/хв	L.p.x, мм	i	T _о , хв
015	Фрезерно-центрувальна	2	2	96 мм/хв	400	110	60	1	0,66
		3	0,5	144 мм/хв	600	150	60	1	0,4
		4	2,5	0,18	2500	39,25	15,05	1	0,03
020	Токарна з ЧПК	2	0,6	250 мм/хв	2300	375,5	373,7	8	3,86
		3	1,55	250 мм/хв	2300	375,5	589,2	11	6,39
025	Токарна з ЧПК	2	0,4	108 мм/хв	1200	188,4	159,3	1	1,47
		3	0,4	108 мм/хв	1200	171	298	1	2,7
030	Кругло-шліфувальна	2	0,006	1970/0,006	2000/60	8,51	60	1	0,55
		3	0,006	1970/0,006	2000/60	8,51	239	1	2,22
035	Фрезерна з ЧПК	2	1,6	184 мм/хв	400	12,56	33,3	3	0,54
		3	1,6	184 мм/хв	400	12,56	41,3	3	0,67
		4	1,6	184 мм/хв	400	12,56	33,3	3	0,54
040	Фрезерна з ЧПК	2	1,6	184 мм/хв	400	12,56	33,3	3	0,54
		3	1,6	184 мм/хв	400	12,56	41,3	3	0,67
045	Фрезерна з ЧПК	1	1,6	184 мм/хв	400	12,56	33,3	3	0,54

1.7 Технічне нормування операцій

Важливим етапом сучасного технологічного проектування процесів механічної обробки є технічне нормування, яке полягає у визначенні обґрунтованих норм часу на виконання кожної технологічної операції. Розрахунок норм часу є базою для організації виробництва, планування завантаження обладнання, визначення необхідної кількості робітників та металорізальних верстатів, а також виступає ключовим фактором для обчислення технологічної собівартості виготовлення деталі. В умовах сучасного машинобудування точне нормування дозволяє оптимізувати виробничий цикл, узгодити роботу різних дільниць та мінімізувати нераціональні витрати робочого часу.

Для типу виробництва, в якому виготовляється досліджуваний вал коробки змінних передач, основним розрахунковим показником є штучно-калькуляційний час. Він складається з підготовчо-заклучного часу, який витрачається на налагодження верстата, ознайомлення з технологічною документацією та встановлення пристроїв для партії деталей, та штучного часу. Штучний час, своєю чергою, об'єднує основний (технологічний) час, протягом якого відбувається безпосередня зміна форми, розмірів та якості поверхні заготовки, і допоміжний час на встановлення та зняття деталі, керування верстатом і вимірювання. Також до нього входить час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця і регламентовані перерви на відпочинок.

Специфіка нормування операцій, що виконуються на обладнанні з числовим програмним керуванням (ЧПК), полягає у значному скороченні допоміжного часу завдяки автоматизації циклів зміни інструменту, швидкого позиціонування та активного контролю. Основний технологічний час для цих операцій розраховується безпосередньо на базі раніше визначених оптимальних режимів різання: швидкості, подачі, глибини та кількості

робочих ходів. У сучасній інженерній практиці для точного визначення та верифікації машинного часу активно застосовуються інструменти автоматизованої підготовки виробництва – САМ-системи рівня Siemens NX. Вони дозволяють симулювати траєкторію руху інструменту з урахуванням кінематики конкретного верстата та генерувати достовірні часові дані. На фінішній круглошліфувальній операції розрахунок часу обов'язково враховує кількість проходів, специфіку виходжування для досягнення заданої шорсткості та періодичну правку абразивного круга.

У даному розділі кваліфікаційної роботи наведено покроковий розрахунок усіх складових норми часу. Зведені результати показано в таблиці.

Нормування операції виконується табличним методом по нормативам часу для серійного виробництва.

У серійному виробництві нормою часу на операцію є штучно-калькуляційний час.

Штучно-калькуляційний час на операцію визначається по формулам (1.30), (1.31) згідно [9]:

$$t_{um-к.} = \frac{t_{nz}}{n} + t_{um.} \quad (1.30)$$

$$t_{um.} = t_o + t_{всн} + t_{обс} + t_n \quad (1.31)$$

де $t_{um.}$ - штучний час, хв;

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

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

t_o – сумарний основний (машинний) час на операцію, хв;

$t_{всн}$ – допоміжний час, хв;

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

t_n – час на особисті потреби, хв.

Технічне нормування на токарну операцію (оп. 025).

Основний сумарний час на операцію $t_o = 4,17$ хв.

Допоміжний час визначаємо за формулою (1.32) згідно [9]:

$$t_{ecn.} = t_{e.y.} + t_{m.e.} \quad (1.32)$$

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

$t_{m.e.} = 0,9$ хв – час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні згідно [9].

$$t_{ecn} = 1,1 + 0,9 = 2,0 \text{ хв}$$

Час роботи верстата дорівнює неповному оперативному часу роботи верстата, визначаємо його за формулою (1.33) згідно [9]:

$$t_{n.y.} = t_o. + t_{m.e.} \quad (1.33)$$

$$t_{n.y.} = 4,24 + 2,0 = 6,24 \text{ хв.}$$

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

$$t_{обс} = 10\% \cdot t_{n.y.} \quad (1.34)$$

$$t_{обс} = 0,1 \cdot 6,24 = 0,62 \text{ хв.}$$

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

$$t_n = 10\% \cdot t_{n.y.} \quad (1.35)$$

$$t_n = 0,1 \cdot 6,24 = 0,62 \text{ хв.}$$

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

$$t_{um.} = 6,24 + 0,62 + 0,62 = 7,48 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію згідно [9] за формулою (1.36):

$$T_{n-3} = T_{n-31} + T_{n-32}; \quad (1.36)$$

$T_{n-31} = 9,4$ хв – час на витрати по обслуговуванню при переналагодженні верстата на нову партію деталей згідно [9];

$T_{n-32} = 23$ хв – час на витрати, що враховують додаткові роботи (отримання програми, інструмента, і здача попереднього) згідно [9];

$$T_{n-3} = 20 + 23 = 32,4 \text{ хв.}$$

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

$$t_{шт.-к.} = \frac{32,4}{60} + 7,48 = 8,02 \text{ хв.}$$

Технічне нормування на круглошлифовальну операцію (оп. 030).

Основний сумарний час на операцію $t_o = 2,77$ хв.

Допоміжний час за формулою (1.32) згідно [9]:

$t_{уст} = t_{сн} = 0,21$ хв – установка на кінцеву розтискну оправку з пневмозатиском згідно [9];

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

t_{mex} – час технічного обслуговування робочого місця $t_{mex} = 0,5$ хв згідно [9].

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

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

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

$$t_{on.} = 2,77 + 1,8 = 4,57 \text{ хв.}$$

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

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

$$t_{обс} = 0,015 \cdot 4,57 = 0,068 \text{ хв}$$

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

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

$$t_{омд} = 0,04 \cdot 4,57 = 0,18 \text{ хв.}$$

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

$$t_{шт.} = 4,57 + 0,068 + 0,18 = 4,87 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію згідно [9]: $t_{nz} = 12 \text{ хв.}$

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

$$t_{шт.-к.} = \frac{25}{60} + 4,87 = 5,28 \text{ хв.}$$

Технічне нормування на фрезерну з ЧПК операцію (оп. 035).

Основний сумарний час на операцію 1,75 хв.

Допоміжний час за формулою (1.32) згідно [9]:

де $t_{"0"} = 0,05 \text{ хв}$ - переміщення інструменту в «0» інструменту згідно [9];

$t_{с.б.} = 0,05 \text{ хв}$ - час пов'язаний зі зміною блоку згідно [9];

$t_{c.б.} = 0,05$ хв - час пов'язаний зі зміною блоку згідно [9];

$t_{в.у.} = 0,5$ хв - час на установку і зняття деталі в патроні з пневматичним затиском згідно [9];

$t_{м.в.} = 0,15$ хв - час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні згідно [9];

$$t_{всп} = 0,05 + 0,05 + 0,5 + 0,15 = 0,75 \text{ хв.}$$

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

$$t_{п.у.} = t_{о.} + t_{м.в.} = 1,75 + 0,75 = 2,5 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця за формулою згідно [9]:

$$t_{обс} = 0,08 \cdot 2,5 = 0,2 \text{ хв}$$

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

$$t_n = 0,08 \cdot 2,5 = 0,2 \text{ хв.}$$

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

$$t_{шт.} = 1,75 + 0,75 + 0,2 + 0,2 = 2,9 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію за формулою (1.36). $T_{п-31} = 22$ хв – час на витрати для усіх верстатів з ЧПК [9]; $T_{п-32} = 14$ хв - час на витрати додаткові роботи, що враховують, згідно [9]:

$$T_{п-3} = 22 + 14 = 36 \text{ хв}$$

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

$$t_{\text{шт.-к.}} = \frac{36}{60} + 2,9 = 3,50 \text{ хв}$$

Данні всіх розрахунків заносимо до таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 Нормування операцій

Операція	Назва операції	T _о , хв	T _{доп} , хв	T _{оп} , хв	T _{дод} , хв	T _{шт} , хв	T _{пз} , хв	T _{шк} , хв
015	Фрезерно-центрувальна	1,09	0,44	1,53	0,13	1,66	25	1,96
020	Токарна з ЧПК	10,25	6,6	16,85	1,51	18,36	45	18,91
025	Токарна з ЧПК	4,17	2,71	6,88	0,61	7,49	43	8,02
030	Кругло-шліфувальна	2,77	1,80	4,57	0,41	4,98	25	5,28
035	Фрезерна з ЧПК	1,75	0,98	2,73	0,24	2,97	43	3,50
040	Фрезерна з ЧПК	1	0,09	1,09	0,071	1,16	-	1,46
045	Фрезерна з ЧПК	1	0,09	1,09	0,071	1,16	-	1,46

1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

Сучасне машинобудівне виробництво неможливо уявити без широкого впровадження систем автоматизованого проєктування та підготовки виробництва (CAD/CAM/CAE), які забезпечують наскрізний цикл створення виробу. Розробка керуючої програми (КП) для верстатів з числовим програмним керуванням є одним із найважливіших і найвідповідальніших

етапів технологічної підготовки, адже від її якості безпосередньо залежать точність обробки, відсутність браку, безаварійна робота дороговартісного обладнання та загальна продуктивність процесу. У сучасному інженерному середовищі відмова від "ручного" програмування на користь спеціалізованих САМ-систем є галузевим стандартом. У даному розділі бакалаврської роботи розглядається процес автоматизованої розробки керуючої програми для фрезерної операції з ЧПК із використанням інтегрованого програмного комплексу високого рівня Siemens NX CAM. Вибір цього середовища зумовлений його потужними інструментами багатоосьової обробки, повною асоціативністю технологічних даних із вихідною 3D-моделлю деталі та широкими можливостями верифікації траєкторій. Оскільки обробка валу коробки змінних передач на фрезерній операції передбачає формування специфічних конструктивних елементів, таких як шпонкові пази, використання Siemens NX дозволяє оптимально підібрати стратегію фрезерування, враховуючи кінематику верстата. Процес розробки керуючої програми складається з чітко структурованої послідовності дій. На початковому етапі визначається геометрія готової деталі, заготовки та елементів технологічного оснащення. Далі формується віртуальна бібліотека різального інструменту, що за своїми параметрами відповідає обраним на попередніх етапах кінцевим чи шпонковим фрезам. Наступним кроком є створення безпосередньо технологічних переходів із призначенням раніше розрахованих режимів різання – швидкості обертання шпинделя та робочої подачі. Особлива увага приділяється генерації траєкторії руху інструменту та її візуалізації за допомогою вбудованого модуля 3D-симуляції обробки. Це дозволяє візуально оцінити процес зняття припуску, перевірити траєкторію на наявність зарізів, недорізів або небезпечних зближень інструменту з деталями кріплення. Завершальним етапом розробки є постпроцесування – трансляція розрахованої внутрішньої траєкторії (CL-даних) у G-коди керуючої програми, що адаптовані під стійку керування конкретного фрезерного обробного центру. Результатом виконання даного розділу є повністю готова,

оптимізована та верифікована керуюча програма, яка підтверджує правильність прийнятих технологічних рішень і готовність спроектованої фрезерної операції до впровадження у реальне виробництво.

3D модель операційного ескізу для фрезерної операції показано на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Операційний ескіз фрезерної операції з ЧПК

Наступним етапом є завдання параметрів інструменту та його орієнтація відносно деталі. Показано на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 – Орієнтація інструменту відносно деталі

Наступний етап візуалізація траєкторії обробки показано на рисунку 1.11.

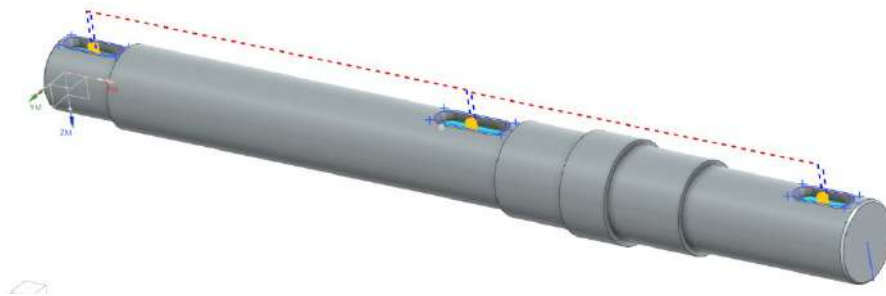


Рисунок 1.11 - Візуалізація траєкторії обробки

Останнім етапом є отримання керуючої програми в G кодах, результат показано на рисунку 1.12.

```

N10 ;Start of Program
N20 ;
N30 ;PART NAME :H:\DPMAC\2076AK Sapex\mod1.prt
N40 ;DATE TIME :Sun May 10 06:42:36 2026
N50 ;
N60 DEF REAL _cmtolerance
N70 DEF REAL _X_HOME, _Y_HOME, _Z_HOME, _C_HOME, _A_HOME
N80 DEF REAL _F_CUTTING, _F_ENGAGE, _F_RETRACT
N90 ;
N100 G40 G17 G710 G94 G99 G60 G601 FNORM
N110 ;Start of Path
N120 ;
N130 ;TECHNOLOGY: METHOD
N140 ;TOOL NAME : MILL
N150 ;TOOL TYPE : Milling Tool-5 Parameters
N160 ;TOOL DIAMETER : 5.000000
N170 ;TOOL LENGTH : 75.000000
N180 ;TOOL CORNER RADIUS: 0.000000
N190 ;
N200 ;Intol : 0.030000
N210 ;Outtol : 0.030000
N220 ;Stock : 0.000000
N230 _cmtolerance=0.000000
N240 _X_HOME=0.0 _Y_HOME=0.0 _Z_HOME=0.0
N250 _C_HOME=0 _A_HOME=0
N260 ;
N270 ;
N280 ;Operation : POCKETING
N290 ;
N300 TRAFOOF
N310 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N320 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME C=_C_HOME A=_A_HOME D0
N330 ;First Tool
N340 T="MILL"
N350 M6
N360 MSG("METHOD")
N370 TRAFOOF
N380 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N390 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME C=_C_HOME A=_A_HOME D0
N400 ;
N410 ;Initial Move
N420 CYCLE832(_cmtolerance,0,1)
N430 TRADRI
N440 G54
N450 ;
N460 ORIMKS
N470 ORIMKS
N480 G0 C0.0 A0.0
N490 ;Approach Move
N500 ;Engage Move
N510 ;Cutting
N520 ;Retract Move
N530 ;Departure Move
N540 ;Approach Move
N550 ;Engage Move
N560 ;Cutting
N570 ;Retract Move
N580 ;Departure Move
N590 ;Approach Move
N600 ;Engage Move

```

```

N610 ;Cutting
N620 ;Retract Move
N630 ;Departure Move
N640 ;End of Path
N650 TRAFOOF
N660 SUPA G0 Z=_Z_HOME D0
N670 SUPA G0 X=_X_HOME Y=_Y_HOME C=_C_HOME A=_A_HOME D0
N680 CYCLE832()
N690 M5
N700 ;End of Program
N710 M30

```

Рисунок 1.12 – Програма в G код

У результаті виконання даного підрозділу за допомогою програмного комплексу Siemens NX CAM було успішно розроблено керуючу програму для фрезерної операції з ЧПК.

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1. Конструкція і принцип роботи пристосування

Пристосування (рисунок 2.1) призначено для операції фрезерування пазів в деталі вал коробки змінних передач. При проєктуванні врахована можливість переналагодження на інші схожі деталі і на інші операції. Деталь встановлюється на призму по зовнішній циліндричній поверхні і упирається правим торцем в упор.

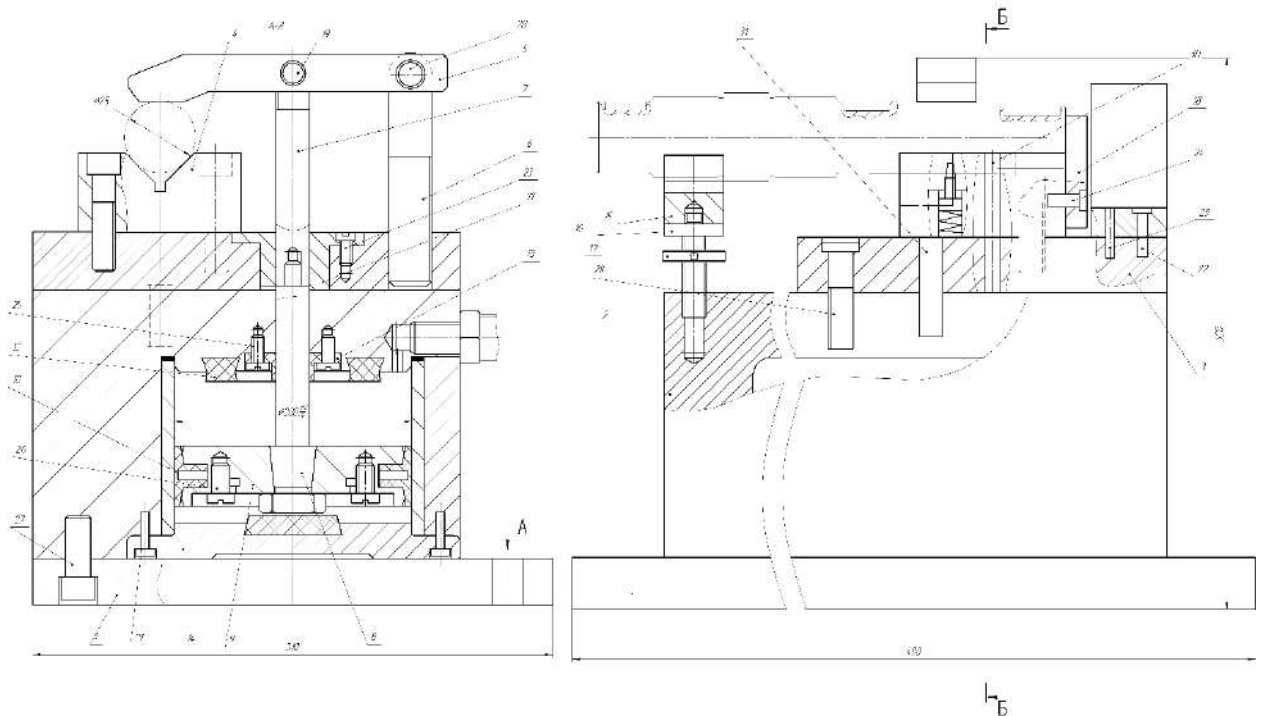


Рисунок 2.1 – Пристрій для фрезерування пазів

Упор закріплений на торці призми. Лівий кінець валу коробки змінних передач встановлюється в рухому призму. За допомогою гвинта і гайки призма підводиться до поверхні деталі, для забезпечення повного контакту шийки валу з площинами призми. Зверху на корпусі встановлюється прихват. У нижній частині пристосування знаходиться пневмоциліндр, для зменшення зносу

поршень переміщається у втулці. Порожнина пневмоциліндру закрита кришкою. Прихват приєднано до тяги і стійки. Пристосування кріпиться до столу верстата верстатними болтами за чотирма пазами.

Подається стиснене повітря в верхню порожнину пневмоциліндру. 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.

2.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність

Забезпечення заданої точності механічної обробки неможливе без надійної та правильної установки заготовки в робочому пристосуванні. У процесі базування та закріплення деталі виникають похибки, які безпосередньо впливають на сумарну похибку виконуваного технологічного розміру. Тому ключовим завданням даного розділу є визначення величин похибок базування і закріплення для обраної схеми установки валу на відповідній операції. Проведений розрахунок пристосування на точність дозволить теоретично підтвердити, що обрана конструкція оснащення гарантує отримання розмірів у межах заданих кресленням допусків.

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 (2.1) згідно [10]:

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

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 згідно [10].

У пристосуванні для фрезерної операції заготовка встановлюється на призму по циліндричних поверхнях, як показано на рисунку 2.2.

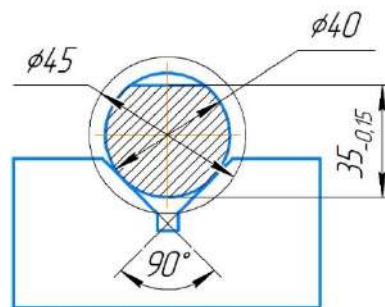


Рисунок 2.2 – Схема встановлення деталі для фрезерної операції

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

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

де $\kappa_2=0,7$ – коефіцієнт, який враховує кут призми згідно [10];

T_d – допуск на розмір, мм.

$$\varepsilon_{\bar{\sigma}} = 0,7 \cdot 0,025 + \frac{0,15}{2} = 0,1 \text{ мм.}$$

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

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

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

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

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

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 значенню;

$E_{\bar{\sigma}}$ – похибка базування при виконанні операції, мкм;

E_z – похибка закріплення, яка 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, які не залежать від пристосування;

w – середня економічна точність обробки на цю операцію;

T_{np} – допуск на виготовлення пристосування, мкм.

$$T_H \leq 200 - (0,8 \cdot 100 + 40 + 0,6 \cdot 15)$$

$$T_H \leq 71$$

Визначаємо величину $\pm \frac{T_H}{2}$, округливши значення до найближчого

нормалізованого. Виходячи з виконаних розрахунків для забезпечення завданої точності обробки допуск на точність виготовлення пристосування повинен бути $\frac{T_H}{2} = \pm 0,035$ мм.

На основі проведених аналітичних розрахунків було визначено фактичні значення похибок базування та закріплення для спроектованого верстатного пристосування. Встановлено, що розрахована сумарна похибка установки заготовки є в межах норми та не перевищує допустимої частки від загального допуску на технологічний розмір. Це переконливо доводить правильність прийнятої схеми базування та підтверджує достатню надійність обраних затискних елементів конструкції. Відповідно, розроблене пристосування повністю задовольняє вимоги щодо точності і може бути успішно використане у технологічному процесі виготовлення валу коробки змінних передач.

2.3 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 повинні 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 статичної рівноваги твердого тіла під дією всіх прикладених до нього сил і їх моментів (показано на рисунку 2.3).

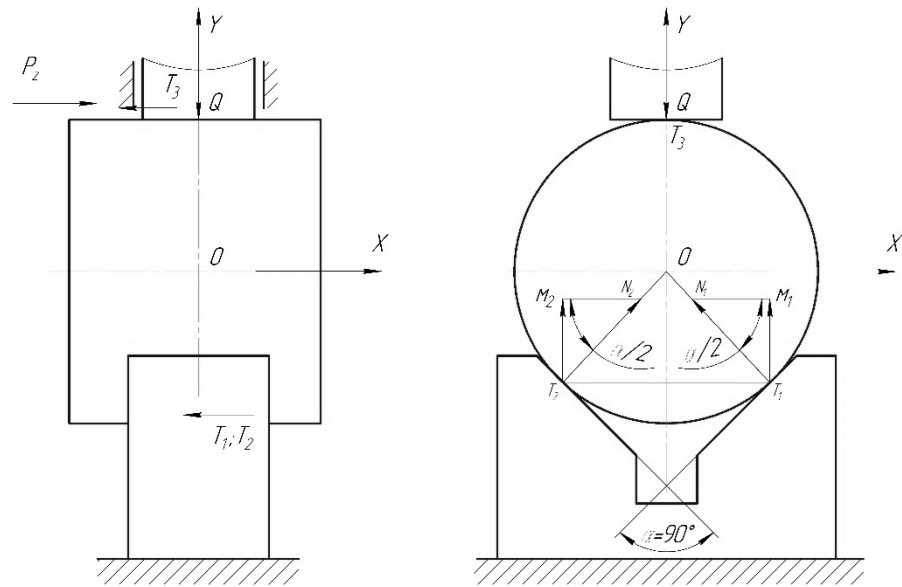


Рисунок 2.3 – Схема для визначення сил затиску

Необхідна статична сила затиску $Q_{ст}$ визначається з принципу статистичної рівноваги за формулою (2.5) згідно [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 згідно [11].

Складаюча сили тертя T_3 за формулою (2.6) згідно [11]:

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

де $f_2 = 0,16$ – коефіцієнт тертя в контактi деталь-прихват згідно [11].

Враховуючи умови статички за формулами (2.7), (2.8) згідно [11]:

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

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

Дійсна сила затиску Q з урахуванням коефіцієнта запасу за формулою (2.9) згідно [11]:

$$Q = k \cdot Q_{cm} = k \cdot \frac{P_z}{\frac{f_1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + f_2} \quad (2.9)$$

Коефіцієнт запасу за формулою (2.10) згідно [11]:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \quad (2.10)$$

де $k_0 = 1,5$ - гарантований коефіцієнт запасу;

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

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

$k_3 = 1,2$ - враховує умови переривчастого виду обробки;

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

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

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

Сила при фрезеруванні визначається рівнянням за формулою (2.11) [11]:

$$P = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot Z_p \cdot B \cdot D^n \quad (2.11)$$

де $t=3$ мм – глибина фрезерування;

$S=0,05$ мм/зуб – подача на зуб;

$Z_p=6$ - число зубів фрези;

$B=6$ мм – ширина фрезерування;

$D=6$ мм – діаметр фрези;

$C_p=68$; $x=0,86$; $y=0,74$; $n=-0,86$ [11]:

$$P = 10 \cdot 68 \cdot 3^{0,86} \cdot 0,05^{0,74} \cdot 6 \cdot 6 \cdot 6^{-0,86} = 1469 \text{ Н.}$$

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

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

Сила на штоку пневмопривода за формулою (2.12) згідно [11]:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \cdot \eta \quad (2.12)$$

де D – діаметр пневмоциліндру;

$p=0,5$ МПа – тиск стисненого повітря згідно [11];

$\eta=0,85$ – ККД, який враховує втрати на тертя згідно [11].

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

Приймаємо згідно [11] $D=200$ мм.

При зворотньому ході поршня за формулою (2.13) згідно [11]:

$$Q' = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot p \cdot \eta \quad (2.13)$$

де $d=40$ мм – діаметр штока пневмоциліндру.

$$Q' = \frac{3,14}{4} \cdot (200^2 - 40^2) \cdot 0,5 \cdot 0,85 = 13878 \text{ Н.}$$

На основі розрахованих максимальних сил та моментів різання було визначено необхідну силу затиску, яка гарантує надійне та жорстке утримання заготовки валу без її деформації під час механічної обробки. З урахуванням отриманого значення зусилля, а також суворих вимог до автоматизації процесів на верстатах з ЧПК, було здійснено обґрунтований вибір механізованого приводу верстатного пристосування. Обраний тип приводу забезпечує стабільне і швидке закріплення деталі із гарантованим зусиллям, що дозволяє суттєво скоротити витрати допоміжного часу на встановлення та зняття заготовки. Застосування такого конструктивного рішення повністю задовольняє вимоги щодо безпеки роботи, підвищує загальну продуктивність технологічної операції та сприяє досягненню заданої точності обробки.

2.4 Проєктування контрольного пристосування

2.4.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Швидко переналагоджуване контрольне пристосування (рисунок 2.4) має широкі технологічні можливості та призначене для перевірки радіальних і торцевих биттів ступінчастих валів відносно базових елементів конструкції – зазвичай посадкових поверхонь під підшипники.

Основним елементом пристосування є плита, на якій змонтовані: дві рухомі вздовж плити призми; упор, що фіксує вал коробки змінних передач в осьовому напрямку; рухома вздовж плити стійка реєструючої частини пристосування, на якій встановлюється горизонтальна консоль із контактним датчиком або індикаторним годинником.

Пристосування налаштовується за довжиною конкретної деталі шляхом переміщення рухомих призм та упору таким чином, щоб його вісь

була паралельна поверхні плити, що перевіряється переміщенням вимірювальної стійки з індикаторним годинником уздовж твірної будь-якої циліндричної поверхні валу коробки змінних передач.

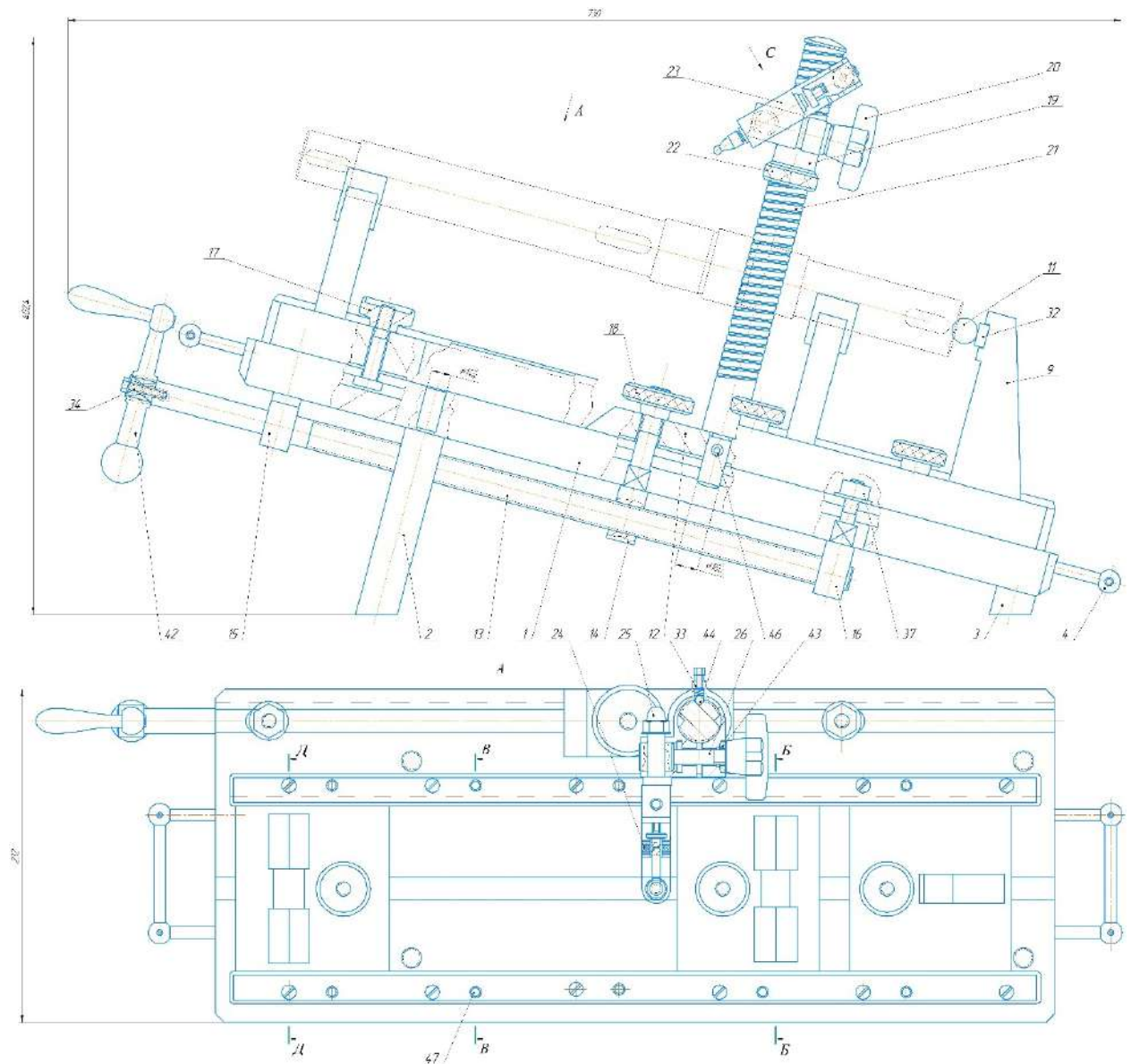


Рисунок 2.4 – Контрольне пристосування

Призми фіксуються кріпильними гвинтами, головки яких знаходяться в Т-подібному пазі плити. Після забезпечення паралельності за допомогою регулювальної гайки призми фіксуються стопорним гвинтом. Плавне переміщення вимірювальної стійки вздовж плити забезпечується ходовим

гвинтом – при відпущеному фіксаторі. Після встановлення вимірювальної стійки в необхідне положення вона фіксується гайкою. Робоче та неробоче положення вимірювальної горизонтальної консолі визначається кульковими фіксаторами. Фіксація її в робочому положенні під час вимірювання здійснюється гайкою на вертикальній колонці реєструючої частини.

2.5 Розрахунок на міцність деталі

Оцінка напружено-деформованого стану деталі проводиться у спеціалізованому розрахунковому модулі програмного комплексу Siemens NX на базі методу скінченних елементів (МСЕ). Головною метою цього розрахунку є визначення максимальних еквівалентних напружень та деформацій, щоб переконатися, що вони не перевищують допустимих значень для обраного матеріалу.

Тривимірна модель валу коробки змінних передач показана на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Тривимірна модель валу коробки змінних передач

Розбивка деталі на сітку кінцевих елементів показана на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Розбивка валу коробки змінних передач сіткою кінцевих елементів

Навантаження та накладання обмежень показано на рисунку 2.7.

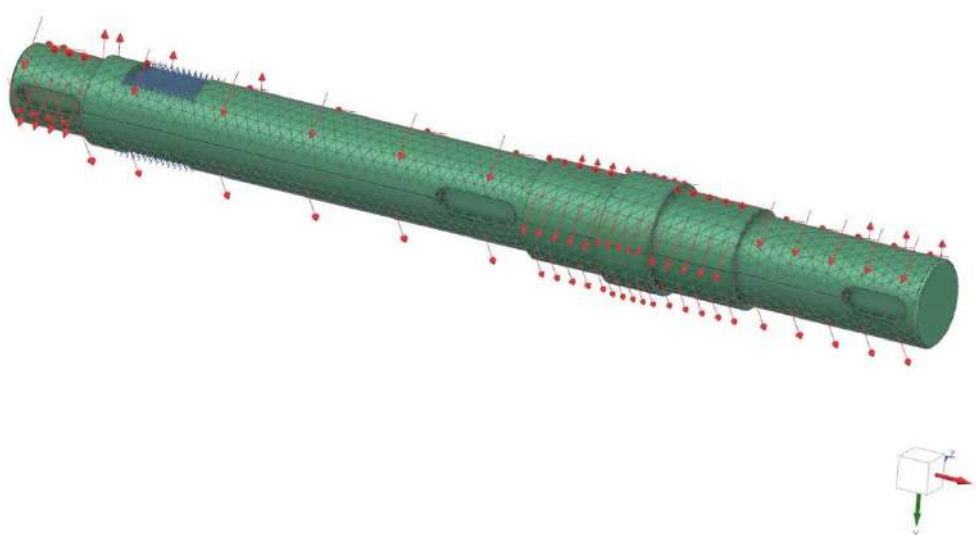


Рисунок 2.7 – Накладання на деталь обмежень та навантажень

Результат розрахунку показано на рисунку 2.8.

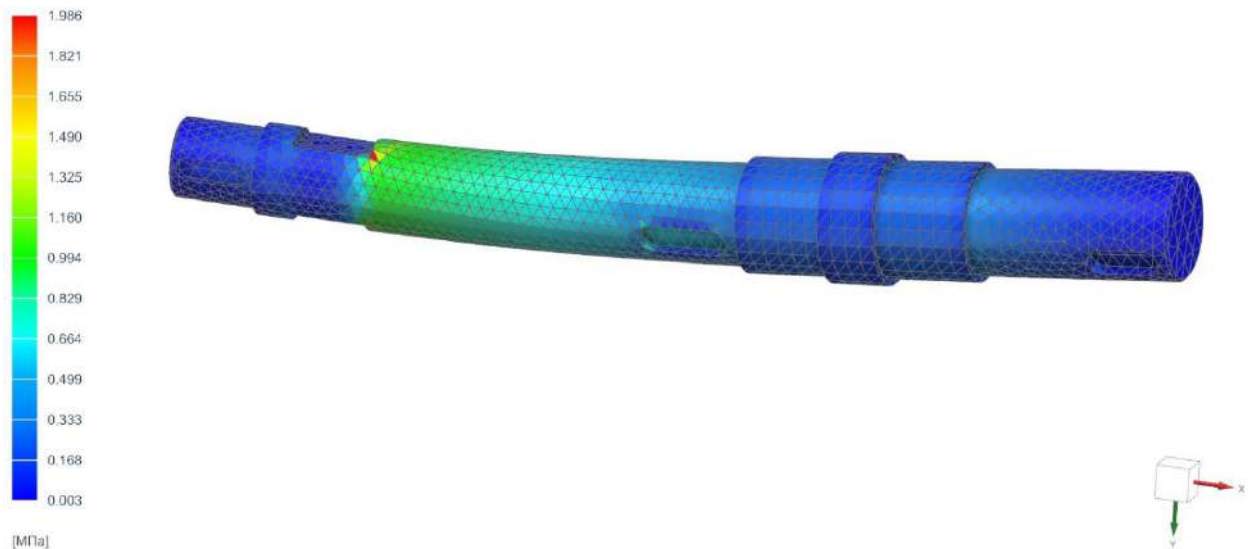


Рисунок 2.8 – Розрахунок на міцність заданої деталі

Головною метою комп'ютерного моделювання було визначення максимальних еквівалентних напружень у деталі для перевірки їх відповідності допустимим характеристикам матеріалу. Результати розрахунку на міцність наочно представлені у вигляді кольорової епюри (рисунок 2.8). Відповідно до шкали результатів, максимальні еквівалентні напруження, що виникають у найбільш навантажених зонах валу коробки змінних передач (позначені червоним та жовтим кольорами), становлять 1,986 МПа. Оскільки границя текучості для типових конструкційних сталей зазвичай перевищує 200...300 МПа, отримане значення є вкрай малим. Це свідчить про те, що робочі напруження не перевищують допустимих значень для обраного матеріалу. Таким чином, аналіз підтверджує абсолютну надійність, працездатність та значний запас міцності конструкції деталі в умовах заданих експлуатаційних навантажень.

3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ

Виходячи із заданих обсягів програми випуску, на попередньому етапі приймаємо багатосерійний тип виробництва, що має змінно-потоккову форму організації процесу (згідно з п. 1.2). У межах даної ділянки передбачається механічна обробка групи деталей типу «проміжного валу коробки змінних передач». Початкові параметри та результати обчислень зведено в таблицю 3.1. Наступним кроком є остаточне затвердження типу та організаційної форми виробництва. З цією метою слід розрахувати потрібну кількість технологічного обладнання (верстатів) для виготовлення представленої групи деталей, з'ясувати фактичний та середній коефіцієнти завантаження, а також обчислити коефіцієнт закріплення операцій. 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):

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

де i – номер технологічної операції або вид механічної обробки;

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

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

Коефіцієнт завантаження верстату визначається за формулою (3.3):

$$K_3 = \frac{C_{p_i}}{C_{pp_i}} \quad (3.3)$$

де C_{pp} – 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):

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

$$\overline{K_3} = \frac{7,13}{10} = 0,71$$

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

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

Кількість робочих місць $M=\sum S_n=10$.

Розрахуємо коефіцієнт закріплення операції за формулою (3.5):

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

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

Таблиця 3.1 – Розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання та його завантаження

Вихідні дані	Група деталей	Річна програма випуску N , шт	Номер операції, i					
			15	20	25	30	35	40
			Модель станка					
			Фрезерно центрувальний FRITZ HECKERT	Ток. з ЧПК Lynx220LM	Ток. з ЧПК Lynx220LM	Кругло шліфувальний 3C130B	Фрезерна з ЧПК MC614DWL4M	Фрезерна з ЧПК MC614DWL4M
			Верстатомісткість (штучно-калькуляційний час), хв					
Результати розрахунків	Вал проміжний	5000	1,96	18,91	8,02	5,28	3,50	1,46
	Вал ступінчастий	5000	4,15	6,45	2,78	7,14	6,12	7,45
	Вал ведений	5000	12,3	1,23	6,4	12,3	9,63	2,47
	$\sum_{j=1} t_{ш-\kappa_j} \cdot N_j$		230125	398850	258000	370800	288750	170700
	C_{Pi}		0,95	1,66	1,07	1,54	1,2	0,71
	$C_{ПPi}$		1	2	2	2	2	1
	K_{3i}		0,95	0,83	0,54	0,77	0,6	0,71

4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ

З метою забезпечення необхідної точності механічної обробки та гарантованого зусилля закріплення заготовки на фрезерній операції, розроблений технологічний процес виготовлення проміжного валу коробки змінних передач 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].

$$S_{\text{стар}} = 75 \cdot 25 = 1875 \text{ грн}$$

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

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, $t_{\text{шт}}=3,5$ хв;

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

$$З_{\text{стар}} = 4,78 \cdot \frac{65,1}{60} = 5,19 \text{ грн}$$

$$З_{\text{нов}} = 3,5 \cdot \frac{65,1}{60} = 3,79 \text{ грн}$$

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: $q_{\text{стар.}} = 375$ 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):

$$C_{\text{стар}} = 5,19 \cdot \left(1 + \frac{250}{100}\right) + \frac{1875}{5000} \cdot \left(\frac{1}{1} + \frac{375}{100}\right) = 19,94 \text{ грн}$$

$$C_{\text{нов}} = 3,79 \cdot \left(1 + \frac{250}{100}\right) + \frac{2250}{5000} \cdot \left(\frac{1}{1} + \frac{450}{100}\right) = 15,73 \text{ грн}$$

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

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

$$E_{\text{еф}} = (19,94 - 15,73) \cdot 5000 = 21050 \text{ грн}$$

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

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

$$\Pi_K = \frac{(2250 - 1875) \cdot \left(\frac{1}{1} + \frac{450}{100}\right)}{(5,19 + 3,79) \cdot \left(1 + \frac{250}{100}\right)} = 65,62 \text{ дет.}$$

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

У даному дипломному проєкті розроблено технологічний процес виготовлення проміжного вала коробки змінних передач та спроектовано дільницю механічної обробки. Головним завданням охорони праці є створення безпечних та нешкідливих умов праці, які запобігають виробничому травматизму та професійним захворюванням. Під час механічної обробки вала на робітників можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори, як рухомі частини металорізальних верстатів, стружка, що відлітає, абразивний пил, підвищений рівень шуму та вібрації, пари змащувально-охолоджувальних технологічних засобів, небезпека ураження електричним струмом, а також рухомі елементи пневматичних пристосувань. Для мінімізації їхнього впливу на спроектованій дільниці передбачено комплекс санітарно-гігієнічних, технічних та організаційних заходів.

Для забезпечення нормальних метеорологічних умов у цеху передбачена припливно-витяжна загальнообмінна вентиляція. Оскільки при круглошліфувальній операції виділяється абразивний пил, а при токарній та фрезерній обробці утворюються аерозолі змащувально-охолоджувальних рідин, верстати обов'язково обладнуються системами місцевої витяжної вентиляції. З метою забезпечення високої точності обробки та контролю деталей застосовується комбіноване освітлення. Загальне освітлення цеху здійснюється сучасними світильниками, а робочі зони верстатів з ЧПК та шліфувального верстата додатково обладнані місцевим освітленням з безпечною напругою для досягнення необхідного рівня освітленості. Робота багатоцільових верстатів супроводжується шумом, тому для зниження його рівня обладнання встановлюється на спеціальні віброопори, а закриті робочі зони верстатів слугують ефективними звукоізоляційними екранами.

Особлива увага приділяється техніці безпеки під час експлуатації обладнання та оснащення. Токарні та фрезерні верстати з ЧПК оснащені

захисними кабінами з блокуванням: робочий цикл неможливо запустити при відкритих дверцятах, а в разі їх відкривання під час роботи верстат автоматично зупиняється. Це надійно захищає оператора від розлітання стружки та бризок. Забороняється прибирати стружку руками, для цього використовуються спеціальні інструменти та автоматичні конвеєри. Операція круглого шліфування є однією з найбільш небезпечних через високу швидкість обертання абразивного круга. Перед встановленням на верстат круг повинен пройти перевірку на відсутність тріщин та бути збалансованим. Зона обробки обов'язково закривається міцним захисним металевим кожухом та прозорим екраном для захисту очей робітника від іскор.

Спроектоване у конструкторській частині фрезерне пристосування має пневматичний привід. Для його безпечної експлуатації необхідно регулярно перевіряти герметичність пневмоциліндра та з'єднань, використовувати манометр для постійного контролю тиску в системі та редуційний клапан для запобігання його перевищенню. Конструкція пневморозподільника має виключати самовільне розтискання деталі при раптовому падінні тиску в магістралі.

Дільниця механічної обробки належить до приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом, однак наявність металевих обладнання вимагає жорстких заходів електробезпеки. Усі металеві неструмопровідні частини верстатів підлягають обов'язковому захисному заземленню. Регулярно проводиться перевірка цілісності ізоляції кабелів живлення, а шафи з електроапаратурою обладнуються замками та знаками попередження. За пожежною небезпекою дільниця належить до категорії «Д». Для запобігання пожежам відпрацьоване обтиральне ганчір'я збирається у спеціальні металеві ящики, забороняється використання відкритого вогню. Дільниця укомплектовується первинними засобами пожежогасіння, такими як вогнегасники та ящики з піском, а також забезпечуються вільні евакуаційні проходи. Розроблений комплекс заходів повністю відповідає чинному законодавству та гарантує створення безпечних умов праці на виробництві.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломного проєкту було розроблено прогресивний технологічний процес виготовлення проміжного валу коробки змінних передач для умов середньосерійного виробництва з річною програмою випуску 5000 одиниць. На основі проведеного техніко-економічного аналізу як метод отримання заготовки було обрано гаряче радіальне обтиснення, що дозволило підвищити коефіцієнт використання матеріалу до 0,79 та суттєво знизити обсяги механічної обробки порівняно зі стандартним прокатом.

Спроектований технологічний маршрут базується на концентрації операцій та використанні сучасного обладнання з числовим програмним керуванням. Процес включає фрезерно-центрувальну, токарні та фрезерні операції, а також фінішне кругле шліфування для забезпечення високої точності посадкових шийок. Для фрезерної операції у середовищі Siemens NX CAM було розроблено та верифіковано керуючу програму, що гарантує безпомилковість траєкторій руху інструменту та безаварійну роботу верстата.

У конструкторській частині проєкту розроблено спеціальне фрезерне пристосування з пневматичним приводом, який забезпечує надійне закріплення деталі та скорочення допоміжного часу. Також було запропоновано швидкопереналагоджуване контрольне пристосування для перевірки радіальних та торцевих биттів валу коробки змінних передач.

Проведений у модулі CAE-аналізу розрахунок на міцність методом скінченних елементів підтвердив високу надійність конструкції деталі: максимальні еквівалентні напруження склали лише 1,986 МПа, що значно нижче допустимих значень для обраного матеріалу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Сервіс стандартів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=64320 (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

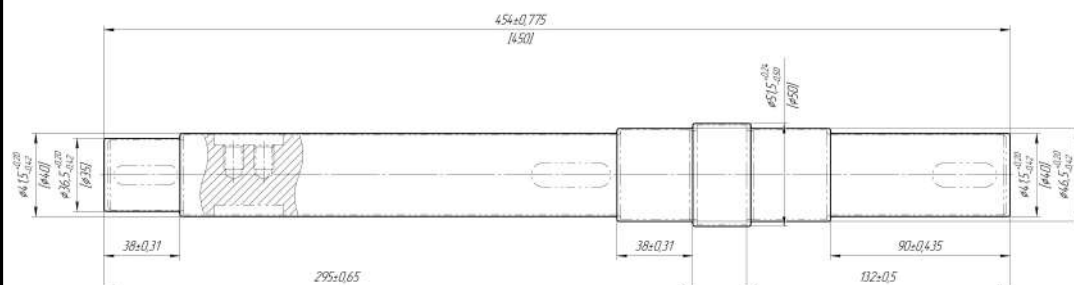
10 Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Технологічна оснастка» для студентів зі спеціальностей: 131 «Прикладна механіка» освітня програма «Технології машинобудування» 133 «Галузеве машинобудування» освітня програма «Металорізальні верстати та системи» усіх форм навчання / НУ «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 ТЕХНОЛОГІЧНІ КАРТИ

					Опер. 005		Аркушів 1	Аркуш 1	
Розраб.	Бережний Е.А.			НУЗП	НУЗП 715414.022				
Перевір.	Гончар Н.В.								
				Вал коробки змінних передач				Лім н	005
Н. контр.	Дядя С.І.								



1. Заготовку виготовляти зі сталі 45 ДСТУ 7809:2015 методом гарячого радіального обтиснення з попереднім індукційним нагрівом до температури 1150 °С.
2. Граничні відхилення діаметральних та лінійних розмірів заготовки повинні відповідати допускам IT12–IT13, вказаним на кресленні.
3. На поверхні заготовки не допускаються тріщини, забоїни та візуальні дефекти, що виходять за межі встановленого припуску на обробку.
4. Для зняття внутрішніх напружень та забезпечення оброблюваності різанням заготовку піддати нормалізації до твердості HB 170...210.
5. Глибина зневульцьованого шару металу не повинна перевищувати 0,4мм на стороні.
6. Кожна одиниця продукції підлягає обов'язковому контролю на відсутність внутрішніх порожнин та волосовин методами неруйнівного контролю.Маркування:

[illegible]

Карта заготовки

[illegible]

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

-	3	3
---	---	---

[illegible]

А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции	Обозначение документа
---	-----	-----	----	-------	----------------------------	-----------------------

Б	Код, наименование оборудования	СМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт.	Тпз	Тшт.
---	--------------------------------	----	-------	---	----	----	------	----	----	------	-----	------

К/М	Наименование детали, сб. ед. или материала	Обозначение, код	ОП	ЕВ	ЕН	КИ	Н.расх.
-----	--	------------------	----	----	----	----	---------

A	060	0108 Мийна	ЮТ37-104.0529-92
---	-----	------------	------------------

Б	XXXXXX Ультразвукова мийна машина	2	18466	5	1	1	1	1	8	1		
---	-----------------------------------	---	-------	---	---	---	---	---	---	---	--	--

--	--

A	065	0200 Контрольна	ИОТ37.104.51.0671-0
---	-----	-----------------	---------------------

[illegible]

A	

Б	

A	
B	

b	

^	

A	
B	

1	
2	

A	
---	--

5	
---	--

MK				
----	--	--	--	--

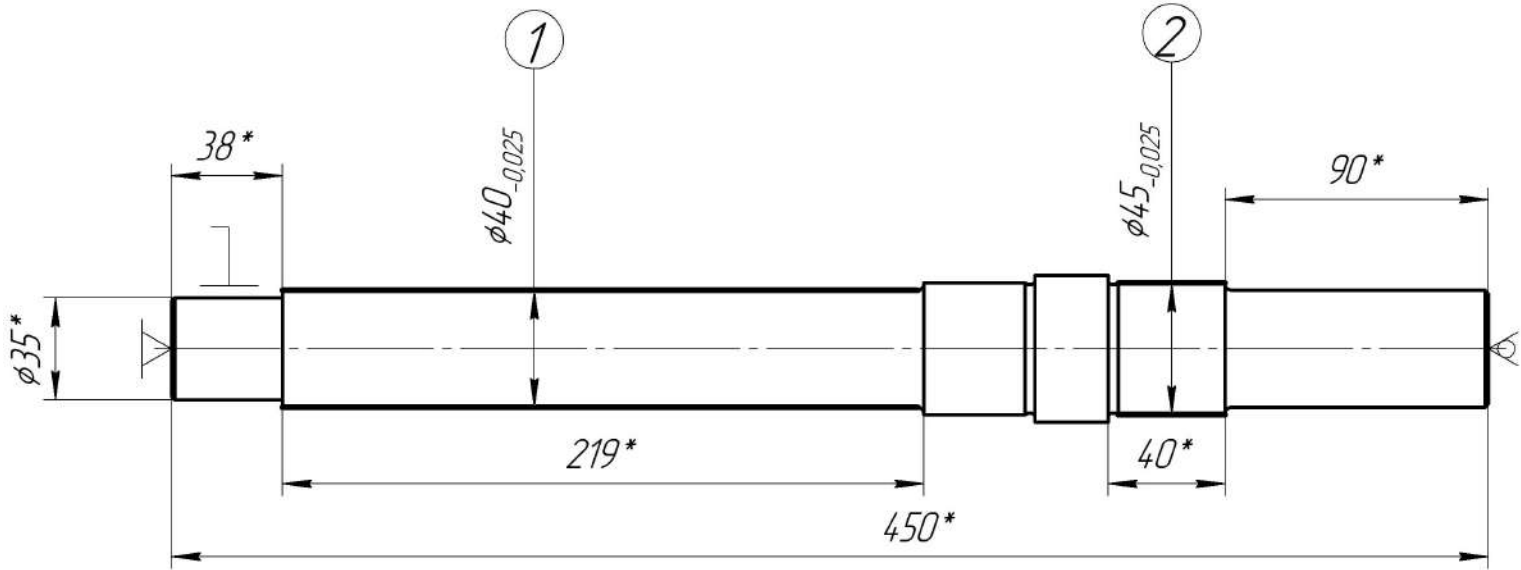
[illegible]

Дудл.																				
Взам.																				
Подп.																				
														НУЗП 0214.1.26022				2		
														НУЗП 715414.022			М-113сп.60141.00025			025
Р									П	D або B		L	f	l	s		n		v	
02	РІ Різець контурний 2101-0641 ГОСТ 20872-80																			
05	ЗВ Калібр-скоба 8103-0108 h9 ГОСТ 18360-93, Надір спеціальних шаблонів																			
									2	45		298	0,4	1	108мм/хв		1200		171	
06	4 Зняти деталь																			
07																				
08																				
09																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
OK																				

Дудл.			
Взам.			
Підп.			

					НУЗП 0214.1.26022			Аркушів 1		Аркуш 1	
Разраб.	Бережний Є.А.			НУЗП	НУЗП 715414.022		М – 113сп.20261.00030				
Провер.	Гончар Н.В.										
Н. контр.	Дядя С.І.										
					Вал коробки змінних передач						030

$\sqrt{Ra\ 1,25}$



** розміри для довідок*

[illegible]

										НУЗП 0214.1.26022		Аркушів 1		Аркуш 1	
Разраб.	Бережний Є.А.			НУЗП		НУЗП 715414.022				М – 113сп.20261.00035					
Провер.	Гончар Н.В.														
				Вал коробки змінних передач										035	
Н. контр.	Дядя С.І.														

Technical drawing of a shaft assembly. The main view shows a shaft with a total length of 450 mm. Key dimensions include: 32±0,31 mm (twice), 5_{-0,3} mm (twice), 40±0,31 mm, 32±0,31 mm, and 3_{-0,25} mm. The shaft is divided into sections labeled 1 through 10. Section lines A-A, B-B, and B-B are indicated. The shaft is supported by bearings (3, 4, 7, 8, 11, 12) and has a central component (5) with a diameter of 35_{-0,62} mm. The shaft diameter is 10±0,18 mm (at section 4) and 12±0,215 mm (at sections 8 and 12).

* розміри для довідок

[illegible]