

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри
машинобудування,
мехатроніки і робототехніки
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
15 червня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

**Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення
деталі вісь приводного валу**

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ(ТМ)-21
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Володимир ШПАК

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент
_____ Віталій МАЖАРА

Рецензент:
канд. техн. наук, доцент
_____ Любов ОЛІЙНІЧЕНКО

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма: Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

машинобудування, мехатроніки і
робототехніки

канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти Шпаку Володимиру Романовичу

Тема роботи:

Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі вісь приводного валу

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Віталій МАЖАРА

Затверджено наказом ЦНТУ від 20 січня 2025 року № 237-02.

Строк подання роботи до захисту:

15 червня 2025 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: підвищення продуктивності обробки вісі приводного валу, шляхом модернізації технологічного процесу та впровадження на фрезерній операції затискного пристрою пневматичного типу.

Завдання: виконати розробку структури та змісту технологічної операції з розробкою теоретичної схеми базування та визначення похибки базування; провести розрахунки припусків, режимів різання та норм технологічних операцій; розробити кресленик загального виду затискного пристрою для обробки вісі приводного валу на фрезерній операції та створити 3D модель зазначеного пристрою.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної літератури по тематиці роботи	10.03.2025 р.	
2	Виконання загальної частини	25.03.2025 р.	
3	Виконання технологічної частини	20.04.2025 р.	
4	Виконання конструкторської частини	13.05.2025 р.	
5	Розробка креслеників	30.05.2025 р.	
6	Перевірка роботи на академічний плагіат	06.06.2025 р.	
7	Рецензування роботи	10.06.2025 р.	

Дата видачі завдання
03 лютого 2025 р.

Здобувач вищої освіти _____ Володимир ШПАК

Керівник роботи _____ Віталій МАЖАРА

АНОТАЦІЯ

Шпак В.Р. Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі вісь приводного валу : кваліфікаційна бакалаврська робота : спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. В.А. Мажара. Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. 45 с.

Креслеників – разом 4 аркуші формату А1.

Метою роботи є підвищення продуктивності обробки вісі приводного валу, шляхом модернізації технологічного процесу та впровадження на фрезерній операції затискного пристрою пневматичного типу.

Актуальність роботи. Підвищення продуктивності обробки, ефективність використання металообробного обладнання та впровадження сучасних технологій залежить від комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів. Отже розширення технологічних можливостей металообробного обладнання шляхом використання спеціальних затискних пристроїв для підвищення продуктивності є актуальною задачею, вирішенню якої присвячена дана кваліфікаційна робота.

В роботі було виконано розробку структури та змісту технологічної операції з розробкою теоретичної схеми базування та визначенням похибки базування. Було проведено розрахунки припусків, режимів різання та норм часу технологічних операцій. Розроблено кресленик загального виду затискного пристрою для обробки вісі приводного валу на фрезерній операції та створено 3D модель зазначеного пристрою.

технологія обробки, стрічковий конвеєр, затискний пристрій, режими різання

ANNOTATION

Volodymyr SHPAK. Design and technological preparation for the manufacture of the drive shaft axle part. Qualification work for the educational level "Bachelor", specialty 131 Applied mechanics / Scientific supervisor Vitalii MAZHARA. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi. 2025. 45 p.

Drawings – summary 4 sheets A1 format.

The aim of the work is to increase the productivity of machining the drive shaft axis by modernising the technological process and introducing a pneumatic clamping device in the milling operation.

Relevance of the work. Increasing machining productivity, the efficiency of using metalworking equipment and the introduction of modern technologies depends on the complex mechanisation and automation of production processes. Therefore, expanding the technological capabilities of metalworking equipment by using special clamping devices to increase productivity is an urgent task, the solution of which is the subject of this qualification work.

In this work, the structure and content of the technological operation was developed with the development of a theoretical scheme of basing and determination of the basing error. Calculations of allowances, cutting modes and time standards for technological operations were carried out. A general view drawing of the clamping device for machining the drive shaft axis during the milling operation was developed and a 3D model of the device was created.

processing technology, belt conveyor, clamping device, cutting modes

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

**Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі
вісь приводного валу**

КРБ.ПМ.25.36.13.00.00

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ(ТМ)-21
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Володимир ШПАК

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент
_____ Віталій МАЖАРА

Кропивницький 2025

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Загальна частина	8
1.1 Службове призначення деталі в складальній одиниці	8
1.2 Аналіз технологічності деталі і технічні умови на її виготовлення	11
2. Технологічна частина	14
2.1 Аналіз базового технологічного процесу	14
2.2 Вибір способу отримання заготовки	15
2.3 Побудова маршрутів обробки окремих поверхонь деталі	17
2.4 Розробка маршруту виготовлення деталі	19
2.5 Розробка структури та змісту технологічної операції та вибір обладнання для їх здійснення	20
2.6 Вибір верстатних пристроїв, ріжучих і мірительних інструментів	28
2.8 Визначення припусків та операційних розмірів	32
2.9 Визначення режимів різання	33
2.10 Технічне нормування операцій	37
3. Конструкторська частина	40
3.1 Розробка конструкції пристрою для встановлення і закріплення деталі	40
3.2 Розрахунок сили затиску	41
Висновки	43
Список використаних джерел	44

ВСТУП

Промисловість завжди була і залишається фундаментом економіки України. Однак, наразі вона перебуває у надзвичайно складному становищі через повномасштабну агресію Росії. Незважаючи на це, українська промисловість демонструє дивовижну стійкість, а її перспективи розвитку після війни є ключовими для відновлення та європейської інтеграції країни.

Наслідки повномасштабного вторгнення є катастрофічними для промислового потенціалу України. Незважаючи на такі виклики, українська промисловість виявляє неймовірну адаптивність. Багато підприємств релокували свої виробничі потужності до більш безпечних регіонів на заході країни. Оборонно-промисловий комплекс працює на повну потужність, задовольняючи потреби Збройних Сил України.

Відновлення та подальший розвиток промисловості після війни буде одним із наймасштабніших викликів і, водночас, однією з найбільших можливостей для України. Цей процес вимагатиме значних інвестицій, глибоких структурних реформ та інтеграції у світові ринки.

Першочерговим завданням буде відновлення зруйнованих підприємств та модернізація існуючих. Це відкриває унікальну можливість не просто відбудувати старі виробництва, а створити нові, екологічно чисті та високотехнологічні, з урахуванням європейських стандартів.

Промисловість України знаходиться на переломному етапі. Війна спричинила безпрецедентні руйнування, але водночас стала каталізатором для трансформації. Післявоєнне відновлення надає унікальний шанс побудувати нову, сучасну, інноваційну та конкурентоспроможну промисловість, яка стане локомотивом економічного зростання та інтеграції України у європейську та світову економіку.

Роботу виконуємо до вимог, що наведені в методичних матеріалах [1] та [2].

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Службове призначення деталі в складній одиниці

Привідний вал з направляючою канавкою є ключовим елементом конструкції стрічкових конвеєрів із направляючим профілем. Такі конвеєри використовуються для переміщення різноманітних матеріалів. Це можуть бути як дрібні сипкі вантажі (наприклад, зернові культури чи соняшникове насіння), так і більш габаритні об'єкти, такі як коробки або палети. Завдяки своїй універсальності, стрічкові конвеєри широко застосовуються у сфері логістики, харчової промисловості, а також у різних галузях виробництва, де потрібне ефективне транспортування продукції чи сировини.



Рисунок 1.1 – Стрічковий похилий конвеєр для сипких матеріалів

Стрічковий конвеєр у своїй конструкції включає два основних вали: привідний і ведений. Основна функція привідного вала — передавати обертальний рух від електродвигуна до транспортерної стрічки, забезпечуючи її безперервний рух. Ведений вал, у свою чергу, виконує роль натяжного пристрою, підтримуючи оптимальну натяжку стрічки для забезпечення рівномірності її руху. Одним із важливих елементів привідного вала є направляюча канавка, що дозволяє точно позиціонувати транспортерну стрічку на поверхні конвеєра. Це мінімізує ризик її зміщення під час транспортування вантажів.



Рисунок 1.2 – Стрічкові конвеєри для хлібобулочних виробів

Для передачі обертального руху на привідний вал у конструкції конвеєра використовується електродвигун, що через редуктор передає крутний момент. Це дозволяє зменшити швидкість обертання та забезпечити необхідний рівень сили для переміщення навіть важких або великогабаритних вантажів. Найчастіше привідний вал працює в парі з черв'ячним редуктором типу СМ, який відповідає за зниження швидкості обертання та підвищення крутного

моменту. Це важливо для стабільної та ефективної роботи системи транспортування навіть у складних умовах із високими навантаженнями.



Рисунок 1.3 – Стрічковий інспекційний конвеєр для сипких матеріалів

1.2 Аналіз технологічності деталі і технічні умови на її виготовлення

1.2.1 Аналіз матеріалу деталі

Привідний вал виготовлений з конструкційної легованої сталі 40ХН.

Данні про хімічний склад та механічні властивості матеріалу заносимо до таблиць 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад матеріалу

Матеріал заготовки	C, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	S, %	P, %	Cr, %	Cu, %
40ХН	0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	1-1,4	до 0,035	до 0,035	0,45-0,75	до 0,3

Таблиця 1.2 – Механічні властивості матеріалу

Матеріал заготовки	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	ψ , %	КСУ, кДж/м ²
40ХН	980	785	11	45	690

1.2.2 Аналіз точності деталі

Привідний вал виготовляється з конструкційної легованої сталі марки 40ХН. Високий рівень точності при його виробництві є обов'язковою вимогою, оскільки від цього залежить коректна робота вала у взаємодії з підшипниками та направляючим елементом стрічкового конвеєра. До параметрів, що підлягають особливо ретельному контролю, належать габаритні розміри, точність розташування направляючої канавки, а також характеристики шийок.

Шийки привідного вала є найважливішими поверхнями, для яких встановлено найбільш суворі вимоги до точності. Зокрема, їх діаметри мають значення $\varnothing 30js6$ ($\pm 0,0065$ мм) та $\varnothing 25h6$ ($-0,013$ мм). Такий рівень точності гарантує щільну посадку вала в підшипниках, зменшує можливі люфти та мінімізує вібрації під час роботи, забезпечуючи стабільність та надійність усієї конструкції.

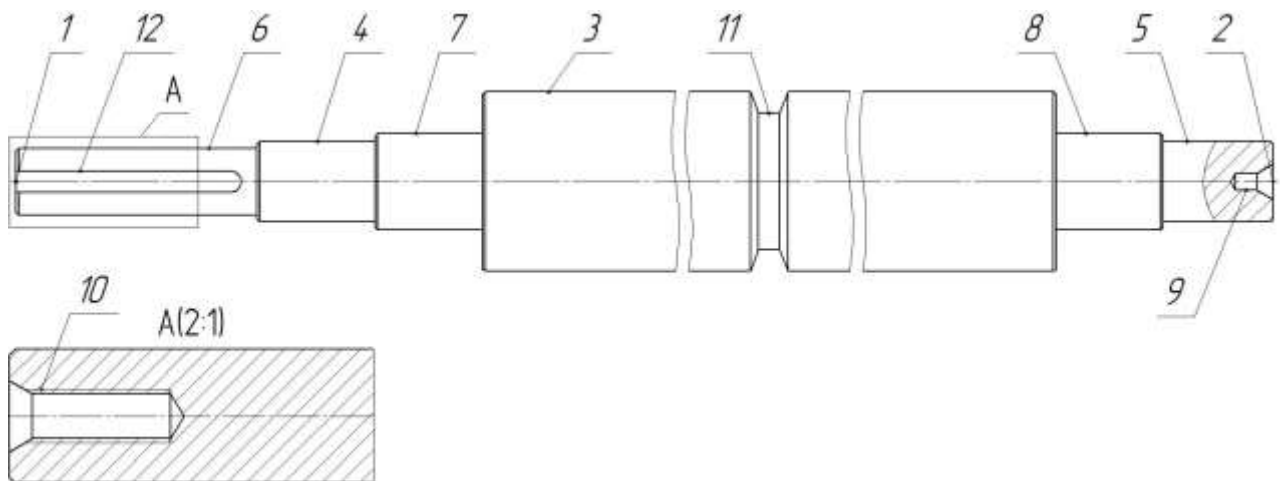


Рисунок 1.4 – Поверхні, що обробляються в деталі вал привідний

Привідний вал має конструкцію, яка не включає важкодоступних зон для механічної обробки, що значно спрощує процес його виготовлення. Завдяки високій жорсткості деталі можливе використання високопродуктивних методів обробки, що підвищує ефективність виробництва. Усі оброблювані поверхні можуть бути виготовлені із застосуванням стандартного ріжучого інструменту, який забезпечує належний відвід стружки.

З точки зору технологічності, конструкція вала є вдалою, оскільки не містить складних для обробки ділянок, що повністю відповідає вимогам технологічного виробництва. Більшість функціональних поверхонь формується за допомогою операцій точіння, що є стандартним методом для таких деталей.

Проведений аналіз креслення вала підтвердив, що всі розміри нанесені коректно, а також враховані основні технологічні вимоги. Зазначені класи точності, шорсткість поверхонь та допуски відповідають функціональному призначенню деталі та є досяжними в процесі механічної обробки.

Крім того, усі зазначені на кресленні розміри можуть бути легко перевірені за допомогою стандартного вимірювального інструменту, що свідчить про їх відповідність нормам виробництва.

Для зручності стандартизації параметрів точності оброблюваних поверхонь основні характеристики наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Параметри точності деталі вал привідний.

№	Найменування поверхні	Розміри з відхиленням	Квалітет	Ra
1,2	Торці	921,5±0,8	-	3,2
3	Зовнішня циліндрична	Ø67	-	3,2
4,5	Зовнішні циліндричні	Ø30±0,0065	js6	1,25
6	Зовнішня циліндрична	Ø25 _(-0,013)	h6	1,25
7,8	Зовнішня циліндрична	Ø36	-	3,2
9	Центровий отвір	Ø6,3	H12	-
10	Внутрішня різьба	M10x1,5	-	-
11	Зовнішня циліндрична	Ø51	-	3,2
12	Шпоночний паз	8, 84	-	-

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз базового технологічного процесу

Технологічний процес механічної обробки привідного вала складається з 6 основних операцій.

005 Токарна

Токарний станок 16K20

Підрізається торець заготовки.

Свердлиться центрувальний отвір $\varnothing 6,3H12$.

Підрізається інший торець заготовки.

Свердлиться центрувальний отвір $\varnothing 6,3H12$ на іншому торці.

010 Токарна

Токарний станок 16K20

Точаться шийки вала з допусками для шліфування $\varnothing 67$, $\varnothing 36$, $\varnothing 30,35$, $\varnothing 25,53$.

Точиться направляюча канавка $\varnothing 51$.

015 Вертикально-фрезерна

Вертикальний фрезерний станок 6Т13-29

Фрезерується прямокутний паз.

020 Термообробна

Вертикальний гартувальний комплекс ТВЧ

Гартуються шийки вала послідовним нагрівом.

Виконується низький відпуск.

025 Шліфувальна

Круглошліфувальний станок 3В161

Шліфується шийка вала $\varnothing 25h6$.

Шліфується шийка вала $\varnothing 30js6$.

Шліфується шийка вала $\varnothing 30js6$ з іншої сторони.

030 Токарна

Токарний станок 16K20

Нарізається різьба М10х1,5.

Знімаються фаски.

Однією з позитивних характеристик чинного технологічного процесу є те, що його встановлена послідовність операцій дозволяє досягати необхідного рівня точності та якості оброблених поверхонь, які відповідають вимогам, зазначеним у кресленні деталі. Для цього процесу характерна значна диференціація технологічних операцій із використанням універсального обладнання.

Як заготовку для виготовлення привідного вала застосовують круг із легованої сталі 40ХН, що відповідає вимогам до механічних властивостей деталі. Чорнові та чистові бази обрано грамотно, що позитивно впливає на точність виконання обробки та забезпечує відповідність кінцевих параметрів кресленню.

Проте зазначений технологічний процес має низку недоліків, оскільки використання універсальних верстатів є менш ефективним порівняно з обладнанням із числовим програмним керуванням. Для підвищення продуктивності та точності обробки доцільно впроваджувати сучасні верстати з ЧПК, які дозволять автоматизувати процеси, зменшити час виконання операцій і підвищити якість виготовлених деталей.

2.2 Вибір способу отримання заготовки

Привідний вал є ключовою складовою стрічкового конвеєра, що піддається значним статичним і динамічним навантаженням у процесі експлуатації. Для забезпечення необхідних характеристик, таких як міцність, зносостійкість і довговічність, було обрано конструкційну леговану сталь 40ХН. Цей матеріал має високі механічні властивості, добре піддається

обробці, а також демонструє високу стійкість до втомного руйнування та абразивного зношення, що особливо важливо для деталей такого типу. Крім того, матеріал підлягає термообробці, яка дозволяє ще більше підвищити його міцність та експлуатаційні характеристики.

У якості заготовки для привідного вала обрано прокатний круг зі сталі 40ХН, оскільки він забезпечує низку важливих переваг. Використання сталевого прокату дозволяє отримати заготовку, максимально наближену за формою та розмірами до готового виробу, що значно зменшує обсяг подальшої механічної обробки. Це також сприяє раціональному використанню матеріалу, оскільки круг характеризується високим коефіцієнтом використання металу, мінімізуючи відходи та знижуючи витрати на виробництво.

Прокатний круг має рівномірну щільність і структуру, що позитивно впливає на механічні характеристики готового виробу, включаючи стійкість до втомного руйнування. Процес термообробки, зокрема гартування та відпуск, забезпечує необхідну твердість і стійкість до стирання, що є критичними для довговічності привідного вала.

Крім того, прокатний матеріал не потребує виготовлення спеціалізованих форм або стрижнів, як це було б у випадку лиття, що значно спрощує процес підготовки заготовки.

Процес виготовлення заготовки зі сталевого прокату забезпечує високу якість поверхонь і точність розмірів ще на етапі підготовки. Це створює передумови для ефективного виконання наступних етапів обробки, включаючи механічну обробку та термообробку для покращення експлуатаційних властивостей.

Таким чином, вибір сталевого прокату зі сталі 40ХН для виготовлення привідного вала є оптимальним рішенням, що відповідає виробничим вимогам, службовому призначенню деталі та умовам її експлуатації.

2.3 Побудова маршрутів обробки окремих поверхонь деталі

Побудова маршруту обробки кожної поверхні деталі є важливим етапом розробки технологічного процесу. Для привідного вала кожна поверхня повинна відповідати своєму функціональному призначенню, а отже, і певним вимогам до точності, шорсткості та взаємного розташування. Визначення маршруту передбачає вибір послідовності обробок, які забезпечують досягнення заданих параметрів при мінімальних витратах.

Критерієм доцільності маршруту є ступінь уточнення, що розраховується як відношення допуску на заготовку до допуску на готову поверхню:

$$\varepsilon_{\text{заг}} = \frac{\delta_3}{\delta_d}$$

δ_3 – допуск на розмір заготовки;

δ_d – допуск на готову поверхню.

Для кожного етапу визначають часткові уточнення:

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_{i-1}}{\delta_i}$$

δ_{i-1} – допуск на розмір перед поточним переходом;

δ_i – допуск після виконання обробки на даному переході.

Загальне уточнення розміру поверхні визначається добутком уточнень усіх переходів, що формують дану поверхню:

$$\varepsilon_{\partial} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 \dots \cdot \varepsilon_M$$

M – загальна кількість технологічних переходів для обробки поверхні.

Перевірка доцільності вибору маршруту

Для того, щоб технологічний маршрут забезпечував необхідну точність, його фактичне уточнення має відповідати заданому уточненню:

$$\varepsilon_{\partial} \geq \varepsilon_3$$

При цьому найкращим варіантом вважається той, де значення ε_{∂} максимально наближене до ε_3 , тобто:

$$\varepsilon_{\delta} \approx \varepsilon_3$$

Це дозволяє уникнути зайвих переходів, скоротити час обробки та зменшити витрати на виробництво.

Як приклад розглянемо два варіанти маршруту обробки шийки $\varnothing 30js6$, що є однією з найточніших поверхонь привідного вала.

Заготовка: $\varnothing 67$ мм, $\delta_3 = 0,8$ мм.

Готова поверхня: $\varnothing 30js6$, $\delta_d = 0,013$ мм

Загальне уточнення:

$$\varepsilon_{\text{заг}} = \frac{0,8}{0,013} \approx 61,54$$

Основний маршрут:

1. Чорнове точіння: $\delta = 0,3$ мм $\rightarrow Ra = 12,5$

2. Шліфування: $\delta = 0,013$ мм $\rightarrow Ra = 1,6$

Частоківі уточнення:

$$\varepsilon_1 = \frac{0,8}{0,3} = 2,67 \quad \varepsilon_2 = \frac{0,3}{0,013} \approx 23,08 \Rightarrow \varepsilon_{\text{накоп}} = 2,67 \cdot 23,08 \approx 61,6$$

Альтернативний маршрут:

1. Чорнове точіння: $\delta = 0,4$ мм $\rightarrow Ra = 12,5$

2. Напівчистове точіння: $\delta = 0,07$ мм $\rightarrow Ra = 3,2$

3. Шліфування: $\delta = 0,013$ мм $\rightarrow Ra = 1,6$

Частоківі уточнення:

$$\varepsilon_1 = \frac{0,8}{0,4} = 2 \quad \varepsilon_2 = \frac{0,4}{0,07} \approx 5,71 \quad \varepsilon_3 = \frac{0,07}{0,013} \approx 5,38 \Rightarrow \varepsilon_{\text{накоп}} = 2 \cdot 5,71 \cdot 5,38 \approx 61,4$$

Розрахунки підтверджують доцільність використання основних маршрутів із двома переходами (чорнове точіння та шліфування). Усі поверхні досягають необхідного ступеня уточнення при мінімальних трудових витратах. Альтернативні маршрути з додатковим переходом напівчистового точіння забезпечують той самий результат, однак є менш вигідними з точки зору трудомісткості та часу обробки. Таким чином, основні двоетапні маршрути обробки є оптимальними в умовах дрібносерійного виробництва.

Таблиця 2.1 – Зведена таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь вала

№ пов.	Зміст маршруту	Шорсткість поверхні, мкм	Допуск, мм	Часткове уточнення	Накопичене уточнення	Загальне уточнення
4	Заготовка	80	0,8	-	-	61,5
	Точіння	12,5	0,3	2,67	2,67	
	Шліфування	1,6	0,013	23,08	61,6	
5	Заготовка	80	0,8	-	-	61,5
	Точіння	12,5	0,3	2,67	2,67	
	Шліфування	1,6	0,013	23,08	61,6	
6	Заготовка	80	0,5	-	-	33,3
	Точіння	12,5	0,2	2,5	2,5	
	Шліфування	1,6	0,015	13,33	33,3	

2.4 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут обробки вала

005 Токарна

Токарний станок 16К20

1. Встановити, зняти деталь.
2. Обробити торці заготовки.
3. Просвердлити 2 центрувальних отвори $\varnothing 6,3H12$.

010 Токарна з ЧПК

Токарний верстат HAAS ST-20

1. Встановити деталь, зняти деталь.
2. Чорнова проточка шийок вала.
3. Проточити направляючу канавку.

015 Вертикально-фрезерна

Вертикальний фрезерний станок – 6Т13-29

1. Встановити, зняти деталь.
2. Фрезерувати шпоночний паз.

020 Термообробна

Вертикальний гартувальний комплекс ТВЧ

1. Встановити, зняти деталь.
2. Гартувати шийки вала послідовним нагрівом.
3. Виконати низький відпуск.

025 Шліфувальна

Круглошліфувальний станок – 3В161

1. Встановити, зняти деталь.
2. Шліфувати поверхні $\varnothing 25h6$, $\varnothing 30js6$.
3. Шліфувати поверхню $\varnothing 30js6$.

030 Токарна

Токарний верстат 16К20

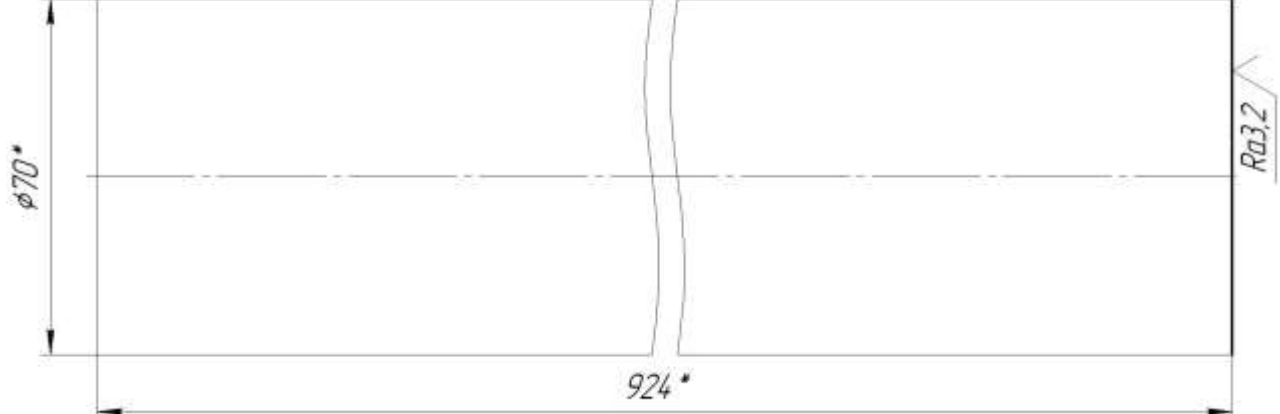
1. Встановити, зняти деталь.
2. Просвердлити отвір $\varnothing 9,5$.
2. Нарізати різьбу М10х1,5.
3. Зняти фаски.

2.5 Розробка структури та змісту технологічних операцій та вибір обладнання для їх здійснення

Розробимо структуру та зміст операцій технологічного процесу вала та занесемо дані до таблиці 2.1. [10]

Дані про металорізальне обладнання для обробки деталі зводимо до таблиці 2.2.

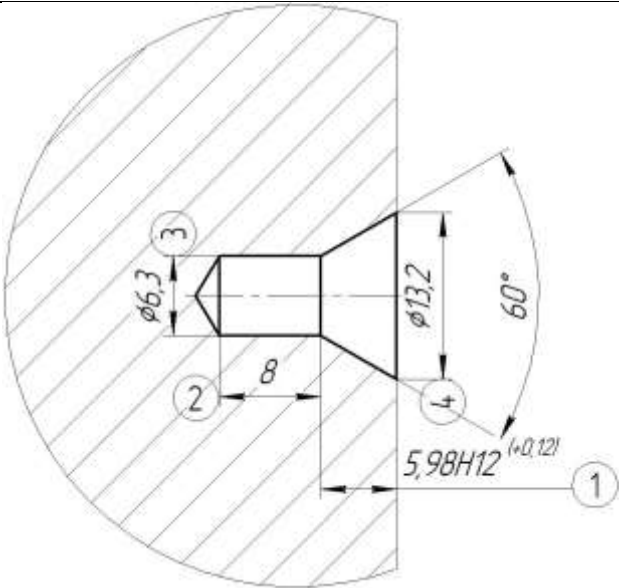
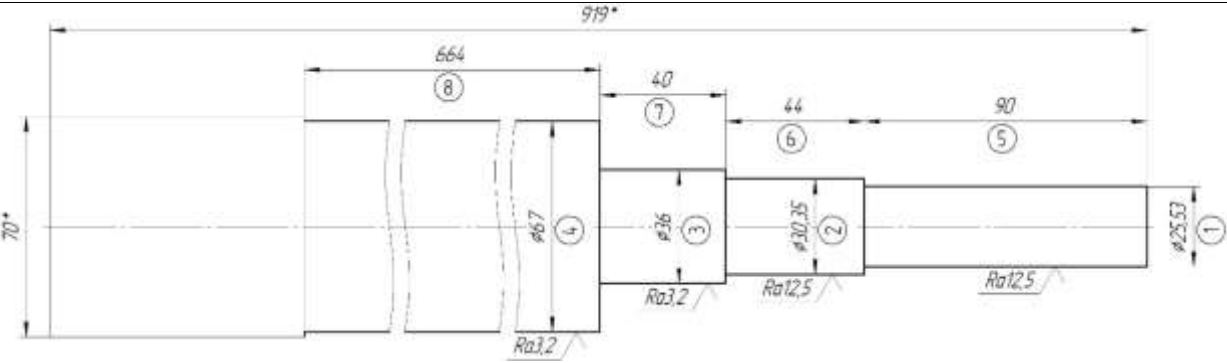
Таблиця 2.2- Розробка маршруту обробки привідного вала

№ операції	Модель верстату	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
005Токарна	Токарний станок 16к20		<p>1. Встановити деталь. 2. Точити торець заготовки.</p>

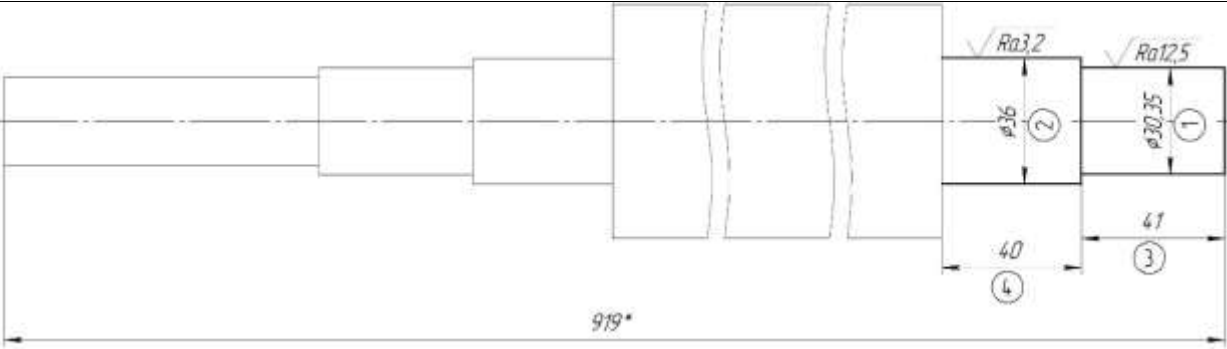
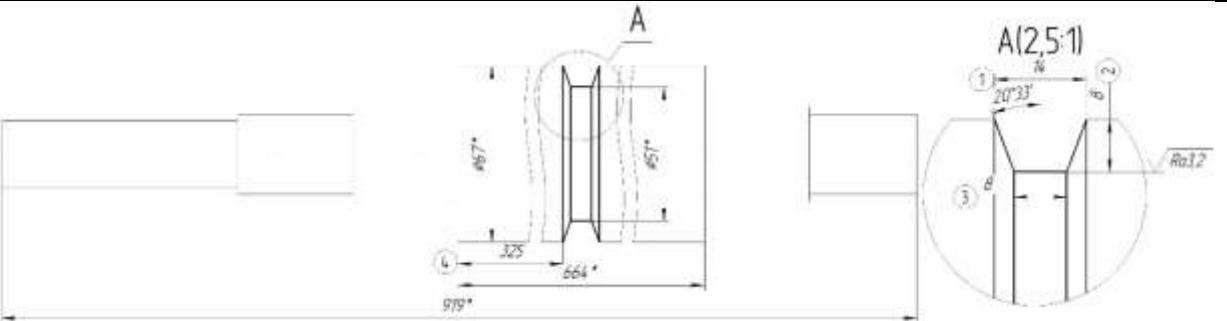
Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
			<p>3. Просвердлити центрувальний отвір, витримавши розміри 1,2,3,4.</p>
			<p>4. Перевернути деталь. 5. Точити торець заготовки, витримавши розмір 1.</p>

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
			<p>6. Просвердлити центрувальний отвір, витримавши розміри 1,2,3,4. 7. Зняти деталь</p>
010Токарна	Токарний станок HAAS ST-20		<p>1. Встановити деталь. 2. Точити шийки вала, витримавши розміри 1,2,3,4,5,6,7,8.</p>

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
			<p>3. Перевернути деталь.</p> <p>4. Точити шийки вала, витримавши розміри 1,2,3,4.</p>
			<p>5. Точити направляючу канавку, витримавши розміри 1,2,3,4.</p> <p>6. Зняти деталь.</p>

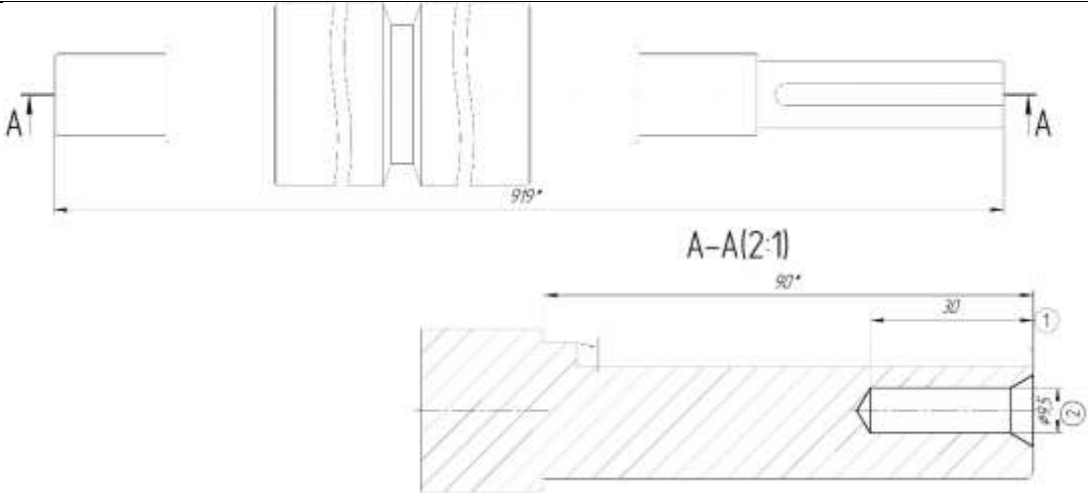
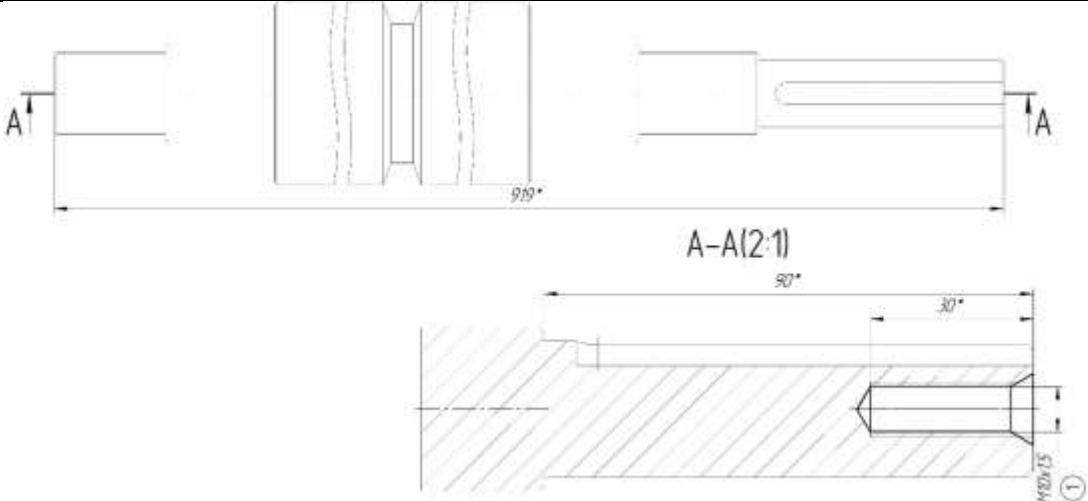
Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
015Вертикально-фрезерна	Вертикальний фрезерний станок – 6Т13-29		<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити деталь. 2. Фрезерувати шпоночний паз, витримавши розміри 1,2,3. 3. Зняти деталь.
020Термообробна	Вертикальний гартувальний комплекс ТВЧ		<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити деталь. 2. Гартувати шийки вала послідовним нагрівом. 3. Виконати низький відпуск. 4. Зняти деталь.

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
025Шліфувальна	Круглошліфувальний станок – 3В161		<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити деталь. 2. Шліфувати шийку вала, витримавши розміри 1,2.
			<ol style="list-style-type: none"> 3. Перевернути деталь. 4. Шліфувати шийку вала, витримавши розмір 1. 5. Зняти деталь.

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
<p>030Токарна</p>	<p>Токарний станок 16К20</p>		<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити деталь. 2. Просвердлити отвір, витримавши розміри 1,2.
			<ol style="list-style-type: none"> 3. Нарізати різьбу, витримавши розмір 1. 4. Зняти фаски. 5. Перевернути деталь. 6. Зняти фаски з іншої сторони. 7. Зняти деталь.

Таблиця 2.3 - Обладнання для обробки вала

№ Опер.	Верстат	Діапазон частот обертання	Діапазон подач	Маса верстату	Потуж ність кВт
005	Токарний 16К20	12,5-1600	0,06-2,8(поздовжня) 0,02-0,93(поперечна)	2,7	11
010	Токарний НААС ST-20	50-4000	0,001-0,5	3,6	14,9
015	Вертикальний фрезерний 6Т13-29	31,5-1600	10-1250(поздовжня) 5-625(поперечна) 2,5-250(вертикальна)	3,2	11
020	Вертикальний гартувальний комплекс ТВЧ	500-10000 (для ТВЧ нагріву)	-	Від 2	100- 500
025	Круглошліфува льний 3В161	15-3000	0,1-6	3,8	7,5
030	Токарний 16К20	12,5-1600	0,06-2,8(поздовжня) 0,02-0,93(поперечна)	2,7	11

2.6 Вибір верстатних пристроїв, ріжучих і мірильних інструментів

Після вибору обладнання наступним етапом є визначення необхідних верстатних пристроїв, ріжучих і мірильних інструментів, які забезпечать якісну та ефективну обробку привідного вала відповідно до прийнятого технологічного процесу.

Для забезпечення точного та надійного закріплення заготовки на верстатах використовуються наступні пристрої (Таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Вибір верстатних пристроїв

№ опер.	Найменування пристосування	Стандарт	Вид приводу
005	Токарний патрон Люнет нерухомий	ГОСТ 2675-80 ГОСТ 8026-92	Механічний Механічний
010	Токарний патрон Обертовий центр	ГОСТ 2675-80 ГОСТ 25557-82	Механічний -
015	Пневматичні тиски	Спеціальне	Пневматичний
025	Затискний пристрій для шліфування	ГОСТ 24698-81	Механічний
030	Токарний патрон Люнет нерухомий	ГОСТ 2675-80 ГОСТ 8026-92	Механічний Механічний

Вибір інструменту здійснюється з урахуванням технологічних вимог до поверхонь, що обробляються, а також типу операцій (Таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Вибір ріжучих інструментів

№ опер.	№ пер.	Назва інструменту	Стандарт	Матеріал
005	2	Підрізний різець	ГОСТ 18880-73	ВК8
	3	Центрувальне сверло	ГОСТ 10903-77	P6M5
	5	Ø6,3		
	6	Підрізний різець Центрувальне сверло Ø6,3	ГОСТ 18880-73 ГОСТ 10903-77	ВК8 P6M5
010	2	Прохідний прямий різець	ГОСТ 18876-73	ВК8
	4	Прохідний прямий різець	ГОСТ 18876-73	ВК8
	5	Прохідний відігнутий різець	ГОСТ 18879-73	ВК8

Продовження таблиці 2.5

015	2	Шпонкова фреза з циліндричним хвостиком	ГОСТ 9140-78	P6M5
025	2	Круг шліфувальний	ГОСТ 2424-83	SiC
	4	63СМ40К12В2-01 Круг шліфувальний 63СМ40К12В2-01	ГОСТ 2424-83	SiC
030	2	Свердло Ø 9,5	ГОСТ 10902-77	P9K5
	3	Мітчик М10х1,5	ГОСТ 3266-81	P9K5
	4	Різець підрізний відігнутий	ГОСТ 18880-73	BK8
	6	Різець підрізний відігнутий	ГОСТ 18880-73	BK8

Засоби технічного контролю технічних операцій обирають з урахуванням точності вимірювання, розміру, якості вимірювальної поверхні (Таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 - Вимірювальний інструмент для контролю деталі

№ опер.	№ пер.	Параметр деталі, що контролюється	Найменування інструменту	Стандарт
005	3	Лінійні розміри 8, 5,98 ^{+0,12}	Штангенциркуль Глибиномір мікрометричний	ГОСТ 166-89 ГОСТ7470-92
	5	Лінійний розмір 919	Вимірювальна лінійка	ГОСТ 427-75
	6	Лінійні розміри 8, 5,98 ^{+0,12}	Штангенциркуль Глибиномір мікрометричний	ГОСТ 166-89 ГОСТ7470-92

Продовження таблиці 2.6

010	2	Діаметри 25,53, 30,35, 36, 67 Лінійні розміри 664, 90, 44, 40	Штангенциркуль Вимірвальна лінійка	ГОСТ 166- 89 ГОСТ 427- 75
	4	Діаметри 30,35, 36 Лінійні розміри 41, 40	Штангенциркуль	ГОСТ 166- 89
	5	Лінійні розміри 8,8, 14	Штангенциркуль	ГОСТ 166- 89
015	2	Лінійні розміри 8, 20,76, 84	Штангенциркуль Шпонковий мікрометр	ГОСТ 166- 89 ГОСТ 6507- 90
025	2	Діаметри 25 _{-0,013} ,	Мікрометр	ГОСТ 6507- 90
	4	30 \pm 0,0065 Діаметр 30 \pm 0,0065		
030	2	Лінійний розмір 30	Штангенциркуль	ГОСТ 166- 89

Таким чином, вибір верстатних пристроїв, ріжучих і мірільних інструментів здійснено з урахуванням конструктивних особливостей привідного вала та технологічного процесу його виготовлення, що забезпечує високу якість і відповідність деталі заданим вимогам.

2.8 Визначення припусків та операційних розмірів

Припуск — це шар матеріалу, що підлягає видаленню під час обробки з метою досягнення заданої точності та чистоти поверхні. Правильне визначення припусків необхідне для забезпечення якості обробки, зменшення собівартості виробу та підвищення продуктивності праці.

У нашому випадку визначається припуск на обробку зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 30js6 \pm 0,0065$ мм. Загальний припуск розраховується за формулою:

$$S_{заг} = D_{чор} - D_{чист}$$

$S_{заг}$ - загальний припуск на обробку, мм.

$D_{чор}$ - розмір після чорнової обробки, мм.

$D_{чист}$ - розмір після остаточної (чистої) обробки, мм.

Задані розміри:

Розмір після чистої обробки:

$$D_{чист} = 30js6 = 30 \pm 0,0065$$

Розмір після чорного точіння:

$$D_{чор} = 30,35$$

Розрахунок загального припуску:

$$S_{заг} = 30,35 - 30 = 0,35$$

Таблиця 2.7 – Розрахунок припусків на обробку зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 30js6 \pm 0,0065$

Назва операції	Базова поверхня	Операційний розмір	Припуск	Допуск
Чорнове точіння	Заготовка	$\varnothing 30,35$	-	$\pm 0,15$
Шліфування	$\varnothing 30,35$	$\varnothing 30 \pm 0,0065$	0,35	$\pm 0,0065$

Таблиця 2.8 – Зведена таблиця припусків на обробку деталі

№ поверхні	Найменування поверхні	Розмір	Вид обробки	Загальний припуск	Допуск
4,5	Зовнішня циліндрична	Ø30	Чорнове точіння - шліфування	0,35	±0,0065
6	Зовнішня циліндрична	Ø25	Чорнове точіння - шліфування	0,3	-0,013

2.9 Визначення режимів різання

У цьому розділі розраховуються режими різання для обробки зовнішньої циліндричної поверхні Ø30 js6 привідного вала, яка є посадковою поверхнею під підшипник. Високі вимоги до точності (допуск ±0,0065 мм) і шорсткості (Ra 1,6 мкм) зумовлюють необхідність використання двоетапної обробки: чорнового точіння з подальшим чистовим шліфуванням.

Матеріал деталі — конструкційна легована сталь 40ХН. Після нормалізації вона має хорошу оброблюваність, достатню жорсткість та міцність для застосування в навантажених вузлах. Така структура дозволяє використовувати рекомендовані режими різання з дотриманням заданих технічних характеристик.

Обробка здійснюється на токарному верстаті HAAS ST-20 (етап точіння) та на круглошліфувальному верстаті 3М151 (етап шліфування). Нижче наведено розрахунок технологічних параметрів кожної з операцій із поясненням використовуваних формул.

2.9.1 Визначення режимів чорнового точіння

Вихідні дані:

Початковий діаметр заготовки: $\varnothing 67$ мм

Діаметр після точіння: $\varnothing 30,3$ мм

Довжина обробки: $L = 44$ мм

Матеріал: сталь 40ХН

Інструмент: різець з твердосплавною пластиною (ВК8)

Розрахунок глибини різання

Глибину різання визначаємо за формулою:

$$t = \frac{D_{\text{заг}} - D_{\text{обр}}}{2}$$

$D_{\text{заг}}$ – діаметр заготовки.

$D_{\text{обр}}$ – діаметр після точіння.

t – глибина різання.

$$t = \frac{67 - 30,3}{2} = 18,35$$

Розрахунок частоти обертання шпинделя

Швидкість різання приймаємо згідно з рекомендаціями для сталі 40ХН та твердосплавного інструменту:

$$V = 120 \text{ м/хв}$$

Частоту обертання визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}$$

V – швидкість різання.

D – середній діаметр обробки.

n – частота обертання.

$$D = \frac{67 + 30,3}{2} = 48,65 \Rightarrow n = \frac{1000 \cdot 120}{3,14 \cdot 48,65} \approx 785 \text{ об/хв}$$

Визначення машинного часу:

Подача на оберт:

$$S = 0,35 \text{ мм/об}$$

Машинний час розраховуємо за формулою:

$$t_m = \frac{L \cdot i}{S \cdot n}$$

L – довжина обробки.

i – кількість проходів.

S – подача.

n – оберти шпинделя.

$$t_m = \frac{44 \cdot 7}{0,35 \cdot 785} \approx 1,12 \text{ хв}$$

2.9.2 Визначення режимів шліфування

Вихідні дані:

Остаточний діаметр: $\varnothing 30 \text{ js6}$

Шорсткість: $Ra = 1,6 \text{ мкм}$

Припуск після точіння: $0,3 \text{ мм}$

Довжина шліфування: $L = 60 \text{ мм}$

Кількість проходів: 2

Шліфувальний круг: 63СМ40К12В2-01 (електрокорунд середньої зернистості, $\varnothing 350 \text{ мм}$)

Визначення частоти обертання шліфувального круга

Рекомендована швидкість різання:

$$V = 35 \text{ м/с}$$

Розрахунок частоти обертання круга:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 350} \approx 31,8 \text{ об/с} = 1908 \text{ об/хв}$$

Інші дані:

Поздовжня подача

$$S_z = 1,5 \text{ м/хв}$$

Поперечна подача на оберт

$$t = 0,008 \text{ мм/об}$$

Глибина обробки:

Чорновий прохід – 0,2 мм

Чистовий прохід – 0,1 мм

Розрахунок машинного часу:

$$t_m = \frac{L \cdot z}{S_z \cdot 1000}$$

L – довжина обробки.

z – кількість проходів.

S_z – поздовжня подача.

$$t_m = \frac{44 \cdot 2}{1,5 \cdot 1000} \approx 0,06 \text{ хв}$$

Таким чином, розрахунки показують доцільність вибраного технологічного маршруту — чорнового точіння з подальшим шліфуванням, які забезпечують необхідні показники точності та якості поверхні Ø30 js6 при раціональному використанні обладнання та інструменту.

Таблиця 2.9 - Зведена таблиця режимів різання на операції механічної обробки вала

№		Поверхня	t , мм	i	D_{cp} , мм	n , об/хв	S , мм/об	V , м/хв	t_m , хв
Операції	Переходу								
010	2	Ø30js6	3	7	48,65	785	0,35	120	1,12
	2	Ø25h6	1,2	2	27,65	1382	0,35	120	0,37
	4	Ø30js6	3	7	48,65	785	0,35	120	1,05
025	2	Ø30js6	0,3	2	-	1908	-	2100	0,06
	2	Ø25h6	0,3	2	-	1908	-	2100	0,12
	4	Ø30js6	0,3	2	-	1908	-	2100	0,055

2.10 Технічне нормування операцій

Нормування часу на виконання технологічних операцій здійснюється розрахунковим методом. Для прикладу розглянемо операцію 010 – токарну обробку шийок та направляючої канавки привідного вала. Ця операція виконується на токарному верстаті з ЧПК типу HAAS ST-20, у межах дрібносерійного виробництва [3].

Вихідні умови для нормування:

Тип виробництва – дрібносерійне.

Верстат - HAAS ST-20.

Річна програма – 1000 шт.

Підготовчо-заклучний час – $T_{n-3} = 18\text{хв}$.

Поправочний коефіцієнт – $k = 1,85$.

Допоміжний час:

встановлення та зняття – $t_{\partial 1} = 0,1\text{хв}$;

час керуванням верстатом – $t_{\partial 2} = 0,15\text{хв}$;

контрольні вимірювання – $t_{\partial 3} = 0,07\text{хв}$.

Визначення основного технологічного часу

Основний технологічний час t_o - це час безпосередньої обробки матеріалу інструментом. Він визначений на основі розрахунків режимів різання.

$$t_o = 1,12\text{хв}$$

Визначення допоміжного часу

Допоміжний час охоплює операції, що не пов'язані безпосередньо з різанням, але супроводжують його: встановлення заготовки, керування верстатом, контроль. Для дрібносерійного виробництва застосовується поправочний коефіцієнт.

$$T_d = (t_{\partial 1} + t_{\partial 2} + t_{\partial 3}) \cdot k$$

$t_{\partial 1}$ – час на встановлення деталі, хв.

$t_{\partial 2}$ – час на керування верстатом, хв.

$t_{\text{дз}}$ – час на контроль, хв.

k – поправочний коефіцієнт.

$$T_{\text{д}} = (0,15 + 0,07) \cdot 1,85 = 0,6 \text{ хв}$$

Розрахунок оперативного та технічного часу

Оперативний час є сумою основного та допоміжного часу. Додатково до нього враховується час на технічне обслуговування робочого місця (7% від оперативного часу).

$$T_{\text{опер}} = t_0 + T_{\text{д}} = 1,12 + 0,6 = 1,72 \text{ хв}$$

$$T_{\text{тех}} = 0,07 \cdot T_{\text{опер}} = 0,07 \cdot 1,72 = 0,12 \text{ хв}$$

Розрахунок норми штучного часу

Норма штучного часу включає оперативний час та час на технічне обслуговування. Це повна витрата часу на виготовлення однієї деталі без урахування підготовчо-заклучного етапу.

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{опер}} + T_{\text{тех}} = 1,72 + 0,12 = 1,84 \text{ хв}$$

Розрахунок штучно-калькуляційного часу

Штучно-калькуляційний час враховує додатково підготовчо-заклучний етап, розподілений на весь обсяг партії:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{n}$$

$T_{\text{п-з}}$ – підготовчо-заклучний час, хв.

n – річна програма випуску, шт.

$$T_{\text{шт-к}} = 1,84 + \frac{18}{1000} = 1,84 + 0,018 = 1,858 \text{ хв}$$

Виконано повний розрахунок норм часу для прикладної токарної операції, з урахуванням усіх складових виробничого процесу. Подібним чином було розраховано норми часу і для інших технологічних операцій обробки привідного вала. Отримані значення наведено в таблиці 2.10

Таблиця 2.10 – Результати технічного нормування

№	t_o	t_δ	T_{mex}	T_{onep}	$T_{ум}$	T_{n-3}	$T_{ум-к}$
005	1,2	0,6	0,13	1,8	1,93	18	1,948
010	1,12	0,6	0,12	1,72	1,84	18	1,858
015	0,9	0,6	0,11	1,5	1,61	18	1,628
025	0,18	0,6	0,06	0,78	0,84	18	0,858
030	0,45	0,6	0,07	1,05	1,12	18	1,138

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Розробка конструкції пристрою для встановлення і закріплення деталі

Для забезпечення точної, надійної та безпечної обробки шпоночного паза на валу, було розроблено спеціальний затискний пристрій. Його конструкція дозволяє швидко встановлювати та фіксувати деталь на фрезерному верстаті, забезпечуючи правильне позиціонування та необхідну жорсткість системи під час фрезерування [3, 4] та [11].

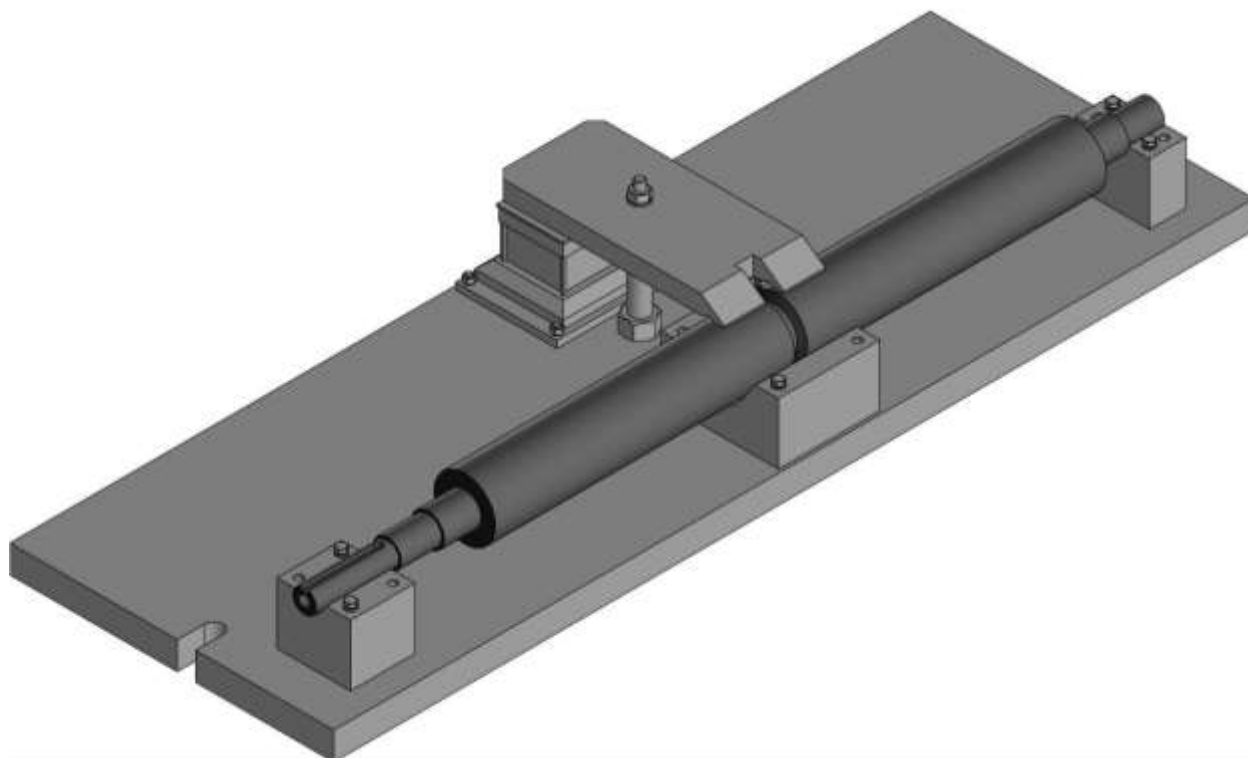


Рисунок 3.1 – Пристрій затискний 3D-модель.

Загальний опис конструкції

Конструктивно пристрій складається з жорсткої основи, на якій розташовані основні вузли:

1. Пневматичний циліндр (позиція 1) - виконує функцію приводу. Він створює необхідне зусилля для притискання деталі до опор.

2. Притискний важіль (позиція 2) - піднімається навколо осі (позиція 3) під дією пневмоциліндра та притискає заготовку до призматичних опор (позиція 4).

3. Призматичні опори (позиція 4) - служать базовими елементами, які забезпечують точне центрування вала й утримання його в горизонтальному положенні.

Така конфігурація дозволяє надійно зафіксувати вал для фрезерування шпоночного паза.

Конструктивні особливості

Призми з кутом 90° забезпечують самовстановлення циліндричної деталі, а пневмопривід дозволяє швидко й рівномірно створювати затискне зусилля без перекосів. Конструкція притискного важеля та розміщення осі дають можливість змінювати деталі з мінімальними затратами часу.

Для проектування затискного пристрою, можливо використати систему, що наведена в джерелі [14].

3.2 Розрахунок сили затиску

Для визначення необхідної сили затиску розрахуємо приблизну силу різання, яка виникає під час фрезерування паза:

Вихідні дані:

Матеріал деталі — сталь 40ХН.

Ширина паза — 8 мм.

Глибина паза — 4 мм.

Довжина паза — 84 мм.

Подача на зуб фрези $f_z = 0,05$ мм/зуб.

Кількість зубів фрези – 4 шт.

Діаметр фрези – 50 мм.

Питомий опір різанню $k_c \approx 1800 \text{ Н/мм}^2$.

Сила різання:

$$P_z = k_c \cdot a_p \cdot f_z \cdot z = 1800 \cdot 4 \cdot 0,05 \cdot 4 = 1440 \text{ Н}$$

Щоб забезпечити надійне утримання деталі, необхідна сила затиску повинна як мінімум удвічі перевищувати силу різання:

$$F_{\text{зат}} \geq 2 \cdot P_z = 2880 \text{ Н}$$

Використаємо пневмоциліндр з діаметром поршня $\varnothing 63 \text{ мм}$ при тиску $0,6 \text{ МПа}$:

$$F_{\text{цил}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p = \frac{3,14 \cdot 0,063^2}{4} \cdot 6 \cdot 10^5 \approx 1870 \text{ Н}$$

З урахуванням плеча важеля (коефіцієнт 2:1):

$$F_{\text{зат}} \approx 2 \cdot 1870 = 3740 \text{ Н}$$

Отже, пристрій забезпечує необхідну силу для надійного фіксування деталі при фрезеруванні шпоночного паза без її зсуву.

Переваги пристрою

Оптимізація витраченого часу при встановленні та заміні деталі завдяки пневмоприводу.

Відсутність деформацій заготовки через рівномірне притискання.

Простота налаштування та обслуговування.

Стійкість до зношування завдяки застосуванню гартованих елементів у вузлах опори та притиску.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі для першого (бакалаврського) рівня на тему: “Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі вісь приводного валу” виконаний аналіз діючого на базовому підприємстві технологічного процесу, на основі чого запропоновані зміни. У відповідності до існуючого типу виробництва було запропоновано використання сучасних верстатів з ЧПК. Для запропонованого технологічного процесу механічної обробки приводного валу були розроблені структура та зміст операцій, вибране технологічне обладнання, розраховані припуски, визначені режими різання і технічно обґрунтовані норми часу.

Також у роботі було розроблено конструкцію затискного пристрою з пневматичним приводом, та побудована його 3D модель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти : метод. рекомендації з оформлення кваліфікаційної роботи : спец. 131 Прикладна механіка / [уклад. : В. А. Мажара, А. І. Гречка, В. В. Свяцький та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. Кропивницький : ЦНТУ, 2024 – 40 с. – Режим доступу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/15701>
2. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / К. К. Щербина та ін., – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. 16 с.
3. Pavlenko I. I. Robotic technological complexes: monograph / I. I. Pavlenko, V. A. Mazhara; under the editorship I. I. Pavlenko. – Kropyvnytskyi: KOD, 2019. – 382 p.
4. Проектування затискних пристроїв та оснащення : метод. рекомендації до виконання самостійної роботи здобувачами вищої освіти галузі знань 13 «Механічна інженерія» / [уклад. : В. А. Мажара, А. М. Артюхов, С. А. Тененика] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 44 с.
5. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування технологічного спорядження : посібник. Львів : Світ, 2001. 296 с.
6. Боровик О. В., Малашин М. О. Довідник з креслення. Стандарти ISO : навчально-методичний посібник. Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2014. 104 с.
7. Гевко Б.М., Дичковський М.Г., Матвійчук А.В. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої : навч. посіб. Київ : «Кондор», 2008. 220 с.
8. Мажара В.А. Визначення кутів повороту ведучих ланок адаптивного

захватного пристрою / Мажара В.А., Годунко М.О, Кислун О.А. // Збірник наукових праць КНТУ / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 27 – Кіровоград: КНТУ, 2014. – С. 28 – 33.

9. Мажара В.А., Павленко І.І. Дослідження умов зміни захватів місцями в робочій зоні верстату // Збірник наукових праць КНТУ / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 21 – Кіровоград: КНТУ, 2008. – С. 150 – 154.

10. Основи гнучкого автоматизованого виробництва : метод. вказ. до викон. самостійної роботи : студ. спец. "Прикладна механіка" / [уклад. : В. А. Мажара, М. О. Годунко] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. технології машинобудування. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 32 с. – Режим доступу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/9037>

11. Технологічне оснащення : метод. вказ. до викон. курсового проекту / [уклад. : І. І. Павленко, В. А. Мажара] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. технології машинобудування. – Кропивницький : ЦНТУ, 2017. – 36 с.

12. Розробка методики силового розрахунку вертикально орієнтованого захватного пристрою / М. О. Годунко, О. А. Кислун, В. А.Мажара [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7(38). - Ч. 2. - С. 27-33.

13. Павленко, І. І. Структура продуктивності верстатних роботизованих комплексів / І. І. Павленко, В. А. Мажара // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – Вип. 17. – С. 131–137.

14. Мажара, В. А., Щербина, К. К., Артюхов, А. М., Тененика, С. А., & Шестаков, І. С. (2024). Система автоматизованого проектування технологічного оснащення. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.