

Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри
машинобудування,
мехатроніки і робототехніки
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
15 червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

Розробка технології обробки деталі вісь

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ-22з-3
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Вадим БОРОДЬКО

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

Рецензент:
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ТИХИЙ

Центральноукраїнський національний технічний університет

Центр заочної та дистанційної освіти

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 Бородьку Вадиму Романовичу

Тема роботи:

Розробка технології обробки деталі вісь

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Віталій МАЖАРА

Затверджено наказом ЦНТУ від 01 квітня 2026 року № 200-02.

Строк подання роботи до захисту:

15 червня 2026 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета роботи – підвищення ефективності виробництва та забезпечення заданої точності і якості виготовлення деталі вісь шляхом розробки та обґрунтування прогресивного технологічного процесу її механічної обробки.

Задання – виконати аналіз службового призначення та технологічності конструкції деталі; обґрунтувати вибір методу отримання заготовки та розрахувати припуски на обробку; розробити оптимальний маршрутний та операційний технологічний процес; розрахувати раціональні режими різання та норми часу на операції.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної літератури по тематиці роботи	20.04.2026 р.	
2	Виконання загальної частини	27.04.2026 р.	
3	Виконання технологічної частини	19.05.2026 р.	
4	Розробка креслеників	28.05.2026 р.	
5	Перевірка роботи на академічний плагіат	04.06.2026 р.	
6	Рецензування роботи	07.06.2026 р.	

Дата видачі завдання
13 квітня 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Вадим БОРОДЬКО

Керівник роботи _____ Віталій МАЖАРА

АНОТАЦІЯ

Бородько В.Р. Розробка технології обробки деталі вісь : кваліфікаційна бакалаврська робота : спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. В.А. Мажара. Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2026. 59 с.

Креслеників – разом 3 аркуші формату А1.

Метою роботи є підвищення ефективності виробництва та забезпечення заданої точності і якості виготовлення деталі вісь шляхом розробки та обґрунтування прогресивного технологічного процесу її механічної обробки.

Актуальність роботи. Сучасний розвиток машинобудівної галузі вимагає безперервного підвищення ефективності виробництва, що досягається за рахунок зниження собівартості продукції, підвищення її якості, надійності та довговічності. Деталі класу вали є одними з найвідповідальніших та найпоширеніших елементів у конструкціях машин, механізмів та транспортних засобів. Тож, актуальним завданням є розробка та впровадження прогресивних технологічних процесів механічної обробки таких деталей із використанням сучасного високоефективного обладнання, оптимізацією режимів різання, раціональним вибором інструментального забезпечення та засобів автоматизації.

В роботі виконано аналіз службового призначення та технологічності конструкції деталі; обґрунтовано вибір методу отримання заготовки та розраховано припуски на обробку; розроблено оптимальний маршрутний та операційний технологічний процес; розраховано режими різання та норми часу на операції.

вісь, технологічний процес, верстат з ЧПУ, режими різання, припуски

ANNOTATION

Vadym BORODKO. Development of technology for processing axle parts. Qualification work for the educational level "Bachelor", specialty 131 Applied mechanics / Scientific supervisor Vitalii MAZHARA. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi. 2026. 59 p.

Drawings – summary 3 sheets A1 format.

The aim of this work is to improve production efficiency and ensure the required precision and quality in the manufacture of axle components by developing and justifying an advanced machining process.

Relevance of the work. The current development of the engineering industry requires continuous improvement in production efficiency, which is achieved by reducing production costs and improving product quality, reliability and durability. Shaft-type components are among the most critical and widespread elements in the construction of machines, mechanisms and vehicles. Therefore, a pressing task is the development and implementation of advanced machining processes for such components using modern, highly efficient equipment, optimisation of cutting parameters, and the rational selection of tooling and automation equipment.

This paper analyses the functional purpose and manufacturability of the part's design; justifies the choice of blanking method and calculates machining allowances; develops an optimal route and operational process; and calculates cutting parameters and time standards for operations.

axis, machining process, CNC machine tool, cutting modes, allowances

Центральноукраїнський національний технічний університет
Центр заочної та дистанційної освіти
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

Розробка технології обробки деталі вісь

КРБ.ПМ.26.57.33.00.00

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ-22з-3
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ **Вадим БОРОДЬКО**

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент

_____ **Віталій МАЖАРА**

Кропивницький 2026

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Загальна частина	9
1.1 Службове призначення деталі в складальній одиниці	9
1.2 Аналіз технічних вимог до деталі	10
1.3 Визначення типу та організаційної форми виробництва	13
2. Технологічна частина	15
2.1 Аналіз базового технологічного процесу	15
2.2 Технологічна переробка робочого креслення деталі	16
2.3 Вибір способу отримання заготовки	17
2.4 Побудова маршрутів обробки окремих поверхонь деталі	19
2.5 Розробка маршруту виготовлення деталі	23
2.6 Вибір технологічних баз	24
2.7 Розробка структури та змісту технологічних операцій на верстатах з ЧПК	25
2.8 Вибір металорізального обладнання	31
2.9 Вибір верстатних пристроїв, ріжучих і вимірювальних інструментів	34
2.10 Визначення припусків та операційних розмірів	37
2.11 Визначення режимів різання	42
2.12 Технічне нормування операцій	50
2.13 Розробка траєкторії рухів інструментів та розрахунок координат опорних точок	51
2.14 Розробка програм керування	53
Висновки	55
Список використаних джерел	56

ВСТУП

Дану кваліфікаційну роботу виконано у відповідності до рекомендацій, що викладені у рекомендаціях [3,4].

Актуальність теми. Сучасний розвиток машинобудівної галузі вимагає безперервного підвищення ефективності виробництва, що досягається за рахунок зниження собівартості продукції, підвищення її якості, надійності та довговічності. Деталі класу «валу» (зокрема, осі) є одними з найвідповідальніших та найпоширеніших елементів у конструкціях машин, механізмів та транспортних засобів, оскільки вони сприймають значні експлуатаційні навантаження.

Ефективність виготовлення таких деталей безпосередньо залежить від досконалості технологічного процесу їхньої механічної обробки. Традиційні технології часто не забезпечують необхідної гнучкості виробництва та високої точності геометричних параметрів при оптимальних витратах часу й матеріалів. У зв'язку з цим актуальним завданням є розробка та впровадження прогресивних технологічних процесів механічної обробки деталі «Вісь» із використанням сучасного високоефективного обладнання (зокрема, верстатів із ЧПК), оптимізацією режимів різання, раціональним вибором інструментального забезпечення та засобів автоматизації. Це дозволить мінімізувати частку ручної праці, зменшити відсоток браку та забезпечити високу точність поверхонь.

Метою роботи є підвищення ефективності виробництва та забезпечення заданої точності і якості виготовлення деталі «Вісь» шляхом розробки та обґрунтування прогресивного технологічного процесу її механічної обробки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Виконати аналіз службового призначення та технологічності конструкції деталі.
2. Обґрунтувати вибір методу отримання заготовки та розрахувати припуски на обробку.

3. Розробити оптимальний маршрутний та операційний технологічний процес.
4. Розрахувати раціональні режими різання та норми часу на операції.
5. Спроекувати необхідне технологічне оснащення (верстатні та контрольні пристрої).

Об'єктом дослідження є технологічний процес механічної обробки деталей типу валів (зокрема, деталі «Вісь») в умовах машинобудівного виробництва.

Предметом дослідження є послідовність технологічних операцій, структура технологічних переходів, режими різання, параметри інструменту та технологічного оснащення, що забезпечують оптимізацію процесу виготовлення деталі «Вісь».

Практична цінність роботи полягає у розробці безпосередньо готового до впровадження технологічного процесу механічної обробки деталі «Вісь», який забезпечує скорочення основного та допоміжного часу обробки, зниження матеріаломісткості та підвищення якості поверхневого шару деталі. Спроековані елементи верстатного оснащення та розраховані режими різання можуть бути використані на машинобудівних підприємствах при виготовленні деталей аналогічного класу, а також у навчальному процесі при проектуванні технологічних процесів механообробки.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Службове призначення деталі в складальній одиниці

Сівалка бурякова начіпна ССТ-12Б призначена для пунктирного висівання каліброваного дражованого насіння цукрових буряків з одночасним внесенням в зону рядка гранульованих мінеральних добрив.

Деталь вісь СМЕ 05.604 входить до вузла опорно-приводного колеса бурякової сівалки ССТ-12Б. Цей вузол (рис. 1.1) призначений для переміщення сівалки в польових умовах та передачі обертового руху висівному апарату сівалки. Він складається з безпосередньо колеса 5 до якого з допомогою болтових з'єднань кріпиться маточина 6 з зірочкою 7, вісі 3 з підшипниками 2 на яких базується маточина з колесом. Вісь жорстко з'єднана з кронштейном 4. Для запобігання потрапляння піску на підшипники передбаченні манжети 1. Обертовий рух за допомогою цепної передачі через зірочку передається від колеса на ланцюговий редуктор, який призначений для приведення в дію висівного апарату та зміни норми висіву.

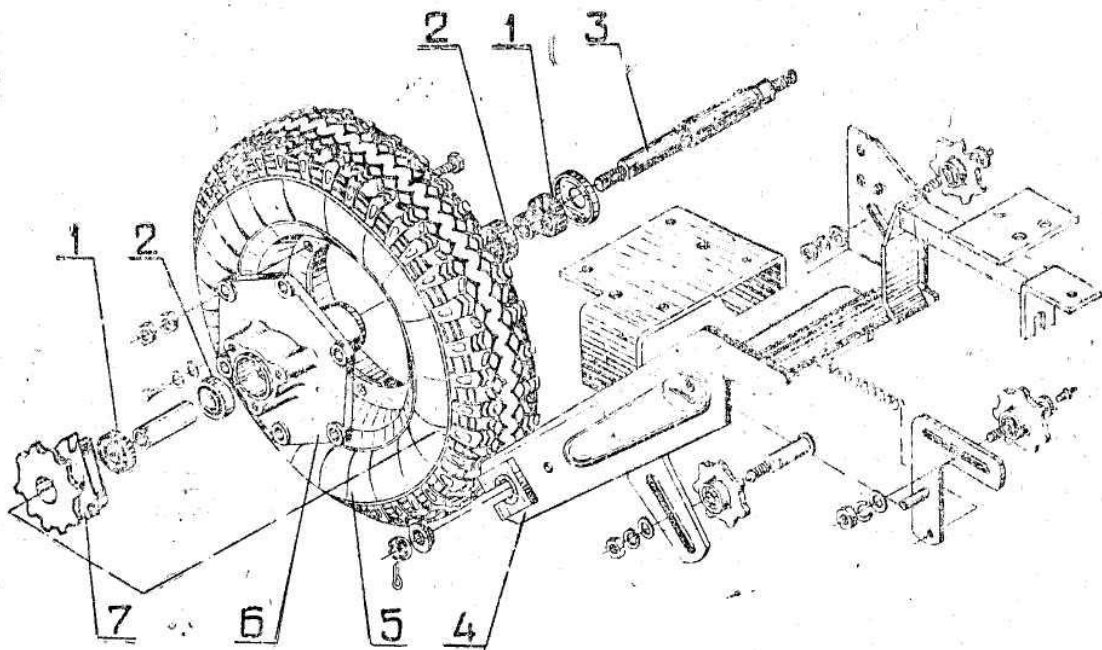


Рисунок 1.1 – Вузол опорно-приводного колеса бурякової сівалки ССТ-12Б

1.2 Аналіз технічних вимог до деталі

Необґрунтоване завищення умов по точності окремих поверхонь деталей та не технологічність елементів їх конструкції ускладнює їх обробку й збільшує вартість виробництва. Тому необхідно проведення аналізу технічних умов виготовлення деталей, умов точності розмірів й відносних поворотів, точності форми й шорсткості поверхонь деталей, а також аналіз технологічності їх конструкції.

Для систематизації аналізу виконуємо ескіз заданої деталі з нумерацією оброблюваних поверхонь й запишимо дані по умовам точності в таблиці.

Деталь вісь СМЕ 05.604 виготовляється з сталі 35, яка добре оброблюється та має високі механічні властивості.

Дана деталь, що є тілом обертання, має слідувачі поверхні: основними базуючими поверхнями, що визначають положення деталі у вузлі, є зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 40$ (8) (рис. 2.) та два отвори $\varnothing 20$ (10) та $\varnothing 10$ (11). Допоміжними базовими поверхнями, які визначають положення деталей, що приєднуються, є зовнішні циліндричні поверхні осі $\varnothing 35_{(-0,062)}$ (3), $\varnothing 45_{(-0,062)}$ (5), $\varnothing 55_{(-0,12)}$ (6) та різьбова поверхня М20-8g (2). Вільними поверхнями є циліндрична поверхня $\varnothing 38$, конічна поверхня (7) та торці осі.

Основними технологічними задачами обробки осі є:

- отримання зовнішніх поверхонь обертання з потрібною точністю;
- додержання співвісьності цапф осі відносно одна одної;
- додержання вимог, щодо радіального биття цапф осі відносно циліндричної поверхні $\varnothing 55$ мм.

Проаналізувавши конструкцію деталі, робимо висновок, що:

Конструкція вісі припускає обробку проходними чи контурними різцями.

Діаметральні розміри шийок осі зменшуються к кінцям. Деталь не має великих буртів та фланців. Отвори розміщені зручно для обробки.

Вісь має достатню жорсткість для отримання високоточної обробки (співвідношення довжини до діаметру < 10).,

Нетехнологічними поверхнями є отвори (11, 12), що розташовані радіально до осі деталі, та отвори (9 та 11), що є глухими.

В цілому вісь є технологічною, поверхні легкодоступними для обробки.

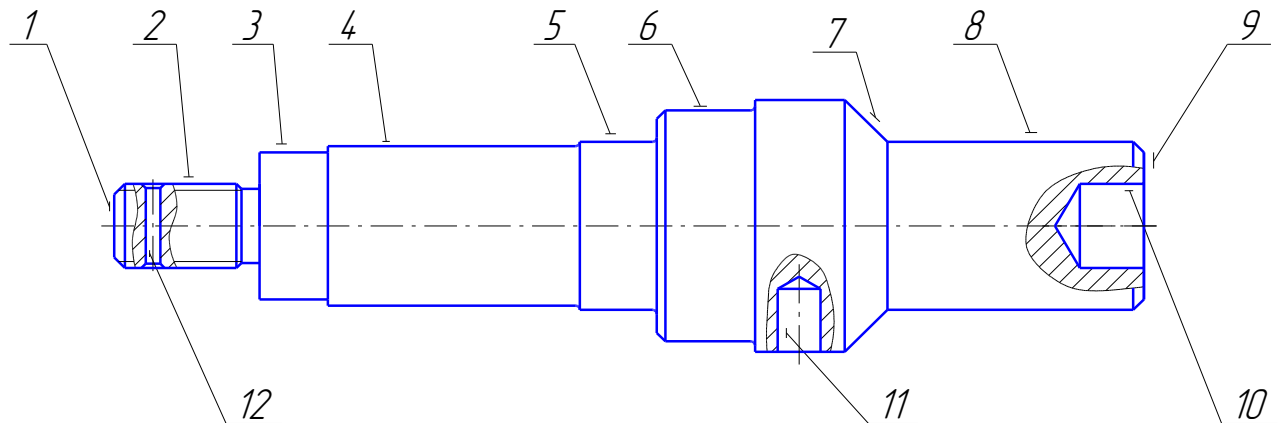


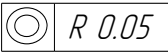
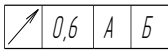
Рисунок 1.2 – Ескіз деталі вісь СМЕ 05.604 з нумерацією оброблюємих поверхонь

З метою систематизації параметрів точності оброблюємих поверхонь, зводимо їх до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри точності деталі

Позначення поверхні	Назва поверхні	Розмір з відхиленнями, заданими від даної поверхні	Квалітет точності	Точність відносних поворотів, відстаней, розміщення поверхні	Точність форми	Шорсткість поверхні (клас)
1	2	3	4	5	6	7
1,9	Торці	240^{+2}	14	-	-	12,5
2	Різьбова поверхня	M20	8g	-	-	6,3

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7
3	Зовн. ци- ліндрична	$\varnothing 35_{-0,062}$	9	- -	- -	1,25
4	Зовн. ци- ліндрична	$\varnothing 38$	14		-	12,5
5	Зовн. ци- ліндрична	$\varnothing 40_{-0,062}$	9	-	-	1,25
6	Зовн. ци- ліндрична	$\varnothing 55_{-0,12}$	10		-	0,63
7	Зовн. конічна	$\varnothing 60$	14		-	12,5
8	Зовн. ци- ліндрична	$\varnothing 40$	14	-	-	12,5
10	Отвір	$\varnothing 20, L=15$	14	-	-	12,5
11	Отвір	$\varnothing 10, L=15$	14	-	-	12,5
12	Отвір	$\varnothing 4$	14	-	-	12,5

Аналіз креслення деталі вісь показує, що креслення має усі необхідні розміри, вимоги точності, шорсткості, що застосовуються в сільськогосподарському виробництві. Проте вимоги точності поверхонь деталі надані не за нормалізованими рядами, що ускладнює механічну обробку і налагодження обладнання.

При обробці вводиться штучна технологічна база – вісь деталі.

1.3 Визначення типу та організаційної форми виробництва

Тип виробництва у відповідності з ДСТУ 3.110-74 вибирається по коефіцієнту закріплення операції K_{30} , який визначається з формули:

$$K_{30}=O/P, \quad (1.1)$$

де O – кількість різних операцій, що виконуються по базовому технологічному процесу на ділянці протягом прийнятого календарного терміну;

P – кількість робочих місць, що забезпечують (за трудомісткістю) виконання операцій базового технологічного процесу при заданій програмі випуску деталей.

Тип виробництва розраховуємо за допомогою програми. Результати приведені нижче.

Розрахунок типу виробництва

Вісь СМЕ05.604

Вихідні дані
Програма випуску 5000

Номер операції	дійсний річний фонд часу роботи обладнання	штучний час
5	3890	0.7300
10	3890	1.6500
15	3890	0.7700
20	3890	0.9000
25	3890	0.8500

Результати розрахунку

Номер операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	кількість операцій на даному верстаті
5	0.0195	1	40.92
10	0.0442	1	18.11
15	0.0206	1	38.80
20	0.0241	1	33.19
25	0.0228	1	35.15

коефіцієнт закріплення операцій 13.23441

Тип виробництва – середньосерійний

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз базового технологічного процесу

В базовому технологічному процесі механічної обробки деталі вісь СМЕ 05 604 заготовкою є поковка ступеня складності С₂, І класу точності. Даний спосіб отримання заготовок є економічним, та забезпечує необхідну точність та якість. Базовий технологічний процес механічної обробки деталі вісь СМЕ 05 604 складається з 8 операцій механічної обробки, операцій слюсарних та операцій технічного контролю [6-18].

Базовий технологічний маршрут механічної обробки осі СМЕ 05 604 є таким:

005 Токарна з ЧПК

Токарний з ЧПК 16K20Ф3С32.

010 Токарна з ЧПК

Токарний з ЧПК 16K20Ф3С32.

020 Вертикально-свердильна

Вертикально-свердильний 2Н125.

025 Вертикально-свердильна

Вертикально-свердильний 2Н125.

030 Вертикально-свердильна

Вертикально-свердильний 2Н125.

040 Різьбонакатна

Профіленакатний UPWS16.

050 Круглошліфувальна з ЧПК

Круглошліфувальний з ЧПК 3М152МФ2.

055 Круглошліфувальна з ЧПК

Круглошліфувальний з ЧПК 3М152МФ2.

Для обробки деталі в базовому технологічному процесі передбачені такі лезові інструменти: різці, різальною частиною яких є твердосплавні

матеріали, свердла з швидко ріжучою сталі, абразивний інструмент. Для встановлення і закріплення деталей використовуються механізовані затискні пристрої.

Аналіз базового технологічного процесу деталі показує, що в основному механічна обробка осі ведеться по принципу диференціації операцій. Використання токарних з ЧПК верстатів забезпечує велику продуктивність та якість. Послідовність операцій для досягнення заданих умов точності обрана вірна.

В цілому технологічний процес забезпечує отримання поставлених вимог на деталь.

Проте, проаналізувавши базовий технологічний процес вважаю, що використання для обробки двох отворів трьох вертикально-свердлильних верстатів є непродуктивним, потребує використання зайвої виробничої площі та зменшує ефективність використання верстатів. Також використання на різьбонакатній операції імпортного обладнання, на мою думку є економічно не доцільним.

2.2 Технологічна переробка робочого креслення деталі

Обробка деталі на верстатах з ЧПК виконується по командам, які визначені координатами опорних точок і розташовані на шляху різального інструменту в прямокутній системі координат. Таким чином на операційному ескізі розміри поверхонь також повинні визначатися в прямокутній системі координат. Для цього необхідно визначити початок та напрямок осей координат, які повинні співпадати з напрямком осей системи координат верстату.

З метою перетворення інформації про геометричне розташування поверхонь, в інформацію, яка керує переміщення робочих органів верстату,

необхідно перерахувати розміри на робочому кресленні деталі, задані у відносній системі координат, на розміри в абсолютній системі координат верстату.

Для цього визначимо нульову точку на деталі, і від неї, як від нового початку координат, перераховуємо координати всіх поверхонь деталі. Дані перерахунку представлені на новому, переробленому кресленні деталі, яке представлено в графічній частині роботи.

2.3 Вибір способу отримання заготовки

Виходячи із службового призначення та конфігурації деталі для її виготовлення пропонується використовувати якісну - сталь 35 за ДСТУ 1050-88.

Хімічний склад і фізико-хімічні властивості матеріалів надані в таблицях 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад матеріалу деталі

Марка матеріалу	Вміст елементів, %								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	As
Сталь 35	0.32-0.4	0.5-0.8	0.17-0.37	0.035	0.04	0.25	0.25	0.25	0.08

Таблиця 2.2 – Механічні властивості матеріалу деталі

Марка матеріалу	σ_B	σ_T	δ_5	ψ	HB
	МПа		%		
Сталь 35	430	215	20	48	123-167

При виборі способу отримання заготовки враховується конструкція деталі, матеріал, а також тип виробництва. Враховуючи всі ці умови для отримання заготовки деталі вісь пропонується гаряча штамповка витискуванням на кривошипних горячештампувальних пресах (КГШП). Використання цього методу отримання заготовки доцільно як в умовах масового так і серійного типів виробництва. Процес гарячої штамповки є продуктивним та забезпечує високу якість заготовок. Отримана заготовка матиме ступінь складності C_2 , та II клас точності.

Обґрунтування більш економічного варіанту заготівки проводимо порівнянням вартості варіантів заготовки.

Варіант 1 – круглий прокат.

Визначаємо вартість заготівки.

$$C_{\text{заг1}} = \frac{C_1}{1000} \cdot M_{\text{заг}} + C_p - (M_{\text{заг}} - M_{\text{дет}}) \cdot \frac{C_{\text{отх}}}{1000}, \quad (2.1)$$

де C_1 – базова вартість 1 т заготовок, дорівнює 35000 грн.

$C_{\text{отх}}$ – вартість 1 т відходів, дорівнює 7000 грн

$M_{\text{заг}}$ – маса заготовки з круглого прокату, дорівнює 5,4 кг

$M_{\text{дет}}$ – маса деталі, дорівнює 2,9 кг

C_p – вартість порізки, дорівнює 10 грн.

Отже відповідно до (2.1), маємо:

$$C_{\text{заг1}} = \frac{35000}{1000} \cdot 5,4 + 10 - (5,4 - 2,9) \cdot \frac{7000}{1000} = 181,5 \text{ грн.}$$

Варіант 2 – гаряча штамповка витискуванням.

Визначаємо вартість заготівки.

$$C_{\text{заг}} = \left(\frac{C_1}{1000} \cdot M_{\text{заг}} \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{\Pi} \right) - (M_{\text{заг}} - M_{\text{дем}}) \cdot \frac{C_{\text{омх}}}{1000}, \quad (2.2)$$

де C_1 – базова вартість 1 т заготовок, дорівнює 28000 грн.

$C_{\text{омх}}$ – вартість 1 т відходів, дорівнює 7000 грн

$M_{\text{заг}}$ – маса заготовки, дорівнює 3,45 кг

$K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{\Pi}$ – коефіцієнти залежні від класу точності, групи

складності, маси, марки матеріалу та об'єму виробництва.

$$K_T = 1, K_C = 0.88, K_B = 1.29, K_M = 1.27, K_{\Pi} = 1$$

Отже відповідно до (2.2), маємо:

$$C_{\text{заг}} = \left(\frac{28000}{1000} \cdot 3.45 \cdot 1 \cdot 0.88 \cdot 1.29 \cdot 1.27 \cdot 1 \right) - (3.45 - 2.9) \cdot \frac{7000}{1000} = 135.41 \text{ грн.}$$

Більш вигідним є спосіб одержання заготовки штамповкою на горизонтально-ковочних машинах.

2.4 Побудова маршрутів обробки окремих поверхонь деталі

Відповідно до службового призначення деталі, її поверхні мають різні вимоги по шорсткості, точності, твердості та ін. Ці вимоги забезпечуються різними технологічними методами обробки, що обираються з урахуванням конструкції і точності заготовки, матеріалу, наявності обладнання та ін. При цьому виходять з того, що наступний метод має бути точніше попереднього.

З урахуванням потрібної точності й шорсткості оброблюваних поверхонь деталі на основі закону копіювання похибок, розроблюємо маршрути обробки поверхонь (МОП). При цьому необхідно керуватися

типовими маршрутами обробки поверхонь й таблицями економічної точності методів обробки [19-28].

Наведемо побудову МОП для шийки Ø40h9 вісі СМЕ 05. 604.

Розраховуємо загальне уточнення:

$$\varepsilon_{\text{заг}} = \frac{\delta_z}{\delta_d} = \frac{1.2}{0.062} = 19.35 \quad (2.3)$$

де δ_z – допуск на розмір заготовки по поверхні, що аналізується;

δ_d – допуск на розмір по даній поверхні, по кресленню.

Перший маршрут:

- точіння чорнове – h14;
- точіння чистове – h12;
- шліфування чорнове – h10;
- шліфування чистове – h9.

Другий маршрут:

- точіння чорнове – h13;
- точіння чистове – h11;
- шліфування чорнове – h9.

Вибираємо уточнення по кожному проміжному методу обробки із таблиць економічної точності [5] вибираємо допуски на обробку і розраховуємо частинні уточнення:

$$\varepsilon_1 = \frac{1.2}{0.62} = 1.94;$$

$$\varepsilon_2 = \frac{0.62}{0.25} = 2.48;$$

$$\varepsilon_3 = \frac{0.25}{0.1} = 2.5;$$

$$\varepsilon_4 = \frac{0.1}{0.062} = 1.61.$$

Частинне уточнення для другого маршруту обробки:

$$\varepsilon_1 = \frac{1.2}{0.39} = 3.08;$$

$$\varepsilon_2 = \frac{0.39}{0.16} = 2.44;$$

$$\varepsilon_3 = \frac{0.16}{0.062} = 2.58.$$

Достатність і економічну доцільність вибору маршруту обробки перевіряємо за умовою фактичного уточнення:

$$\varepsilon_{\text{заг}} \leq \varepsilon_{\phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3; \quad (2.4)$$

1 маршрут:

$$\varepsilon_{\phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 = 1.94 \cdot 2.48 \cdot 2.5 \cdot 1.61 = 19.36 > \varepsilon_{\text{заг}} = 19.35.$$

Умова виконується.

2 маршрут:

$$\varepsilon_{\phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 = 3.08 \cdot 2.44 \cdot 2.58 = 19.35 > \varepsilon_{\text{заг}} = 19.35.$$

Умова виконується.

Таким чином більш прийнятним є маршрут по другому варіанту, бо він містить меншу кількість переходів і E_d^2 більш наближено до E_3 .

Вибір маршрутів обробки інших поверхонь наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Зведена таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь деталі вісь

Позначення поверхні	Допуск на поверхню, мкм	Шорсткість, мкм	Допуск на заготовку δ , мм	Загальне уточнення $\varepsilon_{\text{заг}}$	Можливі технологічні маршрути обробки поверхні		Економічні допуски на проміжні методи обробки	Частні коефіцієнти уточнення
					№	Зміст маршруту		
1	2000	12,5	4	2	1	1. Точіння чорнове	1150	3,47
2	210	6,3	1	4,76	1	1. Точіння чорнове 2. Накатування різи	210	4,76
3	62	1,25	1	16,1	1	1. Точіння чорнове	160	6,25
						2. Точіння чистове	62	2,58
					2	1. Точіння чорнове	160	2,6
						2. Шліфування	62	2,58
4	620	12,5	1	1,6	1	1. Точіння чорнове	620	1,6
5	62	12,5	1,2	19,35	1	1. Точіння чорнове	620	1,94
						2. Точіння чистове	250	2,48
						3. Шліфування чорнове	100	2,5
					2	4. Шліфування чистове	62	1,61
						1. Точіння чорнове	390	3,08
						2. Точіння чистове	160	2,44
						3. Шліфування	62	2,58
6	120	0,63	1	8,33	1	1. Точіння чорнове	190	5,26
						2. Точіння чистове	120	1,58

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
					2	1. Точіння чорнове 2. Шліфування чистове	190 120	5,26 1,58
7	740	12,5	1	5,4	1,35	1. Точіння чорнове	740	1,35
8	620	12,5	1	1,6	1	1. Точіння чорнове	620	1,6
9	2000	12,5	4	2	1	1. Точіння чорнове	1150	3,47
10	210	12,5	-	-	1	1. Свердлування	210	-
11	150	12,5	-	-	1	1. Свердлування	150	-
12	120	12,5	-	-	1	1. Свердлування	120	-

2.5 Розробка маршруту виготовлення деталі

Аналіз базового технологічного процесу та принципів попередньо визначеного типу виробництва дозволив зробити висновки, що в умовах середньосерійного виробництва доцільнішим є замінити три вертикально-свердлувальні операції базового технологічного процесу обробки деталі вісь СМЕ 05.604 (020, 025, 030) на свердлувальну з ЧПК з використанням верстату Rapidrill 500 фірми Fanuc, що надасть ділянці більшої гнучкості та продуктивності. Також для зменшення амортизаційних витрат можна замінити імпортний профіленакатний верстат моделі UPWS16 на різьбонарізний верстат вітчизняного виробництва моделі 5993 на якому можливо отримати необхідну точність та якість оброблюваної поверхні, при такій же продуктивності праці. Таким чином маршрут обробки деталі вісь СМЕ 05.604 матиме слідуєчий вигляд.

005 Токарна з ЧПК.

Точити торець, точити зовнішню циліндричну поверхню Ø40мм, точити конічну поверхню, свердлувати отвір Ø20мм.

010 Токарна з ЧПК.

Точити торець, свердлувати центровий отвір, точити по контуру зовнішні циліндричні поверхні осі з довгої сторони начорно.

015 Контрольна.

020 Вертикально-свердлувальна з ЧПК.

Свердлувати отвір Ø10мм, свердлувати отвір Ø4мм, зенкувати фаску.

025 Різьбонарізна.

Нарізати різьбу M20-8g.

030 Круглошліфувальна з ЧПК.

Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню Ø35мм, шліфувати зовнішню циліндричну поверхню Ø45мм.

035 Круглошліфувальна з ЧПК.

Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню Ø55мм.

040 Контрольна

2.6 Вибір технологічних баз

Намітивши маршрут обробки, обираємо технологічні бази для кожної технологічної операції. Вибір технологічних баз починаємо з чорнової бази на першій операції технологічного процесу, яка використовується для підготовки чистових технологічних баз.

При виборі технологічних баз на інших операціях керуємося принципом єдності та постійності баз.

Так як деталь вісь є тілом обертання, то в якості технологічної бази використаємо вісь центрів. Чорною базою слугуватиме зовнішня поверхня.

Остаточний вибір схеми базування для кожної операції проводимо при розробці структури та змісту технологічних операцій керуючись стандартом “Бази і базування в машинобудуванні”.

2.7 Розробка структури та змісту технологічних операцій на верстатах з ЧПК

Встановивши кількість переходів по обробці поверхонь устанавлюємо остаточну структуру та зміст технологічних переходів. При цьому підбираємо таку структуру операцій яка б забезпечила зменшення штучного часу.

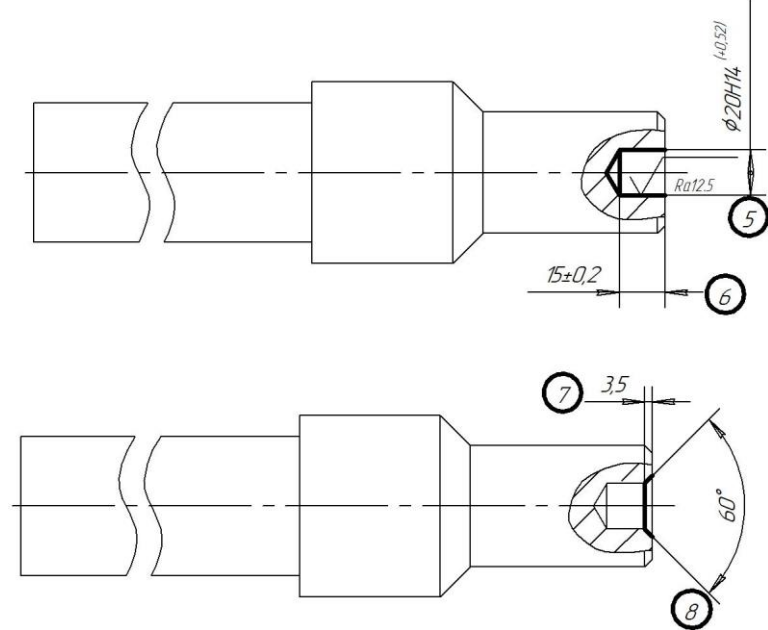
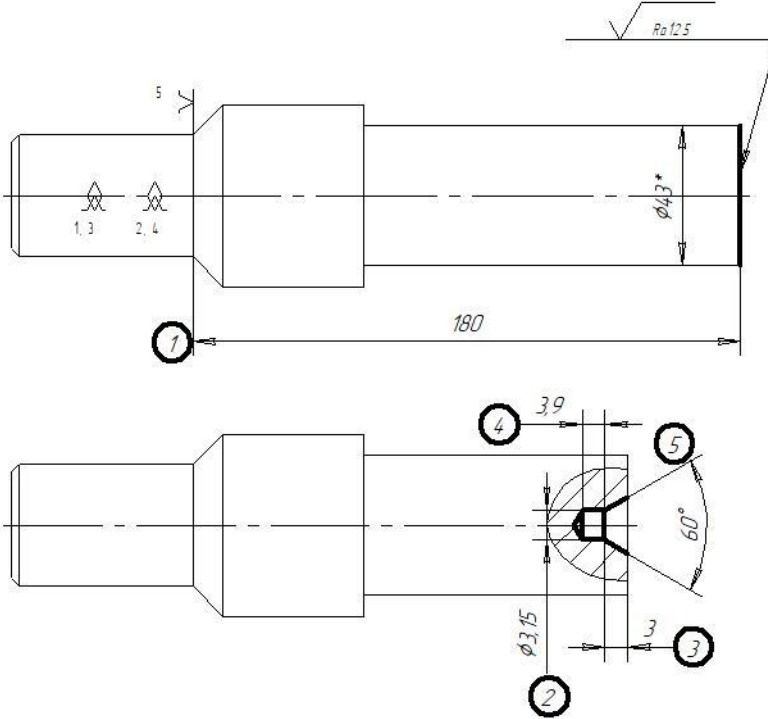
Тип виробництва, методи та точність обробки дозволяють визначати необхідні тип та модель верстату.

Розробимо структуру та зміст операцій технологічного процесу деталі вісь і занесемо дані до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Зміст операцій технологічного процесу обробки осі

Операція	Верстат	Ескіз обробки та схема базування	Зміст операції
1	2	3	4
005 Токарна з ЧПК	Токарно-гвинторізний з ЧПК SL-20 HAAS		1. Встановити, зняти деталь; 2 Точити торець осі витримавши розмір 1; 3. Точити по контуру, витримавши розміри 2, 3, 4.

Продовження таблиці 2.4

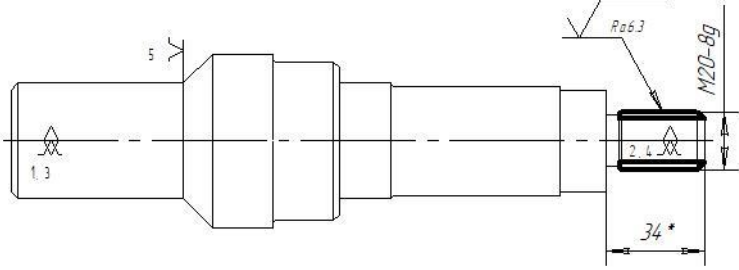
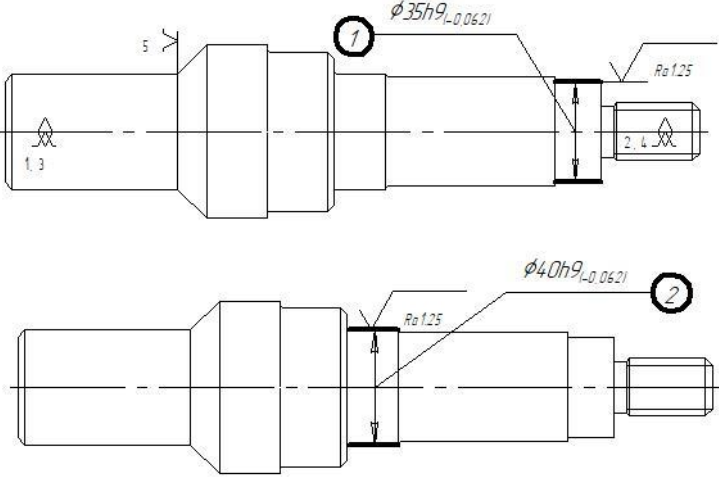
1	2	3	4
010 Токарна з ЧПК	Токарно-гвинторізний з ЧПК SL-20 HAAS		4. Свердлити отвір, витримавши розміри 5, 6; 5. Розточити фаску, витримавши розміри 7, 8.
			1. Встановити, зняти деталь; 2. Точити торець, витримавши розмір 1; 3. Свердлити центр. отвір, витримавши розміри 2, 3, 4, 5.

Продовження таблиці 2.4

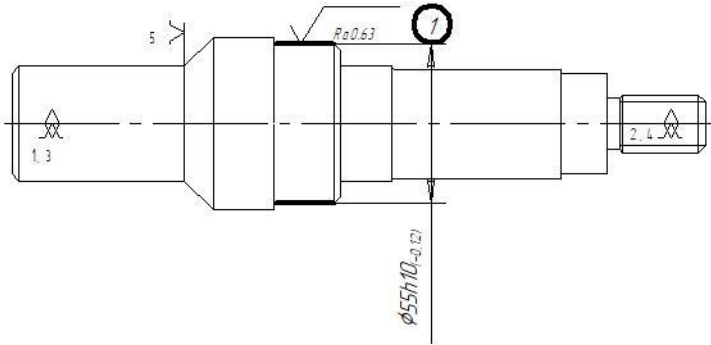
1	2	3	4
			4. Піджати заготовку центром; 5. Точити по контуру начорно, витримавши розміри 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22.

1	2	3	4
015 Свердлильна з ЧПК	Свердильний з ЧПК Rapidrill 500 Fanuc		1. Встановити, зняти деталь; 2. Свердлити отвір, витримавши розміри 1, 2, 3; 3. Свердлити отвір, витримавши розміри 4, 5; 4. Зенкувати фаску, витримавши розмір 6.

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
025 Різбонарізна	Різбонарізний 5993		1. Встановити, зняти деталь; 2. Нарізати різь, витримавши розмір 1;
030 Круглошліфувальна з ЧПК	Круглошліфувальний з ЧПК 3М152МФ2		1. Встановити, зняти деталь; 2. Шліфувати шийку, витримавши розмір 1; 3. Шліфувати шийку вісі, витримавши розмір 2.

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
035 Круглошліфувальна з ЧПК	Круглошліфувальний з ЧПК 3М152МФ2		1. Встановити, зняти деталь; 2. Шліфувати шийку, витримавши розмір 1.

2.8 Вибір металорізального обладнання

Для забезпечення запропонованого технологічного процесу механічної обробки деталі необхідно вибрати металорізальні верстати модель та тип яких визначаємо в залежності від методу та стадії обробки поверхонь деталі, змісту технологічних операцій точності обробки та типу виробництва.

Стислу характеристику та технологічні можливості обраних верстатів з ЧПК наводимо в таблицях 2.5 та 2.6.

Таблиця 2.5 – Обладнання для обробки деталі вісь СМЕ 05.604

№ оп	Верстат	Діапазон подачі	Габарити	Потуж ність	УРЕ	Макс. Розмір Обр-ки
005	Токарний з ЧПУ SL-20 HAAS	0,05...2,8 мм/об.	3,36x1,71	10	39.3	400
010	Токарний з ЧПУ SL-20 HAAS	0,05...2,8 мм/об.	3,36x1,71	10	39.3	400
015	Свердлильний з ЧПУ Rapidrill 500 Fanuc	10-500 мм/хв.	1,8x2,17	3,7	39,3	Ø35
025	Різьбонарізний 5993	300-450 мм/об.	2,125x1,215	3	23	M42
030	Круглошліфу- вальний з ЧПК 3M152MФ2	0,02-0,8 мм/хв.	3,15x1,82	4	27	Ø150
035	Круглошліфу- вальний з ЧПК 3M152MФ2	0,02-0,8 мм/хв.	3,15x1,82	4	27	Ø150

Таблиця 2.6 – Технологічні можливості верстатів з ЧПК

030, 035	005, 010	№ операції				
3M152MB	SL-20 HAAS	Модель верстату				
2400	5000	X		Прискорене переміщення по осям		
-	-	Y				
2400	5000					
2	2	всього		Число керуючих координат		
2	2	одночасно				
1	6	Кількість інструментів в інструментальному магазині				
-	1	Час повороту інструмента			Машино допоміжний час	
-	1	Час фіксації				
-	+	Точіння розточування			Види робіт,які виконуються на верстаті	
-	+	Розгортання свердлування				
+	+	Нарізання різьб				
-	-	шліфування				
-	-	площин				
-	-	контурне				
+	-	валів				

2.9 Вибір верстатних пристроїв, ріжучих і вимірювальних інструментів

Після вибору обладнання, необхідно наступним етапом встановити, які пристосування у відповідності з операційними ескізами необхідні для виконання операцій, згідно прийнятих технологічних процесів механічної обробки деталі вісь.

Тип та конструкція затискних пристроїв визначається на підставі прийнятої теоретичної схеми базування, конструктивних форм деталі та типу виробництва.

Стисла технічна характеристика вибраних затискних пристроїв приведена в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Затискні верстатні пристрої для обробки деталі вісь

№ оп	Назва пристрою	Код	Стантарт	Тип приводу
005	Патрон трикулачковий	7108-0024	ДСТУ 2571-71	пневматичний
010	Патрон трикулачковий Центр задній	7108-0024 7032-0043	ДСТУ 2571-71 ДСТУ 13214-79	пневматичний
020	Пристрій свердлильний	7364-4189	Спеціальний	пневматичний
020	Хомутик Центр задній Центр передній	7107-4005 7032-4027 7032-0030		
025	Хомутик Центр задній Центр передній	7107-4005 7032-4027 7032-0030		
030	Хомутик Центр задній Центр передній	7107-4005 7032-4027 7032-0030		

Ріжучий інструмент на операціях обираємо з урахуванням обраного верстату, поверхні що обробляється, максимального застосування нормалізованого стандартного інструменту, методу та стадії обробки (чорнова, чистова) типу виробництва, ріжучих властивостей та стійкості інструменту. Відомості про обраний інструмент заносимо до таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Різальний інструмент для обробки деталі вісь

№ оп	№ пер	Найменування інструменту	Код	ДСТУ	Різальна частина	
					Мат-ал	ГОСТ
1	2	3	4	5	6	7
005	2, 3, 4	Токарний збірний прохідний різець з механічним кріпленням твердосплавних пластин	2102-0079	26595-87	T5K10	3882-74
	5	Свердло Ø20мм	2103-0053	10903-77	P6M5	19265-73
010	2	Токарний збірний прохідний різець з механічним кріпленням твердосплавних пластин	2100-4021	8884-73	T5K10	3882-74
	3	Свердло центрове Ø3,15мм	2317-0006	14952-75	P6M5	19265-73
	5	Токарний збірний прохідний різець з механічним кріпленням твердосплавних пластин	2102-0079	26595-87	T5K10	3882-74

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7
020	2	Свердло Ø4,2	2300-655123	10902-77	P6M5	19265-73
	3	Свердло Ø7,2	00-6557	10902-77	P6M5	19265-73
	4	Свердло Ø10	2300-6552	10902-77	P6M5	19265-73
025	2	Різьбонарізний різець	1417-2249	21760-76	P6M5	19265-73
030	2	Круг шліфувальний ПП600х32х305 24А С2 5 κ5 50 м/с 1 кл.А	2712-4015	2424-83	Білий електрокорунд	
035	2	Круг шліфувальний ПП600х32х305 24А С2 5 κ5 50 м/с 1 кл.А	2712-4015	2424-83	Білий електрокорунд	

Засоби технічного контролю технічних операцій обирають з урахуванням точності вимірювання, розміру, якості вимірювальної поверхні та типу виробництва. Відомості про засоби технічного контролю приводимо в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Вибір вимірювальних інструментів і пристроїв

№ оп	№ пер	Контролюємий параметр	Назва вимірювального інструменту чи контрольного пристрою	Код	ДСТУ
1	2	3	4	5	6
005	2	60^{+3}_{-3}	Штангенциркуль -II 250-0,1	393311	166-80
	3	$\varnothing 40_{-0,62}$	Калібр-скоба	8113-0132	18368-73
	5	$\varnothing 20$	Калібр-пробка	8133-0902	14807-69

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4	5	6
010	2	180	Штангенциркуль -II 250-0,1	393311	166-80
	3	$\varnothing 18,3_{-0,21}$	Калібр-скоба	8113-0132	18368-73
		$\varnothing 35,5_{-0,16}$	Калібр-скоба	8113-0133	18368-73
		$\varnothing 38_{-0,62}$	Калібр-скоба	8113-0134	18368-73
		$\varnothing 40,5_{-0,16}$	Калібр-скоба	8113-0135	18368-73
		$\varnothing 55,3_{-0,19}$	Калібр-скоба	8113-0136	18368-73
		$34^{+0,3}_{-0,3}$	Шаблон $l=34^{+0,3}_{-0,3}$	8407-0654	
		$16_{-0,43}$	Шаблон $l=16^{+0,43}$	8407-0623	
		$75^{+0,3}_{-0,3}$	Шаблон $l=75^{+0,3}_{-0,3}$	8407-0627	
		$93_{-0,87}$	Шаблон $l=93_{-0,87}$	8407-0629	
		$115^{+0,3}_{-0,3}$	Шаблон $115^{+0,3}_{-0,3}$	8407-0632	
		$180^{+0,5}_{-0,5}$	Шаблон $180^{+0,5}_{-0,5}$	8407-0688	
020	2	$\varnothing 4,2$	Калібр-пробка	8113-0133	14807-69
	3	$\varnothing 10$	Калібр-пробка	8113-0134	14807-69
025	2	M20-8H	Кольцо	8211-0080	
030	2	$\varnothing 35_{-0,062}$	Калібр-скоба	8113-0226	18368-73
		$\varnothing 40_{-0,062}$	Калібр-скоба	8113-0226	18368-73
035	2	$\varnothing 55_{-0,12}$	Калібр-скоба	8113-0226	18368-73

2.10 Визначення припусків та операційних розмірів

Розрахунок припусків на механічну обробку та операційних розмірів здійснюється для найбільш точної поверхні деталі вал СЗГ 00.665-01 – зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 40h9$ яка обробляється за маршрутом:

- точіння чорнове;
- точіння напівчистове;
- шліфування.

Мінімальні припуски розраховуємо по методу Кована за формулою:

$$2Z_{i\min} = 2\left(R_{Zi-1} + T_{i-1}\sqrt{\rho_{i-1}^2 + E_{yi}^2}\right), \quad (2.5)$$

де R_{Zi-1} , T_{i-1} , ρ_{i-1} – відповідно, висота шорсткості, глибина дефектного поверхневого шару та сумарне значення просторових відхилень для елементарної поверхні на попередньому переході;

E_{yi} – похибка встановлення заготовки на виконаному переході.

Для чорнового точіння висота шорсткості $R_z = 0,150$ мм.

Глибина дефектного поверхневого шару $T = 0,200$ мм.

Сумарне відхилення для чорнового точіння становить:

$$\rho_{\text{кор}} = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2} \quad (2.6)$$

де $\rho_{\text{см}}$ – похибка заготовок, штампованих на ГKM $\rho_{\text{см}} = 0,5$ мм;

$\rho_{\text{кор}}$ – похибка штампованих заготовок отриманих на ГKM по коробленню заготовки $\rho_{\text{кор}} = 0,5$ мм;

$\rho_{\text{ц}}$ – похибка зміщення центру.

$$\rho_{\text{ц}} = \sqrt{\left(\frac{\delta_3}{2}\right)^2 + 0,25^2} \quad (2.7)$$

де δ_3 – допуск на поверхню розраховується по формулі:

$$\delta_3 = H_{\text{ед}} + I_{\text{ш}} + K_y \quad (2.8)$$

де $H_{\text{ед}}$ – елемент допуску на недоштамповку $H_{\text{ед}} = 0,5$ мм;

$I_{\text{ш}}$ – елементи допуску по зносу штампів $I_{\text{ш}} = 0,5$ мм;

K_y – коливання усадки заготовки по температурному інтервалу штамповки приймаємо $1,0$ мкм/мм $K_y = 1,0 \cdot 205 = 205$ мкм = $0,205$ мм;

$$\delta_3 = 0,5 + 0,5 + 0,205 = 1,2 \text{ мм.}$$

$$\rho_{\text{ц}} = \sqrt{\left(\frac{1,2}{2}\right)^2 + 0,25^2} = 0,65 \text{ мм.}$$

$$\rho_{\text{чор}} = \sqrt{0,5^2 + 0,5^2 + 0,65^2} = 0,96 \text{ мм.}$$

Похибка встановлення заготовки на виконуємому переході становить $E_y = 0,100$ мм.

Визначаємо мінімальний припуск для чорнового точіння за (2.5):

$$2Z_{1\text{min}} = 2\left(0,15 + 0,2 + \sqrt{0,96^2 + 0,10^2}\right) = 2 \cdot 1,31 = 2,62 \text{ мм.}$$

Для напівчистового точіння висота шорсткості $R_z = 0,050$ мм.

Глибина дефектного поверхневого шару $T = 0,050$ мм.

Сумарне відхилення для напівчистового точіння становить:

$$\rho_{\text{чис}} = K_y \cdot \rho_{\text{чор}} = 0,37 \cdot 1,21 = 0,45 \text{ мм.}$$

де K_y – коефіцієнт уточнення форми після чорнового точіння штампованих заготовок $K_y = 0,37$.

Похибка встановлення заготовки на виконуємому переході становить $E_y = 0,75$ мм.

Визначаємо мінімальний припуск для напівчистового точіння за (2.5):

$$2Z_{2\text{min}} = 2\left(0,05 + 0,05 + \sqrt{0,45^2 + 0,75^2}\right) = 2 \cdot 0,97 = 1,94 \text{ мм.}$$

Для чистового точіння висота шорсткості $R_z = 0,030$ мм.

Глибина дефектного поверхневого шару $T = 0,030$ мм.

Сумарне відхилення для чистового точіння становить:

$$\rho_{\text{чис}} = K_y \cdot \rho_{\text{нчис}} = 0,77 \cdot 0,45 = 0,35 \text{ мм.}$$

де K_y – коефіцієнт уточнення форми після чорнового точіння штампованих заготовок $K_y = 0,77$.

Похибка встановлення заготовки на виконуємому переході становить $E_y = 0,30$ мм.

Визначаємо мінімальний припуск для чистового точіння за (2.5):

$$2Z_{3\min} = 2(0,03 + 0,03 + \sqrt{0,35^2 + 0,30^2}) = 2 \cdot 0,52 = 1,04 \text{ мм.}$$

Мінімальні діаметри осі:

$$D_{\min}^{\text{шліф}} = D_{\text{дет}} - \delta_{\text{дет}} = 40 - 0,13 = 39,87 \text{ мм.}$$

$$D_{\min}^{m.\text{нчис.}} = D_{\min}^{m.\text{нчис.}} + 2Z_{3\min} = 39,87 + 1,04 = 40,91 \text{ мм.}$$

$$D_{\min}^{m.\text{чор.}} = D_{\min}^{m.\text{нчис.}} + 2Z_{2\min} = 40,91 + 1,94 = 42,85 \text{ мм.}$$

$$D_{\min}^{\text{заг.}} = D_{\min}^{m.\text{чор.}} + 2Z_{1\min} = 42,85 + 2,62 = 45,47 \text{ мм.}$$

Максимальні діаметри осі:

$$D_{\max}^{\text{шліф}} = D_{\min}^{\text{шліф}} + \delta_{\text{чис}} = 39,87 + 0,058 = 39,93 \text{ мм.}$$

$$D_{\max}^{m.\text{нчис.}} = D_{\min}^{m.\text{нчис.}} + \delta_{\text{нчис}} = 40,91 + 0,1 = 41,01 \text{ мм.}$$

$$D_{\max}^{m.\text{чор.}} = D_{\min}^{m.\text{чор.}} + \delta_{\text{чор}} = 42,85 + 0,2 = 43,05 \text{ мм.}$$

$$D_{\max}^{\text{заг.}} = D_{\min}^{\text{заг.}} + \delta_{\text{заг}} = 45,47 + 0,70 = 46,17 \text{ мм.}$$

де $\delta_{\text{чис}}$, $\delta_{\text{чир}}$, $\delta_{\text{заг}}$, – технологічні допуски відповідно на чистове точіння, напівчистове точіння, чорнове точіння та заготовку їх значення вибираємо з довідників.

Граничні значення максимальних припусків становлять:

Для чорнового точіння:

$$2Z_{1\max} = D_{\max}^{\text{заг}} - D_{\max}^{\text{чор}} = 46,17 - 43,05 = 3,12 \text{ мм.}$$

Для напівчистового точіння:

$$2Z_{2\max} = D_{\max}^{\text{чор.}} - D_{\max}^{\text{нчис}} = 43,05 - 41,01 = 2,04 \text{ мм.}$$

Для шліфування:

$$2Z_{3\max} = D_{\max}^{\text{нчор.}} - D_{\max}^{\text{чис}} = 41,01 - 39,93 = 1,08 \text{ мм.}$$

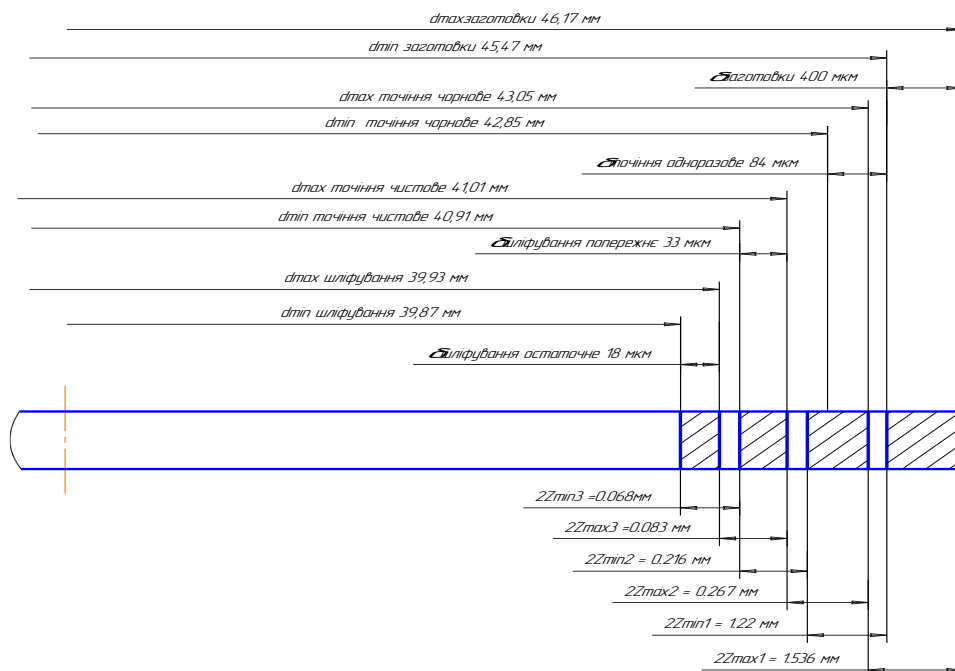


Рисунок 2.1 – Схема графічного розташування полів допусків деталі
вісь зовнішньої циліндричної поверхні Ø40h9

На решту поверхонь деталі припуски визначаємо за довідковими таблицями. Вибрані величини припусків для деталі вісь подаємо у таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Припуски й допуски на оброблювані поверхні вісі

Пов- ня	Розмір	Припуск	Допуск
		Табличний	
1, 9	240 ⁺²	2*2,5	+1,1 -0,7
2	M20-8g	2*2,3	+1,1 -0,7
3	Ø35 ^{-0,062}	2*2,3	+1,1 -0,7
4	Ø38 ^{-0,62}	2*1,8	+1,8 -1,0
5	Ø40 ^{+0,03 +0,011}	2*2,3	+1,1 -0,7
6	Ø55 ^{-0,120}	2*2,4	+1,1 -0,7
7	Ø60 ^{-0,62}	2*1,9	+1,5 -1
8	Ø40 ^{-0,62}	2*1,8	+1,8 -1,0

2.11 Визначення режимів різання

Операція 010 Токарна с ЧПУ.

Верстат SL-20 HAAS.

1. Точити торець витримуючи розмір 180мм.
2. Свердлити центровий отвір Ø3,15мм.
3. Точити начерно шийки осі витримуючи розміри Ø18,3мм; Ø35,5 мм; Ø38 мм; Ø40,5мм, Ø55,3 мм; 34 мм; 16мм; 75мм, 93мм, 115мм.

Обробку проводим різцями з твердосплавним ріжучими пластинами T5K10 на 2, 5 переході та центровим свердлом з швидкоріжучої сталі P6M5 на 3 переході.

Виберемо геометрію ріжучої частини. Для різців приймаємо форму передньої поверхні радіусну з фаскою.

Кути: $\varphi=93^0$; $\varphi_1=8^0$; $\gamma=10^0$; $\alpha= 3^0$; $\lambda= 0^0$.

2 перехід.

Глибину різання приймаємо рівною припуску $t=2.5\text{мм}$.

Визначаємо оборотну подачу $S_{об} = 0,51\text{мм/об}$.

Верстат має безступеневе регулювання подач.

Розраховуємо швидкість різання за формулою:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v, \quad (2.9)$$

де значення коефіцієнтів $C_v=350$; $x=0,15$; $y=0,35$; $m=0,20$;

K_v – поправочний коефіцієнт, знаходимо за формулою:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv}, \quad (2.10)$$

де K_{nv} – коефіцієнт враховуючий стан поверхні дорівнює 0,8;

K_{iv} – коефіцієнт враховуючий матеріал інструмента дорівнює 0,65;

K_{mv} – коефіцієнт враховуючий вплив матеріалу заготовки:

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_v} \right)^{n_v}, \quad (2.11)$$

$$K_r = 1; n_v = 1$$

$$K_{mv} = 1 \left(\left(\frac{750}{430} \right) \right)^1 = 1,74$$

Тож відповідно до (2.9) маємо:

$$v = \frac{350}{60^{0,2} \times 2,5^{0,15} \times 0,51^{0,35}} \times 1,74 \times 0,8 \times 0,65 = 154 \text{ м / хв}$$

Визначаємо необхідну кількість обертів шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000v}{\pi D}, \quad (2.12)$$

де D – діаметр обробки (42мм).

Тож:

$$n = \frac{1000 \times 154}{3,14 \times 42} = 1167 \text{ об/хв}$$

Корегуємо по паспорту верстата й приймаємо $n_d = 1000$ об/хв.

Коректуємо швидкість різання:

$$v_\phi = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \times 42 \times 1000}{1000} = 131 \text{ м/хв},$$

Розрахуємо силу різання по формулі:

$$P_z = 10 C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_p, \quad (2.13)$$

Значення коефіцієнтів та показників $C_p=300$; $x=1$; $y=0,75$; $n=-0,15$.

K_p – поправочний коефіцієнт знаходимо за формулою:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p}, \quad (2.14)$$

$$K_{mp} = \left(\left(\frac{\sigma_v}{750} \right) \right)^n = \left(\left(\frac{430}{750} \right) \right)^{0,75} = 0,65.$$

$$K_{\phi p} = 0,89; K_{\gamma p} = 1; K_{\lambda p} = 1.$$

$$K_p = 0,65 \times 0,89 \times 1 \times 1 = 0,59.$$

Відповідно до залежності (2.13) маємо:

$$P_z = 10 \times 300 \times 2,5^1 \times 0,51^{0,75} \times 131^{-0,15} \times 0,59 = 1285 H$$

Знайдемо потужність різання:

$$N = \frac{P_z V}{1020 \times 60} = \frac{1285 \times 131}{1020 \times 60} = 2,75 \text{ кВт}$$

Виконаємо перевірку по потужності приводу верстата:

$$N_{\text{різ}} \leq 1,2 \cdot N_{\text{дв}} \cdot \eta,$$
$$2,75 \leq 1,2 \times 10 \times 0,85 = 10,2.$$

Таким чином робимо висновок, що процес різання можливий.

Знаходимо коефіцієнт використання верстата по потужності:

$$\eta_N = \frac{N_{\text{прі}}}{N_{\text{дв}} \times \eta} = \frac{2,75}{10 \times 0,85} = 0,32.$$

Знаходимо основний технологічний час автоматичної роботи верстата

$$T_o = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S m_i}, \quad (2.15)$$

де L_i – довжина шляху, що його пройде інструмент.

$$L = D/2 = 42/2 = 21 \text{ мм},$$

де l_1 – довжина на врізання інструменту.

l_2 – довжина на перебіг інструменту.

$l_1 = 3 \text{ мм}; l_2 = 2 \text{ мм}.$

$$T_o = \frac{21 + 3 + 2}{0.51 \times 1000} = 0,05 \text{ хв.}$$

3 перехід.

Глибина різання дорівнює:

$$t_{3\text{пер}} = D_{\text{св}} / 2 = 6,15 / 2 = 3,075 \text{ мм,}$$

де $D_{\text{св}}$ – максимальний діаметр центрового свердла, мм

Визначаємо оборотну подачу $S_{\text{об}} = 0,13 \text{ мм / об.}$

Верстат має безступеневе регулювання подач

Розраховуємо швидкість різання:

$$v = \frac{C_v D^g}{T^m S^y} K_v, \quad (2.16)$$

де значення коефіцієнтів та показників степені $C_v=7$; $g=0,4$; $y=0,70$; $m=0,20$;

K_v – поправочний коефіцієнт, знаходимо за формулою (2.10).

Тож до формули (2.15), маємо:

$$v = \frac{7 \times 3,15^{0,4}}{60^{0,2} \times 0,13^{0,7}} \times 1,74 \times 1 \times 0,65 = 23 \text{ м / хв}$$

Визначаємо необхідну кількість обертів шпинделя за формулою (2.12).

$$n_1 = \frac{1000 \times 23}{3,14 \times 6,15} = 1190 \text{ об / хв}$$

Корегуємо по паспорту верстата й приймаємо $n_d=1000 \text{ об/хв.}$

Коректуємо швидкість різання:

$$v_{\phi} = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \times 6,15 \times 1000}{1000} = 19,3 \text{ мм / хв.}$$

Розрахуємо крутний момент:

$$M_{кр} = 10 \times C_M \times D^g \times s^y \times K_p, \quad (2.17)$$

де значення коефіцієнтів та показників $C_M=0,0345$; $g=2$; $y=0,8$;

K_p – поправочний коефіцієнт знаходимо за формулою:

$$K_{mp} = \left(\left(\frac{\sigma_v}{750} \right)^n \right) = \left(\left(\frac{430}{750} \right)^{0,75} \right) = 0,65.$$

Тож, маємо

$$M_{кр} = 10 \times 0,0345 \times 6,15^2 \times 0,13^{0,8} \times 0,65 = 2,55 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Знайдемо потужність різання:

$$N = \frac{M_{кр} n}{1020 \times 60} = \frac{2,55 \times 1000}{1020 \times 60} = 0,041 \text{ кВт}.$$

Знаходимо основний технологічний час за формулою (2.15).

$$T_o = \frac{12,8 + 3 + 2}{130} = 0,14 \text{ хв.}$$

5 перехід.

Глибину різання приймаємо рівною найбільшому припуску $t=2,5 \text{ мм}$.

Визначаємо оборотну подачу $S_{об} = 0,51 \text{ мм / об.}$

Розраховуємо швидкість різання:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v, \quad (2.18)$$

де значення коефіцієнтів та показників степені $C_v=350$; $x=0,15$; $y=0,35$; $m=0,20$;

K_v – поправочний коефіцієнт, знаходимо за формулою (2.10).

Тож до формули (2.18), маємо:

$$v = \frac{350}{60^{0,2} \times 2,4^{0,15} \times 0,51^{0,35}} \times 1,74 \times 0,8 \times 0,65 = 155 \text{ м / хв.}$$

Визначаємо необхідну кількість обертів шпинделя за формулою (2.12).

$$n = \frac{1000 \times 155}{3,14 \times 60} = 823 \text{ об / хв.}$$

Корегуємо по паспорту верстата й приймаємо $n_d=800$ об/хв.

Коректуємо швидкість різання:

$$v_\phi = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \times 60 \times 800}{1000} = 150 \text{ м / хв.}$$

Розрахуємо силу різання відповідно до залежності (2.13):

$$P_z = 10 \times 300 \times 2,5^1 \times 0,51^{0,75} \times 150^{-0,15} \times 0,59 = 1259 \text{ Н.}$$

Знайдемо потужність різання:

$$N = \frac{PzV}{1020 \times 60} = \frac{1259 \times 150}{1020 \times 60} = 3 \text{ кВт}$$

Знаходимо основний час роботи верстата за формулою (2.15).

$$T_o = \frac{170 + 3 + 2}{0.51 \times 800} = 0,42 \text{ хв.}$$

На решту операцій елементи режимів різання визначаємо по нормативним документам та заносимо до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 - Режими різання для обробки вісі СМЕ 05.604

№ оп.	№ п	t, мм	S мм/об	S мм/хв	V м/хв	n об/хв	N _{різ} кВт	η _n	L _{гх} , мм	T _о , хв
005	2	2,5	0,51	510	131	1000	2,75	0,35	26	0,05
	3	2,5	0,51	408	150	800	3	0,32	80	0,2
	4,5	10	0,35	140	24	400	1,5	0,18	18	0,12
010	2	2,5	0,51	510	131	1000	2,75	0,35	26	0,05
	3	3,075	0,13	130	19,3	1000	0,04	0,004	10	0,14
	5	2,5	0,51	408	150	800	3	0,32	175	0,42
020	2	5	0,25	157,5	19,8	630	0,8	0,25	18	0,11
	3,2	2	0,1	200	25,2	2000	-	-	25	0,125
025	2	2	2,5	600	7,6	240	-	-	35	0,06
030	2	0,175	0,63	126	19,15	200/ 1590*	2	0,3	2,175	0,2
	3	0,175	0,63	126	25,4	200/ 1590*	2	0,3	2,175	0,2
035	2	0,1	0,5	72,5	25,1	145/ 1590*	2	0,3	2,1	0,4

*оберти деталі/оберти круга

2.12 Технічне нормування операцій

Норми часу на виконання операцій в умовах серійного виробництва встановлюємо розрахунковим методом. При цьому визначають штучно-калькуляційний час, хв.

Визначаємо норму часу для 010 токарної з ЧПУ операції по обробці вісі СМЕ 05.604.

Норма часу на виконання операцій на верстаті з ЧПУ знаходимо за формулою:

$$T_{шкк} = T_{ш} \frac{T_{пз}}{n}, \quad (2.19)$$

$$T_{ш} = (T_{ца} + T_{с} \cdot K_{тс}) \cdot \left(1 + \frac{\alpha_{тех} + \alpha_{орг} + \alpha_{отл}}{100}\right), \quad (2.20)$$

де $T_{ца}$ – час циклу автоматичної роботи;

$T_{ца}=0,868$ хв.

$T_{с}$ – допоміжний час знаходимо за формулою:

$$T_{с} = T_{сy} + T_{соп} + T_{с.изм}, \quad (2.21)$$

де $T_{сy}=0,21$ хв, час на встановлення й зняття деталі вручну;

$T_{соп}=0,04+0,03=0,07$ хв, допоміжний час, пов'язаний з операцією (те що невійшло в керуючу програму);

$T_{с.изм} = 0,08 \cdot 3 = 0,24$ хв, допоміжний неперекривальний час на вимірювання.

$K_{тс}=1$, поправочний коефіцієнт на час виконання ручної допоміжної роботи в залежності від партії обробляємих деталей.

$\alpha_{тех}=7\%$; $\alpha_{орг}=7\%$; $\alpha_{отл}=5\%$.

$n=200$ шт, – партія деталей;

$T_{пз}$ – підготовчо-заключний час.

$$T_{пз}=4+9+2+6,5+0,15+0,5*4+1+5+0,2=29,85 \text{ хв.}$$

$$T_{ш}=(0,868+(0,21+0,07+0,24)*1)*(1+(7+7+5)/100)=1,65 \text{ хв.}$$

$$T_{штк}=1,65+29,85/200=1,8 \text{ хв.}$$

На решту технологічних операцій приводимо тільки результати нормування проведені згідно рекомендацій [5].

Результати вибору та розрахунків заносимо до таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Норма часу на обробку вісі СМЕ 05.604

№ оп	T _о	t _{в1}	t _{в2}	t _{в3}	t _{в4}	t _в	t _{техн}	t _{орг}	t _{пер}	t _{шт}	T _{п.з}	T _{шт.к}
							%					
005	0.27	0,17	0,07	-	0,1	0.39	7	7	5	0,73	29.85	0,88
010	0.868	0.21	0.07	-	0.24	0.52	7	7	5	1.65	29.85	1,8
020	0.235	0,19	0,07	-	0,15	0,41	7	7	5	0,77	29.85	0,91
025	0.06	0,17	0,24	-	0,2	0,61	4	4	5	0,75	15	0,825
030	0.4	0,16	0,07	-	0,15	0,38	6	5	4	0,9	29.85	1,05
035	0.4	0,16	0,07	-	0,1	0,33	6	5	4	0,85	29.85	0,99

2.13 Розробка траєкторії рухів інструментів та розрахунок координат опорних точок

Керуюча програма обробки деталі на верстаті з ЧПК описує рух різального інструменту відносно поверхонь деталі, яка оброблюється.

Ескізи деталі з нумерацією опорних точок та їх координати для 005 та 010 операції представлені на рис. 2.2 та 2.3.

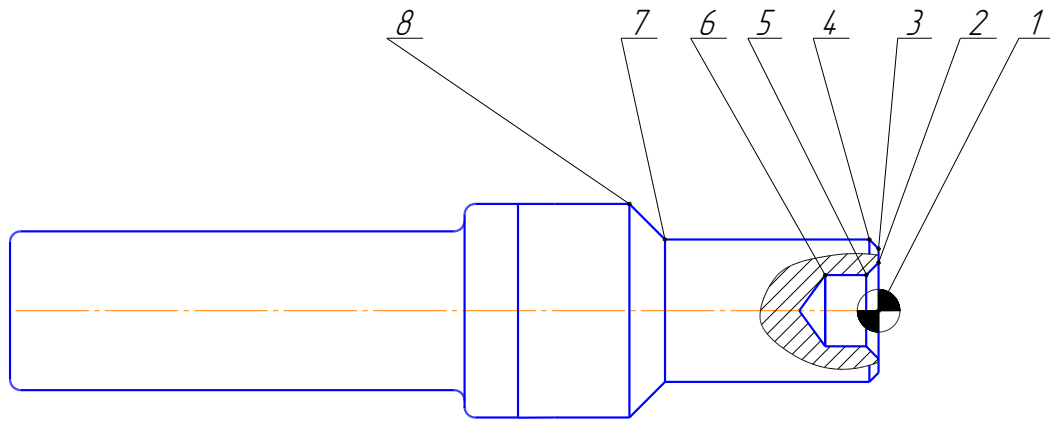


Рисунок 2.2 – Опорні точки при обробці вісі на 005 операції

Таблиця 2.13 – Координати опорних точок (005 операція)

Номер опорної точки	X	Z
1	0	0
2	23	0
3	38	0
4	40	-2,6
5	20	-3,5
6	20	-15
7	40	-60
8	55	-70

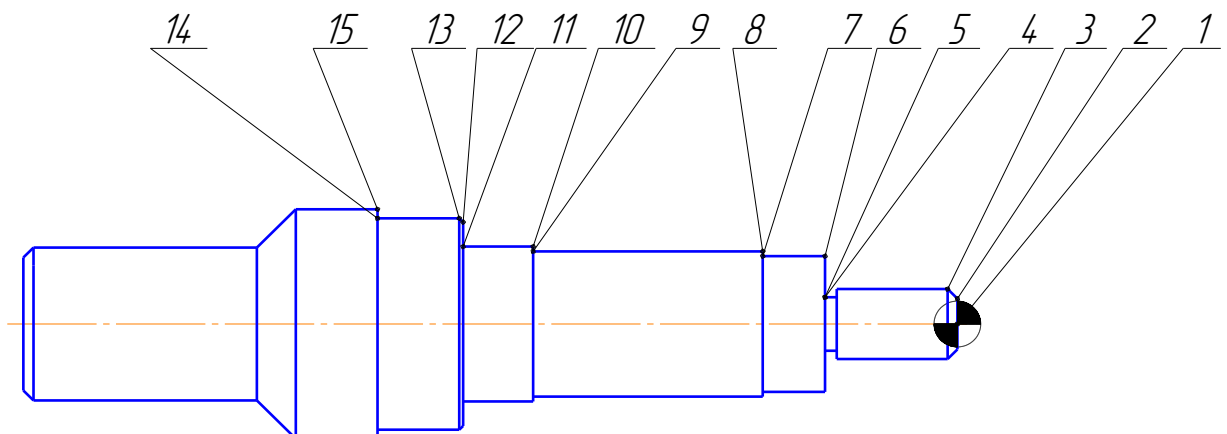


Рисунок 2.3 – Опорні точки при обробці вісі на 010 операції

Таблиця 2.14 – Координати опорних точок (010 операція)

Номер опорної точки	X	Z
1	0	0
2	18	0
3	18,3	-2,5
4	18,3	-34
5	16,4	-34
6	35,5	-34
7	35,5	-50
8	38	-50
9	38	-109
10	40,5	-109
11	40,5	-127
12	54,3	-127
13	55,3	-128
14	55,3	-149
15	57	-149

2.14 Розробка програм керування

Програма керування обробкою деталі розробляється у відповідності з прийнятою на даному верстаті системою оперативного керування ЧПК.

Програма керування (010 операція)

№1 S1000 F0.51 N1

№2 W-45E

№3 V-57E

№4 W-5 V-0.1 F0.5

№5 V-43
№6 W1
№7 W49 V100E
№8 T2
№9 W-45
№10 F0.13 M08 W-12
№11 W0.1 E M09
№12 M00 T1
№13 W-45 V-315E
№14 W-39 S800 F0.5
№15 V11.5
№16 W-16
№17 V2.5
№18 W-16
№19 V25
№20 W-18
№21 V12.5
№22 W1V1
№23 W151E
№24 V-368
№25 W-2F0.5
№26 W-2.5 V5
№27 W-31.5
№28 V1
№29 W4 F1
№30 F0.5 W-4 V-8
№31 W1 V10 E1
№32 W75 V335
№33 M02

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена розробці технології обробки деталі вісь СМЕ 05.604, яка входить до вузла опорно-приводного колеса бурякової сівалки ССТ-12Б.

1. В роботі було проведено аналіз точності та технологічності конструкції деталі та розроблено маршрутний технологічний процес її обробки.

2. Виконано розробку структури та змісту технологічної операції з розробкою теоретичних схем базування.

3. Проведені розрахунки припусків, режимів різання та виконано технічне нормування операцій механічної обробки.

4. Розроблено кресленики зі схемами механічної обробки та перероблене креслення деталі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування технологічного спорядження : посібник. Львів : Світ, 2001. 296 с.
2. Боровик О. В., Малашин М. О. Довідник з креслення. Стандарти ISO : навчально-методичний посібник. Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2014. 104 с.
3. Мажара, В. А., Гречка, А. І., Свяцький, В. В., Щербина, К. К., Мірзак, В. Я., Селехова, В. М., ... & Шмельов, В. М. (2024). Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти. Спец. 131 «Прикладна механіка». Кропивницький : ЦНТУ, 2024 – 40 с.
4. Щербина, К. К., Шмельов, В. М., Скрипник, О. В., Гречка, А. І., & Кузик, О. В. (2024). Кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти. Кропивницький : ЦНТУ, 2024 – 16 с.
5. Скібінський О. І., Селехова В. М. Технологія обробки типових деталей та складання машин. Самостійні роботи. – 2023. М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. - Кропивницький : ЦНТУ , 2023. - 93 с.
6. Валявський, І. А., О. В. Лисенко та І. А. Лисенко. "Технологічне обладнання з паралельною кінематикою." (2023). М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 281 с.
7. Мажара В. А., Годунко М. О. Основи гнучкого автоматизованого виробництва. – 2018.
8. Pavlenko I. I. Robotic technological complexes: monograph / I. I. Pavlenko, V. A. Mazhara; under the editorship I. I. Pavlenko. – Kropyvnytskyi: KOD, 2019. – 382 p.
9. Мажара В.А. Комп'ютерна статистика в технології машинобудування. – 2017. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 52 с.

10. Павленко І.І., Мажара В.А. Структура продуктивності верстатних роботизованих комплексів // Збірник наукових праць. – Вип. 17 Краматорськ: ДДМА, 2005. – С. 131 – 137.

11. Мажара В. А. Контрольно-вимірювальні пристрої. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи студентами денної та заочної форми навчання напрямку «Інженерна механіка» з профілюванням за спеціальністю «Технологія машинобудування». – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 48 с.

12. Мажара В.А., Артюхов А.М., Тененика С.А. Проектування затискних пристроїв та оснащення. Самостійна робота. – 2024 – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 44 с.

13. Mazhara V.A., Shcherbyna K.K, Maniakin S.P., Filonenko V.V. Efficiency of using turning machining centers // The 4th International scientific and practical conference “Global science: prospects and innovations” (December 1-3, 2023) Cognum Publishing House, Liverpool, United Kingdom. 2023. 216-221 p.

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

15. Mazhara, V., Artiukhov, A., Hodunko, M., Shcherbyna, K., & Tenenka, S. (2025). Structural Design of Robotic Complexes. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. – Вип. 55. – С. 43-49.

16. Павленко І.І., Мажара В.А. Продуктивність функціонування двозахватних промислових роботів на позиціях допоміжних пристроїв // Прогресивні технології і системи машинобудування. Міжнародний збірник наукових праць. – Вип. 30 – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – С. 170 – 175.

17. Годунко, М. О., Мажара, В. А., Щербина, В. К., & Кравченко, Р. А. (2026). Дослідження залежності сил затиску в захватному пристрої робота від його конструктивних параметрів та межі міцності деталі. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки, (14(45), 22–31.

18. Апаракін А.Р. Синтез схем навантаження силових елементів кулькогвинтового гідропідсилювача з аксіальною структурою приводу / А.Р. Апаракін, П.М. Єршомін, В.А. Мажара // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – Вип. 9 (40). - Ч. II. – С. 23-31.

19. Павленко І. І., Мажара В. А., Носуленко В. І., Годунко М. О. Дослідження продуктивності РТК з використанням промислових роботів, встановлених на обладнанні // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2012. – Вип. 25, ч. І. – С. 8–13.

20. Павленко І.І., Мажара В.А. Конструктивно-кінематична структура двозахватних пристроїв промислових роботів // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Вип. 19 – Краматорськ – Київ, 2006. – С. 104 – 109.

21. 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.

22. Годунко М.О. Дослідження можливості підвищення точності захватного пристрою робота за рахунок компенсуючої ланки затискного важеля. Годунко М.О., Мажара В.А., Кислун О.С., Щербина В.К., Писанка С.В. // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки : зб. Наук пр. – Хмельницький : ХНУ, 2024. – Вип. №3. – С. 52-56.

23. Sybirtsev, V., Mazhara, V., & Moskalenko, V. (2020). Analysis of discriminant models in forecasting bankruptcy of enterprises. Bulletin of the Cherkasy Bohdan Khmelnytsky National University. Economic Sciences, (2).

24. Shcherbyna K. Kinematics of cutting process while honing holes with a hone with variable geometry of sticks / K. Shcherbyna, A. Hrechka, V. Mazhara, T. Diachenko // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2020. – Вип.50. – С.159-164.

25. Мажара А. В., Мажара В. А. ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ В УМОВАХ ДРІБНОСЕРІЙНОГО ТИПУ ВИРОБНИЦТВА //Процеси механічної обробки, верстати та інструмент: матеріали XIII Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю, 11–13 листопада 2025 року.–Житомир: Житомирська політехніка, 2025.–149 с. – 2025. – С. 75.

26. Щербина К.К. Експериментальне дослідження деформації пружногвинтового хона / К.К. Щербина, М.М. Підгаєцький, В.А. Мажара, А.І. Гречка, Т.В. Дяченко // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб. наук. пр. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – Вип. 5 (36). – Ч. 2. – С. 31-38.

27. Годунко, М. О., Кислун, О. А., Мажара, В. А., Щербина, В. К., Кравченко, Р. А., & Ключкін, В. В. (2023). Розробка методики силового розрахунку вертикально орієнтованого захватного пристрою. // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7(38).

28. Щербина К., Мажара В., Торчілов Д., Заїка А., Масляніков В. Дослідження повздовжньої сталості пружно-гвинтового хону з гвинтовими канавками // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. - Хмельницький: ХНУ, 2025. - №2 (349). - С.493-499.