МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії
Кафедра машинобудування та прикладної механіки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської роботи

Бакалавр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Проектування та технологічний процес обробки валу привода установки вирощування монокристалів сапфіра»

Студента IV курсу групи ГМ 16з
напряму підготовки: 133 - галузеве машинобудування
спеціальності

Корольчук А.В.
(прізвище та ініціали) *(підпис)*

Керівник роботи к. т. н. Логунов О. М.
(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) *(підпис)*

Завідувач кафедри проф., д.т.н. Соколов В.І.
(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) *(підпис)*

Сєвєродонецьк – 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії

Кафедра машинобудування та прикладної механіки

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Напрям підготовки 133 - галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д.т.н., проф. Соколов В.І.

_____

« _____ » _____2020 року

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Студент групи ГМ 16з Корольчук Анастасія Вадимівна

Тема роботи: «Проектування та технологічний процес обробки валу привода установки вирощування монокристалів сапфіра»

Вихідні дані роботи *електродвигун ЗАСМ n=1120 об/хв.; редуктор i=11,56; зубчаста передача: момент на виході 35,56Нм; оберти на виході 95 об/хв.; i=3,4; необхідний ресурс 20000 час.; вал: ресурс роботи 5000 час; n=330 об/хв; радіальний підшибник: D=26мм; d=10мм;* $d_{тіл\ кочення}$ *= 4,76; число* тіл кочення= 7; *число рядів – 1; n=95 об/хв; рад.сила – 456,188; коеф. динамічності – 1; навантаження постійне.*

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз існуючих методів вирощування монокристалів та обладнання;

Аналіз кінематики приводу; Кінематичний і силовий розрахунок привода затравки;

Розрахунок зубчастих передач в системі АРМ WinMachine модуль Trans;

Розрахунок валів в системі АРМ WinMachine модуль Shaft;

Розрахунок підшипників в системі АРМ WinMachine модуль Bear

Складання складальних креслень загального виду установки, механізму обертання і редуктора в системі САПР «КОМПАС».

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1-й лист формату А1 – установка Луч-1 (загальний вигляд);

2-й лист формату А1 – складальне креслення механізма обертання;

3-й лист формату А1 – складальне креслення редуктора.

Дата видачі завдання .....

Студент	.....	Корольчук А.В.
	(підпис)	*(прізвище та ініціали)*
Керівник роботи	.....	к. т. н. Логунов О. М.
	(підпис)	*(прізвище та ініціали)*

РЕФЕРАТ

Дана бакалаврська робота на тему «Модернізація приводу обертання затравки установки вирощування монокристалів Луч-1» складається з:

- аркушів
- таблиць
- рисунків
- джерел використаної літератури

У роботі проаналізовано існуючі методи вирощування монокристалів і обладнання на якому здійснюються ці процеси , проведений аналіз кінематики установки на предмет модернізації приводу обертання затравки з метою зменшення його габаритів і ваги, проведений кінематичний та силовий розрахунок приводу обертання затравки, проведено перерахунок механічних передач в системі САПР АРМ Win Machine в результаті чого вдалося зменшити габарити в цілому приводу.

Основні поняття, використані в бакалаврській роботі: монокристали, методи вирощування монокристалів, САПР, моделювання, дослідження комп'ютерної моделі.

					РБ 1849.00.000.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Корольчук А.В.			Реферат	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Логунов О.М.						
Реценз.						СНУ ім. В.Даля кафедра МПМ		
Н. Контр.								
Затверд.		Соколов В.І.						

ЗМІСТ

Реферат _____

Зміст_____

Відомість _____

Вступ_____

1. Аналіз існуючих методів вирощування монокристалів _____

2. Технічна характеристика, пристрій і робота базової установки___

2.1 Призначення_____

2.2 Технічні дані_____

2.3 Принцип роботи_____

2.4 Конструкція_____

3.Проектно-конструкторський розрахунок деталей технологічного обладнання_____

4. Розробка технологічного процесу_____

					РБ 1849.00.000.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Корольчук А.В.			Зміст	Літ.	Арк. / Акрушів
Перевір.							
Реценз.						СНУ ім. В.Даля кафедра МПМ	
Н. Контр.							
Затверд.		Соколов В.І.					

ВСТУП

Мета бакалаврської роботи - модернізація приводу обертання затравки установки вирощування монокристалів "Луч-1" з метою зменшення масогабаритних показників.

У зв'язку з поставленою метою в роботі вирішувалися наступні завдання:

1. Аналіз існуючих методів вирощування монокристалів та обладнання.

2. Аналіз кінематики приводу.

3. Кінематичний і силовий розрахунок привода затравки.

4. Розрахунок зубчастих передач в системі АРМ WinMachine модуль Trans.

5. Розрахунок валів в системі АРМ WinMachine модуль Shaft.

6. Розрахунок підшипників в системі АРМ WinMachine модуль Bear.

7. Складання складальних креслень загального виду установки, механізму обертання і редуктора в системі САПР «КОМПАС».

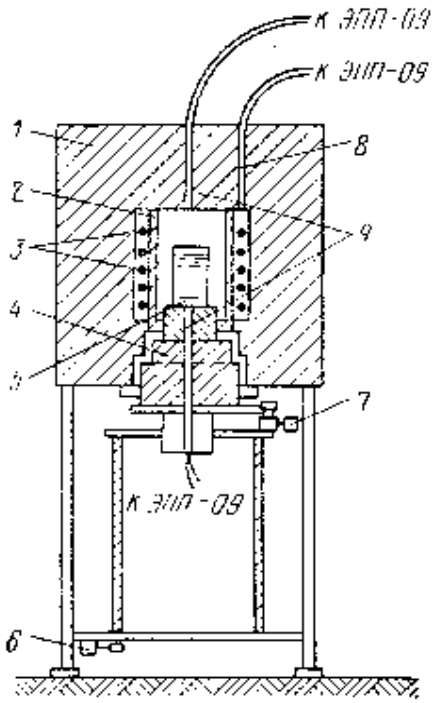
Розділ 1. Аналіз існуючих методів вирощування монокристалів.

Вирощування монокристалів можливо як з використанням монокристалічних затравок так і спонтанно. Зростання кристалів на затравки однойменного матеріалу називають гомоепітаксіальним, на інших відповідних за кристалографічним параметрам поверхнях - гетероепітаксією. До основних методів віднесемо наступні:

Вирощування з розчину в розплаві (спонтанна кристалізація)

Як легкоплавких флюсів використовують зазвичай PbO (886°C), PbF_2 (824), B_2O_3 (450), Bi_2O_3 (817), V_2O_5 (670) та др. Кристалізація відбувається при охолодженні нижче точки насичення. Основними **достоїнствами** методу є те, що кристалізацію можна проводити значно нижче температури плавлення одержуваного матеріалу. **Недоліки**: забруднення елементами флюсу, необхідність у дуже точному регулюванні температури, використання дорогих платинових та ін матеріалів тиглів.

					РБ 1849.00.000.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Корольчук А.В.			Аналіз існуючих методів вирощування монокристалів.	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.								
Реценз.						СНУ ім. В.Даля кафедра МПМ		
Н. Контр.								
Затверд.		Соколов В.І.						



Принципова схема установки для вирощування кристалів з розплаву в розчині:

1 - кристалізаційна піч,

2 - Цилліндріческій карборундовий екран,

3 - нагрівальні сілітові стрижні,

4 - під печі,

5 - тигель,

6 - приля вертикального переміщення,

7 - пристрій для реверсивного обертання,

8 - термопара-датчик,

9 - контрольні термопари.

До флюсів пред'являються наступні вимоги: вони не повинні бути летючими та токсичними, по можливості мінімально входити до складу монокристалів (якщо не є їх компонентами), повинна бути помірна в'язкість розплавів.

Наприклад, для вирощування кристалів феррограната (ЖИГ) беруть шихту, що містить в моль %: 10 Y_2O_3, 20,4 Fe_2O_3, 36,8 PbO 27,1 PbF_2, 5,5 B_2O_3. Склад кристалізується цільового продукту $Y_3Fe_5O_{12}$ не відповідає за співвідношенням концентрації основних компонентів складу розплаву, як і у випадку кристалізації феритових кристалів з розчину, який був розглянутий нами вище. Процеси росту монокристалів при реалізації їх технології підкоряються, власне кажучи, тим же основним термодинамічним і кінетичним закономірностям, що і синтез порошкових і плівкових матеріалів. Так найважливішим фактором є високотемпературна фазова діаграма компонентів шихти в області ліквідусу і солідусу. Зростання кристалів протікає через виникнення зародків, які можуть в залежності від температури і хімічних потенціалів компонентів розчинятися або рости далі, тобто можуть мати критичними розмірами і т.д.

За цим варіантом температура витримки розплаву 1250-1300ºС (15 годин), швидкість охолодження після цього до кристалізації 0,3-0,5 град / год. Кристалізацію припиняють при 950-1000ºС і видаляють залишився розплав, отримані кристали очищають кип'ятінням в азотної кислоті. Швидкість обертання тигля при вирощуванні 20 об / хв, обертання здійснюють 15 с в один бік і 15 с в іншу з 5-секундною паузою.

Метод Вернейля

Метод Вернейля реалізується шляхом просипки маленьких порцій порошкової шихти в трубчасту піч, де ця шихта розплавляється під час падіння в киснево-водневому полум'я і живить краплю розплаву на поверхні затравки. Запал при цьому витягується поступово вниз, а крапля перебуває на одному і тому ж рівні по висоті печі. **Переваги** цього методу: відсутність флюсів і дорогих матеріалів тиглів; відсутність необхідності точного контролю температури; можливість контролю за зростанням монокристала. **Недоліки**: через високу температуру росту кристали мають внутрішні напруги; стехіометрії складу може порушуватися внаслідок відновлення компонентів воднем і випаровування летючих речовин. Швидкість вирощування - кілька мм / год.

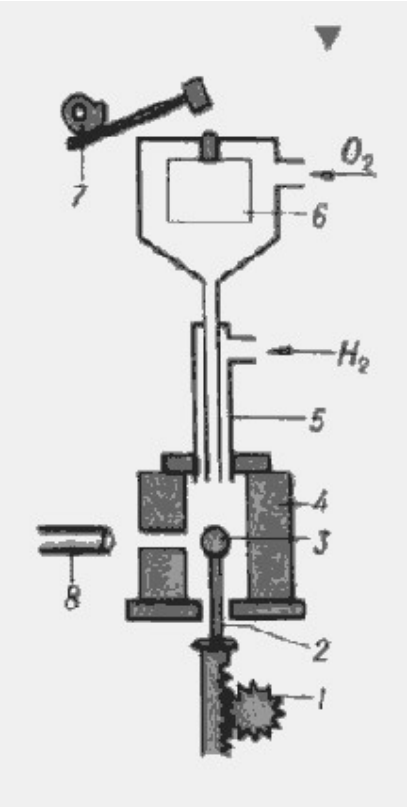


Схема установки для вирощування монокристалів за методом Вернейля:

1 - механізм опускання кристала,
2 - кристаллодержатель,
3 - зростаючий кристал
4 - муфель,
5 - пальник,
6 - бункер,
7 - механізм струшування,
8 - Катетометри.

Метод Бріджмена

Метод Бріджмена - зароджуються в нижній частині тигля з розплавом монокристали служать затравкою. Тигель опускається в більш холодну зону печі. Нижня частина тигля - конічна. Швидкість вирощування - також кілька мм / год.

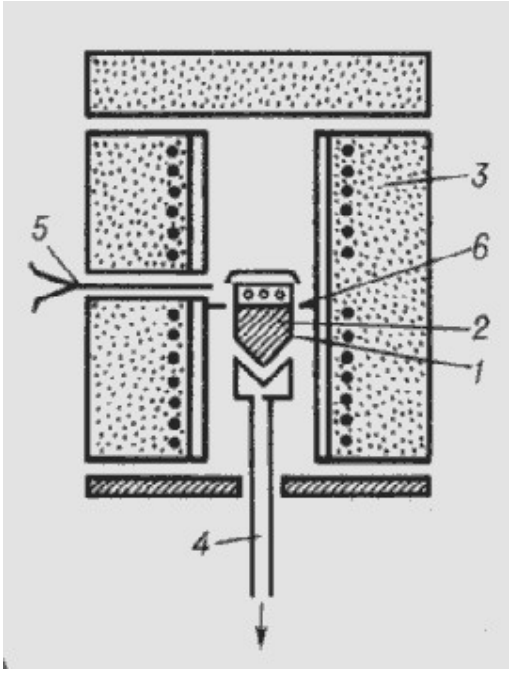


Схема установки для вирощування монокристалів за методом Стокаберга - Бріджмена:

1 - тигель з розплавом,

2 - кристал,

3 - піч,

4 - холодильник,

5 - термопара,

6 - тепловий екран.

Метод Чохральського

За методом Чохральського виробляють витягування вгору на затравку монокристала з ванни з розплавом. Нагрівання зазвичай здійснюють за допомогою СВЧ випромінювання. Для зняття виникаючих напруг використовують додаткову піч, через яку проходить вирощуваний кристал і відпалювати.

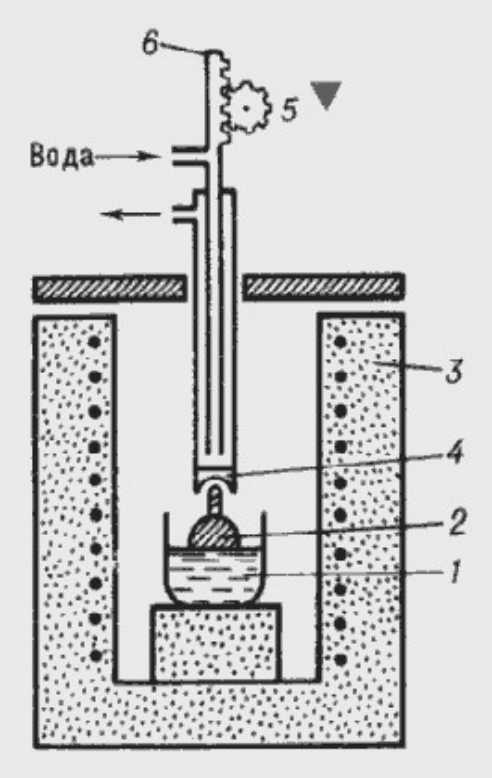


Схема установки для вирощування монокристалів за методом Чохральського:

1 - тигель з розплавом,

2 - кристал,

3 - піч,

4 - холодильник,

5,6 - механізм витягування.

Метод зонної плавки

Зонна плавка полягає в прогоні зони розплаву по довжині заготовки монокристала, одночасно в зоні розплаву концентруються домішки і відбувається очищення кристала, кінцеву частину якого потім видаляють. Нагрівання здійснюється індукційним, радіаційно-оптичних чи іншим методом. Швидкість вирощування за методами 4 і 5 близька до такої для 2 і 3 методів. При реалізації трьох останніх способів необхідно регулювання газового середовища вирощування.

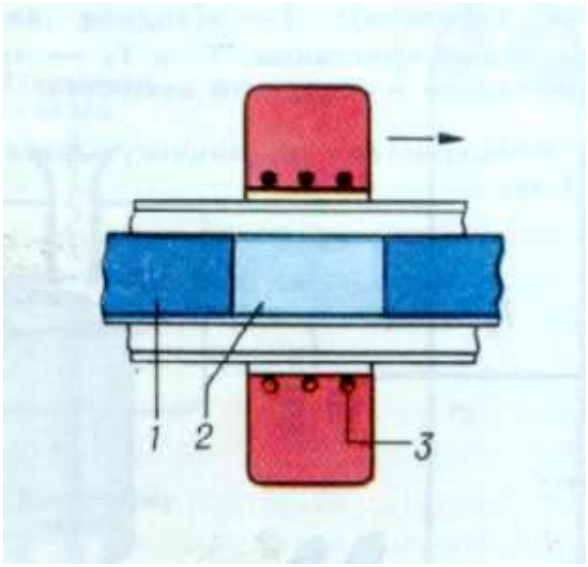


Схема пристрою для зонної плавки:

1 - тверда фаза,

2 - розплав,

3 - нагрівач,

(стрілкою показаний напрям

руху нагрівача).

Гідротермальне вирощування

Вихідні оксиди або готовий складний оксид розчиняють у водних розчинах кислот або лугів для реалізації гідротермального методу. Вирощування проводять в автоклавах із захисними корозійностійкими вкладишами, наприклад, для феритів при 375-725°С і тиску 1800-2000 атм. Через різницю температур у верхній і нижній зонах автоклава вгорі виділяється кристал. Швидкість вирощування - від часток мм до декількох мм на добу. Вирощувані монокристали зазвичай мають високу якість і характерну кристалографічну огранювання, т.к. ростуть в умовах більш-менш близьких до рівноважних.

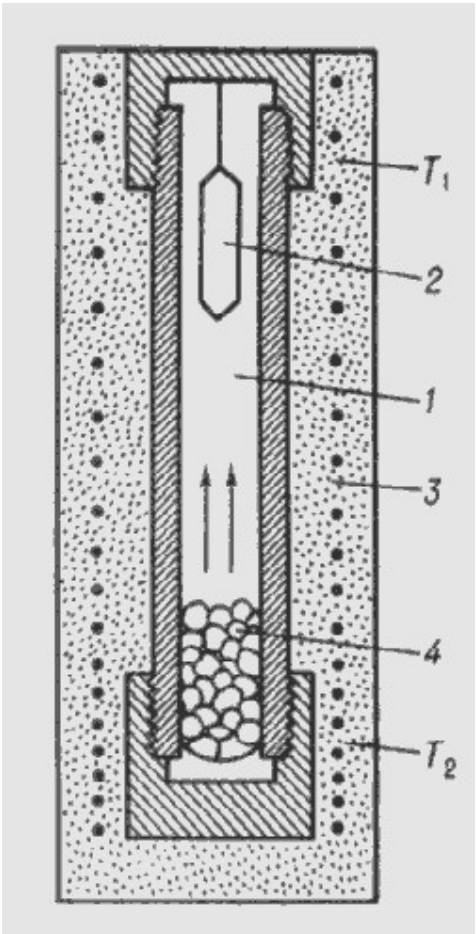


Схема автоклава для гідротермального синтезу:

1 - розчин,

2 - крісталл,

3 - піч,

4 - речовина для кристалізації

(Т1 <Т2).

Метод твердофазної рекристалізації

Для вирощування кристалів шляхом твердофазної рекристалізації призводять до зіткнення керамічну заготівлю та монокристалічний затравки, між ними іноді поміщають речовина, що ініціює процес рекристалізації, зокрема, при отриманні феритових кристалів - оксид заліза (тонкий шар). Якщо швидкість рекристалізації перевищує швидкість виходу пір на поверхню, що отримується кристал може бути досить пористим.

Після отримання монокристалів їх точно орієнтують в просторі і піддають механічній обробці: різанні, шліфуванні, поліруванні. Наприклад, монокристали ІЧ-оптики типу ВРХ (галогеніди талію) обробляють через їх невеликий твердості на токарних верстатах в спеціальних захисних боксах. На монокристали наносять захисні покриття і при необхідності шари матеріалів різного функціонального призначення.

В дипломній роботі розглядаємо вирощування лейкосапфіру та шпинелі, а також рубіну. Тому для цього ми користуємося методом Вернейля.

Розділ 2. Технічна характеристика, пристрій і робота базової установки.

2.1. Призначення

2.1.1. Установка "Луч 1" призначена для промислового отримання монокристалічного лейкосапфіра і шпінелі, що використовуються в якості підкладок для нарощування гетероепітаксіальних шарів, а також рубіна з підвищеними оптичними характеристиками.

2.1.2. Установка розрахована на експлуатацію в закритому приміщенні при температурі навколишнього повітря від $+10^0$С до $+35^0$С, тиск 740 ÷ 780мм рт.ст. і відносній вологості до 80%.

Для розміщення установки на місці її експлуатації необхідні витяжна вентиляція продуктивністю до 20Нм^3/час, каналізація Ду20 і контур заземлення.

2.2. Технічні дані

2.2.1. Живлення установки здійснюється:

а) від мережі змінного струму частоти 50 Гц напругою 220 В. Максимальна електрична потужність, споживана установкою 0,7 кВА;

б) воднем тиском 3,2 ÷ 6 кгс/см^2.Максімальний витрата - 50 л / хв;

в) киснем тиском 3,2 ÷ 6 кгс/см^2.Максімальний витрата - 25 л / хв;

г) водою водопровідної тиском 4 кгс/см^2.Максімальний витрата - 0,3 м^3/год;

2.2.2. Габаритні розміри установки:

довжина - 900 мм

ширина - 1100 мм

висота - 2700 мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Корольчук А.В.				Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.								
Реценз.						СНУ ім. В.Даля кафедра МПМ		
Н. Контр.								
Затверд.		Соколов В.І.						

2.2.3. Вага установки - 700 кг.

2.2.4. Швидкість опускання затравки на 1-ій передачі коробки швидкостей регулюється в межах від 3 до 8 мм / год, а на 2-ий передачі від 8 до 20,5 мм / год.

2.2.5. При зниженні витрати води, що охолоджує пальник до 1,25 л / хв і менше дзвенить електричний дзвінок.

2.2.6. Швидкість обертання шпинделя регулюється в межах від 25 до 95 об / хв.

2.2.7. Редуктори приводу молоточка, приводу обертання шпинделя і коробка швидкостей обкатані разом з приводами протягом 8 годин.

2.2.8. Клапани регулюючі забезпечують зміна витрати газів в наступних діапазонах:

кисень 1 (центральний) 1 ÷ 5 л / хв

кисню 2 2 ÷ 8 л / хв

водень 25 ÷ 50 л / хв

кисень 3 2 ÷ 12 л / хв

2.2.9. Забезпечується автоматичне збільшення витрат по каналах "Кисень 2" і "Кисень 3" пальника в діапазонах 2,7 ÷ 4,2 ± 0,3 л / хв і 5,4 ÷ 8,4 ± 0,6 л / хв відповідно за 1 год.

2.2.10. Регулятори тиску Ю1М3.864.002-2 (водень) і Ю1М3.864.002-3 (кисень) забезпечують стабілізацію тиску газів з точністю ± 3 мм вод.ст. при максимальних витратах газів.

2.2.11. Перемикач, використовуваний як блок-вентиля, забезпечує:

а) подачу водню до пальника в положенні "водень";

б) подачу водню і кисню по всіх каналах до пальника в положенні "Вкл.";

в) відключення подачі газів по всіх каналах у всіх інших положеннях.

2.3. Принцип роботи

2.3.1. Установка дозволяє вирощувати монокристали бестігельной методом (методом Вернейля), що полягає в тому, що монокристал нарощується на поворотній і повільно опускається затравки, вміщеній в піч, у полум'ї воднево-кисневої пальника, з оплавленій порошкоподібної шихти, яка подається в центральний канал пальника. Шихта оплавляється у найбільш високотемпературної зоні полум'я пальника і осідає на поверхню нарощування монокристала.

2.3.2. Розплавлення шихти і нарощування кристала на затравку відбувається в муфелі печі. Піч нерухомо закріплена за допомогою кронштейна до стійки рами установки.

2.3.3. Необхідна температура в печі досягається витратами кисню і водню, що подаються в пальник.

2.3.4. Подача шихти через центральний канал пальника здійснюється роботою ударного механізму молоточкового типу, прокидання шихти через сітку і вікна центральної трубки бункера, що викликається ударами молоточка по ній і захопленням шихти в трубці потоком центрального кисню пальника.

2.3.5. Запал, закріплена в свічці механізму обертання, обертається за допомогою редуктора з передаточним відношенням 1:124,6 від електродвигуна.

Механізм обертання за допомогою кронштейна кріпиться до каретки механізму опускання і за допомогою троса і тягової лебідки опускається вниз зі швидкістю, рівної швидкості нарощування монокристала на приманку.

2.3.6. Введення затравки в піч та інші допоміжні переміщення механізму обертання по вертикалі здійснюються механізмом ручного переміщення штурвалом.

2.3.7. Установка комплектується двома пультами: пультом управління електричним (лівим) і пультом газорегулірованія (правим), де розміщені відповідні елементи систем електричної та газової.

2.3.8. Напруга живлення на установку подається вимикачем В1 "Мережа". Стабілізація напруги здійснюється стабілізатором напруги У1.

2.3.9. Необхідні швидкості опускання, обертання затравки і частота ударів молоточка бункера встановлюються щітковими перемикачами "Опускання", "Обертання" і "Подача шихти" при включених відповідних тумблерах.

2.3.10. При автоматичному розширенні монокристала включається тумблер Б2 "Авторасширитель".

Синхронний електродвигун М1, отримавши харчування, починає обертатися зі швидкістю 60 об / хв. Алюмінієвий сектор, закріплений на валу електродвигуна М1, обертаючись, входить в зазор безконтактного перемикача В3, викликаючи його спрацьовування.

Безконтактний перемикач В3 навантажений на реле Р4, контакти якого коммутіруют вхідні кола лічильно-імпульсних реле Р1, Р2 і Р3.

Лічильно-імпульсні реле дозволяють вести перерахунок вхідних імпульсів (поділ) в межах 1 ÷ 75 в залежності від налаштування.

Вихідні сигнали лічильно-імпульсних реле керують роботою двигунів клапанів регулюючих, змінюючи витрата кисню.

2.3.11. Витрата водню змінюється вручну.

2.3.12. Швидкості опускання й обертання відлічуються по вимірювальних приладах ІП1 і ІП2 за допомогою датчиків швидкості, сигнали яких посилюються транзисторами ІП3 і ІП4 і за допомогою логічних елементів У2, У3, У4 і У5 перетворюються в дискретні сигнали, перераховуються тригерами, посилюються і згладжуються.

Вимірювальна частина схеми харчується від трансформатора ТР2.

2.3.13. До установці підводяться магістралі кисню, водню, водопровідної води, каналізації і витяжна вентиляція.

2.3.14. На цехових киснево-водневих магістралях повинні бути встановлені фільтри ФЕВ-6М (поз.16), призначені для очищення газів від механічних домішок, і манометри електроконтактні у вибухонепроникну корпусі, що сигналізують про надмірне зниження або підвищення тиску.

2.3.15. На всіх вхідних лініях енергоносіїв встановлені вентилі (поз. 1).

2.3.16. Зниження тиску кисню і водню до тиску 1,1 кгс/см^2 і стабілізація цього тиску проводиться блокаміфільтровсо стабілізаторами (поз. 2 і 3). Контроль тиску проводиться манометрами (поз. 4).

2.3.17. Зниження тиску кисню і водню з 1,1 кгс/см^2 до 1000 мм вод.ст. здійснюється регуляторами тиску (поз. 6 і 7).

2.3.18. Після регулятора (поз. 7) киснева лінія розділяється на 3 канали.

2.3.19. Регулювання витрат кисню і водню, що надходять до пальника, здійснюється клапанами регулюючими (поз. 8).

2.3.20. Черговість подачі газів до пальника при пуску установки і одночасна відсічення їх по всіх каналах проводиться перемикачем (поз. 10).

2.3.21. Контроль витрати кисню і водню виробляється ротаметром РС-3 (поз. 11, 12 і 13).

2.3.22. Для захисту кисневих і водневих каналів від зворотних ударів полум'я встановлені зворотні клапани (поз. 14).

2.3.23. Пальник охолоджується водопровідною водою.

Контроль тиску води проводиться манометром (поз. 5). При зниженні витрати води нижче 1,25 л / хв спрацьовує гідрореле (поз. 9), включаючи електричний дзвінок.

2.4. Конструкція

2.4.1. Установка виконана у вигляді окремих автономних агрегатів, об'єднаних загальною рамою, і складається з:

а) рами 9;

б) механізму опускання 1;

в) механізма вращенія 2;

г) печі 3;

д) пальники 8;

е) бункера 7;

ж) приводу молоточка 6;

з) пульта газорегулірования 5;

і) пульта керування 4;

к) інших вузлів і деталей.

2.4.2. Механізм опускання включає в себе коробку швидкостей 6, противагу 3, тягові канати 4 і 5, каретку 7, направляючі 1 і 2 та кронштейни 8 і 9.

При намотуванні каната 5 на барабан коробки швидкістю 6 каретка 7 переміщається вниз по напрямних 1 і 2.

Переміщення каретки 7 вгору здійснюється змотуванням каната 5 із барабана коробки швидкостей 6 і ваги противаги 3.

2.4.3. Механізм обертання кріпиться за допомогою кронштейна 1 6к каретці 7 Механізм опускання. Патрон 11 призначений для закріплення в ньому свічки 10 з запалом. Регулювальними гвинтами 12 патронів зі свічкою і запалом може бути відхилений від осі шпинделя на кульовій опорі на кут до 5^0 при юстируванні установки.

Обертання шпинделя здійснюється електродвигуном 15 серії АОЛ - 200 через редуктор з передаточним відношенням:

$$i = \frac{1}{124,5}$$

За допомогою механізму зсуву шпинделя 13 можна переміщати затравки в горизонтальній площині на ± 10 мм у двох взаємно - перпендикулярних напрямках.

2.4.4. Піч допомогою кронштейна 1 кріпиться до стійки рами установки, відкидний болт 2 з гайками 3 дозволяє регулювати нахил печі у вертикальній площині, а болти 7 переміщати в горизонтальній площині.

За рахунок пазів в кронштейні 1 піч разом з кронштейном 1 може бути піднята вгору або опущена вниз в межах довжини пазів.

Кожух печі 6 виконаний з нержавіючої сталі Х18Н9Т. Центральний муфель 4 - рощення з технічної окису алюмінію.

Зовнішня труба 5 муфеля також рощення з того ж матеріалу. Теплоізоляція печі виконана з високоглиноземисті легковеса ВГЛ-1, 3 ГОСТ 5040-68, перлітною-шамотного ультралегковеса ШЛБ-0, 6 ГОСТ 5040-68 і листового азбесту.

2.4.5. Пальник має чотири канали:

а) центральний 5 (кисень 1)

б) 1-ий кільцевої 4 (кисень 2)

в) друге кільцевої 3 (водень)

г) 3-ій кільцевої 2 (кисень 3)

Матеріал деталей пальника - латунь, за винятком вихідних сопел виточених зі сталі Х18Н9Т.

У кільцеву камеру 1 підводиться вода для охолодження пальника.

2.4.6. Бункер має корпус 9 з алюмінієвого Д-16Т, кришку 5 і підставу 1 з того ж матеріалу.

У кришці 5 і корпусі 9 встановлені мембрани, в центрі яких закріплена трубка 4 з латуні, зверху закінчується ковадлом 7 зі штуцером для підведення центрального кисню.

Трубка 4 має перед нижньою мембраною 3 вікна, зовні закриті латунної сіткою.

Сітка 3 по краях обтиснута гумовими кільцями 10, щоб шихта не проникала всередину трубки через торці сітки.

Трубка закінчується латунним конічним соплом 11, навернути на різьбленні.

На трубку 4 на різьбленні встановлено змішувач 8, що складається з трубки і припаяних до неї латунних зволікань.

Змішувач 8 призначений для руйнування склепінь шихти при витрачанні її та виключення обвалів шихти під час процесу. Шихта в бункер засипається через патрубок 6 в кришці 5.

Корпус 9 до основи 1 кріпиться за допомогою ексцентрикових затискачів 2 через прокладку.

2.4.7. Привід молоточка складається з електродвигуна 2 серії АОЛ-100 з редуктором 1, крильчатки 5, коромисла 6 з молоточком 7, кронштейнів 3 та 4 і механізму зміни сили удару.

2.4.8. Пульт газорегулірованія кріпиться чотирма болтами до рами установки.

У нижній частиною його встановлені блоки 2 і 3 фільтрів із стабілізаторами і регулятори 1 і 12 низького тиску кисню і водню.

На лицьовій панелі пульта розташовані маховики 11 запірних вентилів, манометри 10, тумблери 8 і ручки 9 Управління регулюючими клапанами водню і кисню, ротаметри 6 типу РС-3 і рукоятки 7 блоків - вентиля. У верхній частині пульта встановлені зворотні клапана 5.

На магістралі води передбачено гідрореле 4, що включає електричний дзвінок при зниженні витрати води на охолодження пальника нижче допустимого.

Підводи енергоносіїв до пульта здійснюється з тильного боку.

2.4.9. Пульт керування являє собою 1, на лицеву сторону якого виведені елементи управління, сигнальні лампочки та вимірювальні прилади.

У верхній частині пульта розташований блок перетворює швидкості обертання і опускання в постійний струм. Блок з'єднаний з пультом управління роз'ємом.

У нижній частині пульта розташована панель з лічильно-імпульсними реле 2 типу Е-531 і стабілізаторами напруги 3.

Для підключення до джерела живлення і для з'єднання з пультом газорегулювання передбачені роз'єми і з'єднувальний кабель, що закінчується вилками.

РОЗДІЛ 3. Проектно-конструкторський розрахунок деталей технологічного обладнання

Завдання

Визначити основні геометричні характеристики вузла технологічного обладнання. Виконати проектний розрахунок деталі – «Вал».

Вхідні дані

Вхідними даними для проектно-конструкторського розрахунку вхідного валу коробки швидкостей є розрахункова схема вала (рис. 1.1) та кінематична схема коробки швидкостей (рис. 1.2). Також згідно варіанту (табл. 1.1) задаються: тип електродвигуна; передавана потужність; номінальна частота обертання електродвигуна; діаметри ведучого та веденого шківа.

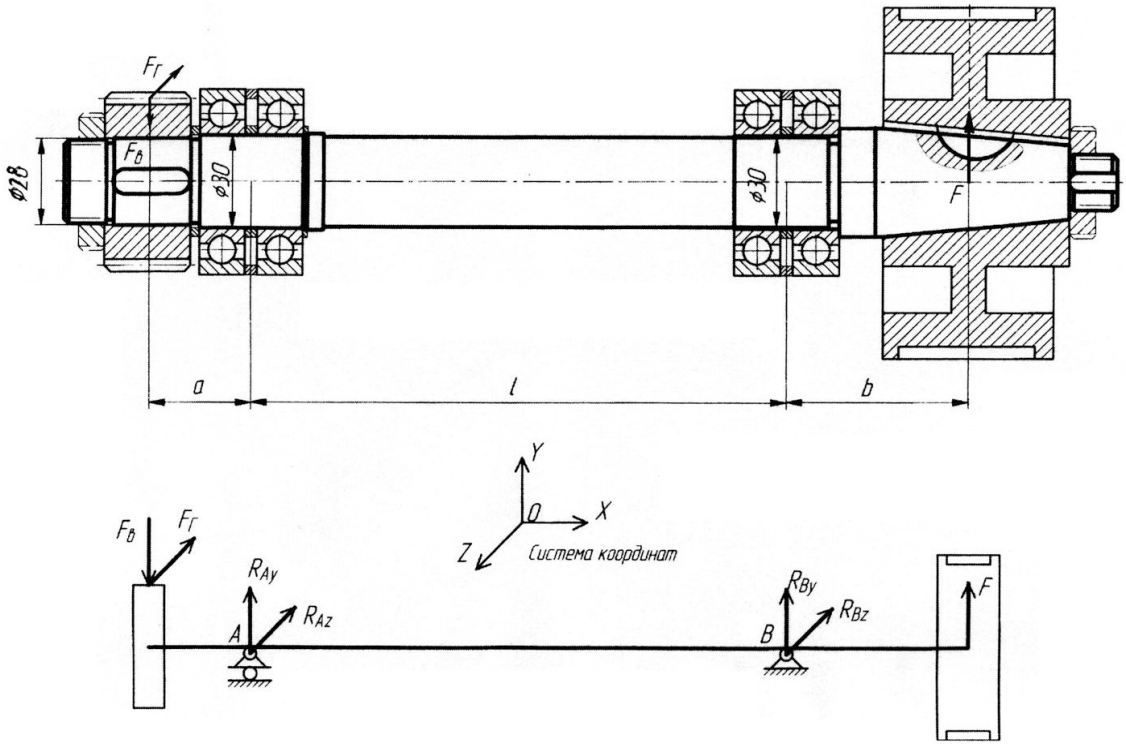


Рис. 1.1. Ескіз і розрахункова схема «Вал»

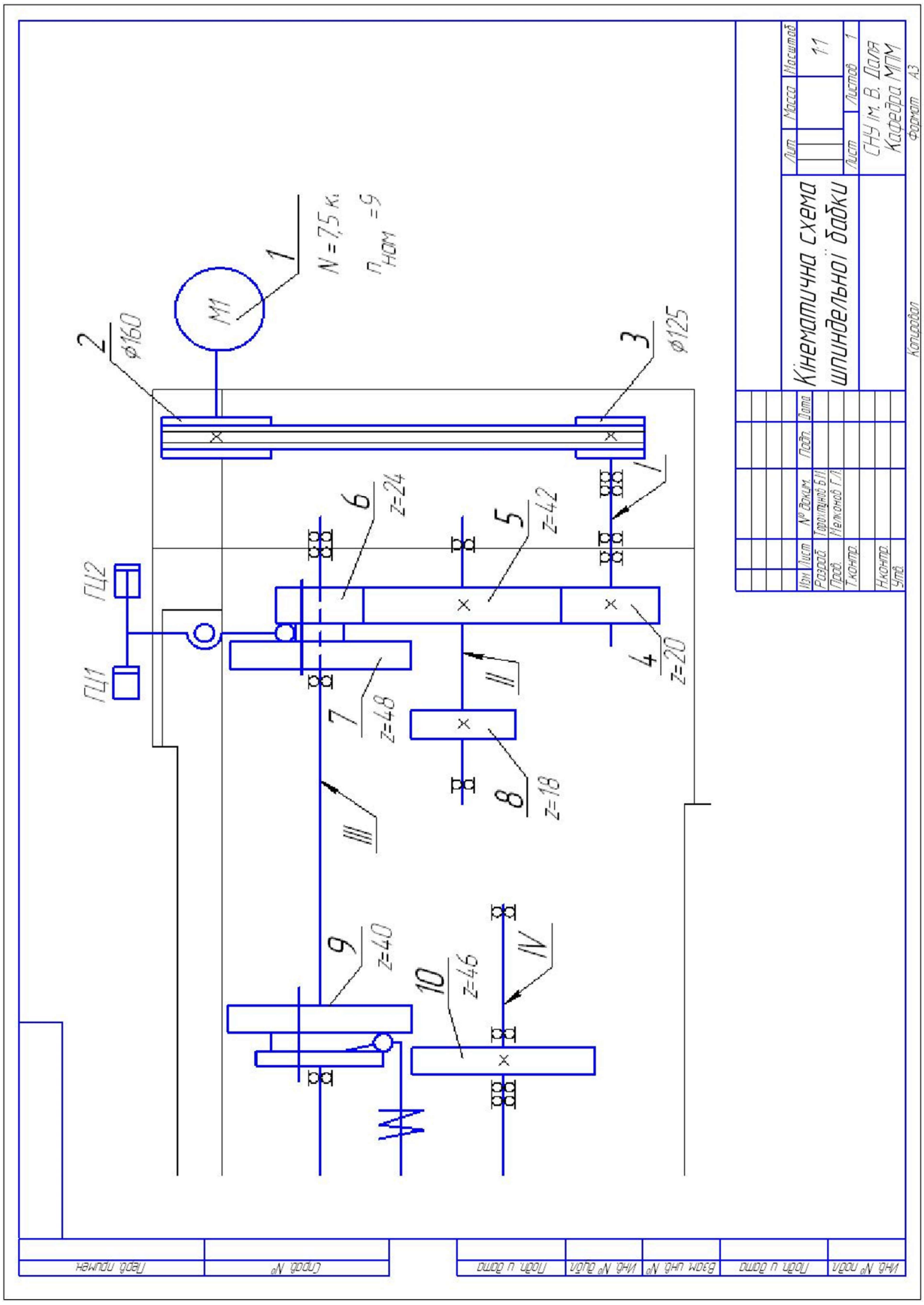


Рис.1.2. Принципова кінематична схема шпиндельної бабки

Таблиця 1.1

Вхідні дані

Варіант	Тип електродвигуна	Передавана потужність електродвигуна, N, кВт	Номінальна частота обертання електродвигуна, n, $хв^{-1}$	Діаметр ведучого шківа, d_{p1}, мм	Діаметр веденого шківа, d_{p2}, мм
15	2ПН112L	3,4	2240	140	280

Електродвигун постійного струму з двозонним регулюванням серії V з діапазоном потужностей 3,7 ... 45 кВт призначені для приводів головного руху металорізальних верстатів з числовим програмним керуванням.

Електричні машини серії 2П – друга серія машин постійного струму. Машини цієї серії призначені для роботи в широкорегульованих електроприводах і замінюють машини серії П, а також спеціалізовані машини серій ПС (Т), ПБС (Т), ПР. У порівнянні з попередніми серіями у машин серії 2П підвищена перевантажувальна здатність, розширено діапазон регулювання частоти обертання, поліпшені динамічні властивості, зменшені шум і вібрації, підвищена потужність на одиницю маси, збільшені надійність і ресурс роботи.

Трифазні асинхронні електродвигуни серії 4А з короткозамкненим ротором і розраховані на частоту 50 Гц, що мають ступінь захисту IP44 або IP23. Важливими експлуатаційними характеристиками асинхронних машин, що працюють в приводах головного руху верстатів, є їх максимальна перевантажувальна здатність і кратність пускового моменту (відношення максимального моменту до номінального).

Розрахунок

1.1. Розрахуємо силовий параметр приводу – крутний момент на вхідному валу:

$$T = \frac{N}{n} \cdot 9550 = \frac{3,4}{2240} \cdot 9550 = 14,495$$

1.2. Матеріал валу. Як матеріал для валів використовують вуглецеві та леговані стали. Невідповідальні вали і вали, габарити яких не відіграють істотної ролі, виготовляють з Ст. 5. Для більш відповідальних валів, в тому числі і більшості редукторів загального призначення, застосовують стали 45, 50, 40Х, піддані термічному поліпшенню (гарт з високим відпуском).

Приймаємо, що матеріалом валу є сталь 20Х.

1.3. Розрахунок розмірних параметрів валу

1.3.1. Визначення розмірів першої ступені валу. Розрахуємо діаметральний розмір першої ступені валу, на якій розташовано шків клиноремінної передачі:

$$d_1 = \sqrt[3]{10^3 \cdot \frac{T}{\left(0,2\left[\tau_{кр}\right]\right)}} = \sqrt[3]{10^3 \cdot \frac{14,495}{\left(0,2 \cdot 100\right)}} = 8,96 \text{ мм},$$

де T – крутний момент на вхідному валу, *Н·м*; $\left[\tau_{кр}\right]$ – допустима напруга на кручення, *МПа* (для сталі 20Х $\left[\tau_{кр}\right] = 100$ МПа ГОСТ 4543-71).

Отримане розрахункове значення d_1 діаметру валу округлюють до найближчого стандартного значення згідно.

Стандартний ряд діаметрів валів за ГОСТ 12080-66: 16; 18; 19; 20; 22; 24; 25; 28; 30; 32; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50 *мм*.

Приймаємо $d_1 = 16$ *мм*.

Довжина першої ступені вхідного валу, на якій розташовано шків клинопасової передачі, повинна відповідати довжині маточини шківа. У шківів пасових передач довжина маточини $l_м$ може бути, як більше, так і менше ширини шківа M. Але при проектному розрахунку валу,

рекомендується прийняти довжину маточини, яка б дорівнювала ширині шківа, тобто $l_1 = l_м = M$.

1.3.2. Розрахуємо ширину шківа,

$$d_1 = (n-1)\cdot e + 2f = (3-1)\cdot 19 + 2\cdot 12{,}5 = 63 \ мм,$$

де n – кількість пасів в передачі; e – відстань між вісями канавок, *мм*; f – відстань між віссю крайньої канавки та найближчим кінцем валу, *мм*.

Значення конструктивних елементів шківа обираємо згідно ГОСТ 20889-88.

Стандартний ряд розрахункових діаметрів шківів за ГОСТ 20889-88: 50; 56; 63; 71; 80; 90; 100; 112; 125; 140; 160; 180; 200 *мм*.

Отримане значення ширини шківа перевіряємо згідно ряду нормальних лінійних розмірів за ГОСТ 6636-69. Розмір $M = 63$ мм відповідає нормальному ряд $R_a 5$.

Виходячи з розрахунків приймаємо наступні розміри першої ступені: діаметр – $d_1 = 16$ мм; довжина – $l_1 = 63$ мм.

1.3.3. Розрахуємо діаметр другої ступені валу, на якій розташовані опори, у вигляді підшипників,

$$d_2 = d_1 + 2\cdot t = 16 + 2\cdot 3{,}5 = 23 \ мм,$$

де t – перехід діаметра валу по відношенню до попереднього діаметра. Значення висоти буртика t, визнаються по таблиці 1.1. в залежності від діаметру суміжної з ним ступені d_1. Для нашого випадку $t = 2$ мм.

Необхідно враховувати, що значення посадочного діаметру підшипника кратне 5, тому і діаметр ступені валу під підшипник теж повинен бути кратним 5. Залишаємо $d_2 = 25$ мм.

Таблиця 1.1

Розміри перехідних ділянок

Діаметр суміжної ступені, d, мм	71…85
Висота буртика, t, мм	3,5
Координати фаски внутрішнього кільця підшипника, r, мм	3,5
Фаска маточини, f, мм	2,5

1.3.4. Вибір підшипників. В якості опор обираємо підшипники шарикові радіальні однорядні легкої серії, згідно ГОСТ 8338-75 діаметру валу $d = 25$ *мм* відповідають підшипники марки 205, вантажопідйомністю $C = 14000$ *Н*, $C_0 = 6950$ *Н*. Номінальний діаметр зовнішньої циліндричної поверхні підшипника $D = 52$ мм, ширина $B = 15$ мм, координата монтажної фаски $r = 1{,}5$ мм.

1.3.5. Визначення розмірів другої ступені валу. Довжина другої ступені валу під підшипник дорівнює ширині підшипника $l_2 = B = 15$ мм.

Отримане значення довжини другої ступені перевіряємо згідно ряду нормальних лінійних розмірів за ГОСТ 6636-69. Розмір $l_2 = 16$ мм відповідає нормальному ряд $R_a 5$.

Виходячи з розрахунків приймаємо наступні розміри другої ступені: діаметр – $d_2 = 25$ мм; довжина – $l_2 = 16$ мм.

1.3.6. Визначення розмірів третьої ступені валу

Зубчасте колесо на валу монтується за допомогою шліцьового з'єднання. Розрахуємо діаметр ступені валу під зубчасте колесо:

$$d_3 = d_2 + 3,2 \cdot r = 25 + 3,2 \cdot 2,5 = 33 \text{ мм,} \qquad 5$$

Округляємо згідно ряду нормальних чисел $d_3 = 35$ *мм*.

Обираємо параметри зубчастого шліцьового прямобічного з'єднання легкої серії згідно ГОСТ 1139-58 для внутрішнього діаметру $d = 35$ *мм*: число зубів $z = 8$; зовнішній діаметр $D = 40$ *мм*; ширина зуба $b = 7$ *мм*.

Довжину третьої ступені валу знайдемо виходячи з габаритів корпусу, які знаходяться в межах 200 – 300 *мм* для приводів головного руху верстатів 2 – 3 типорозміру.

$$l_3 = l_к - (l_1 + l_2 + l_4) = 200 - (63 + 16 + 16) = 105 \text{ мм,}$$

де $l_к$ – довжина корпусу, *мм*.

1.3.7. Визначення розмірів четвертої ступені валу

Параметри четвертої ступені валу дорівнюють другій, так як на ній монтується ідентичний підшипник марки 205.

Виходячи зі сказаного приймаємо наступні розміри четвертої ступені: діаметр – $d_4 = 25$ мм; довжина – $l_4 = 16$ мм.

1.3.8. Зведені розміри ступенів валу

Розмір	Ступінь валу			
	I	II	III	IV
d , *мм*	16	25	35	25
l *мм*	63	16	105	16

РОЗДІЛ 4. Розробка технологічного процесу

Метою технологічної частини бакалаврської роботи є розробка й проектування технологічних процесів і засобів технологічного оснащення, що забезпечують продуктивність праці, якість продукції, зниження її собівартості й матеріалоємності, а також поліпшення умов праці; вирішення комплексу взаємозалежних технологічних, конструкторських, організаційно-економічних питань.

Розробка технологічного процесу виконується на прикладі деталі «Вал», службовим призначенням якої є передача крутного моменту, базування і координації положення зубчастих коліс. В бакалаврській роботі пропонується виконати наступні етапи розробки технологічного процесу механічної обробки:

- визначення типу виробництва;

- вибір типу заготовки, методу її отримання та розрахунок основних розмірів заготовки з виконанням робочого креслення;

- розробка маршрутного технологічного процесу обробки деталі;

- розрахунок режимів різання аналітичним та табличним методом;

- розрахунок точності операцій.

Значну увагу приділено визначенню правильної товщини припусків на обробку, що є відповідальною техніко-економічною задачею.

Призначення занадто великих припусків призводить до втрати матеріалу, що перетворюється в стружку; до збільшення пружної деформації технологічної системи верстат – пристосування – інструмент – заготовка внаслідок збільшення сили різання, а значить й к зменшенню точності обробки; к збільшенню трудомісткості механічної обробки.

Призначення недостатньо великих припусків не забезпечує видалення дефектних шарів матеріалу та досягнення необхідної точності та шорсткості оброблюваних поверхонь, а також потребує підвищення вимог до точності

заготовок, що призводить до їх удорожчання, ускладнює розмітку та перевірку положення заготовок на верстатах та підвищує небезпеку появи браку.

Досягнення заданої точності та якості поверхні деталі є основною задачею технологічного процесу механічної обробки деталі. Від якості поверхневого шару деталі залежать її експлуатаційні характеристики.

МЕТОДИКА РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Завдання.

Розробити технологічний процес механічної обробки деталі «Вал»:

- визначити тип виробництва;

- обрати тип заготовки, метод її отримання та розрахувати основні розміри заготовки з виконанням робочого креслення;

- розробити маршрутний технологічний процес обробки деталі;

- виконати розрахунок режимів різання аналітичним (один розмір) та табличним методом;

- виконати розрахунок точності операції (однієї за завданням керівника).

Вхідні дані для проектування:

– робоче креслення деталі (рис. 1.1).

– матеріал деталі - сталь 20Х ГОСТ 4543-71.

– програма випуску деталей - $N = 7000$ *штук/рік*

–

– маса деталі $M_д = 4,07$ *кг*

діаметр ступені

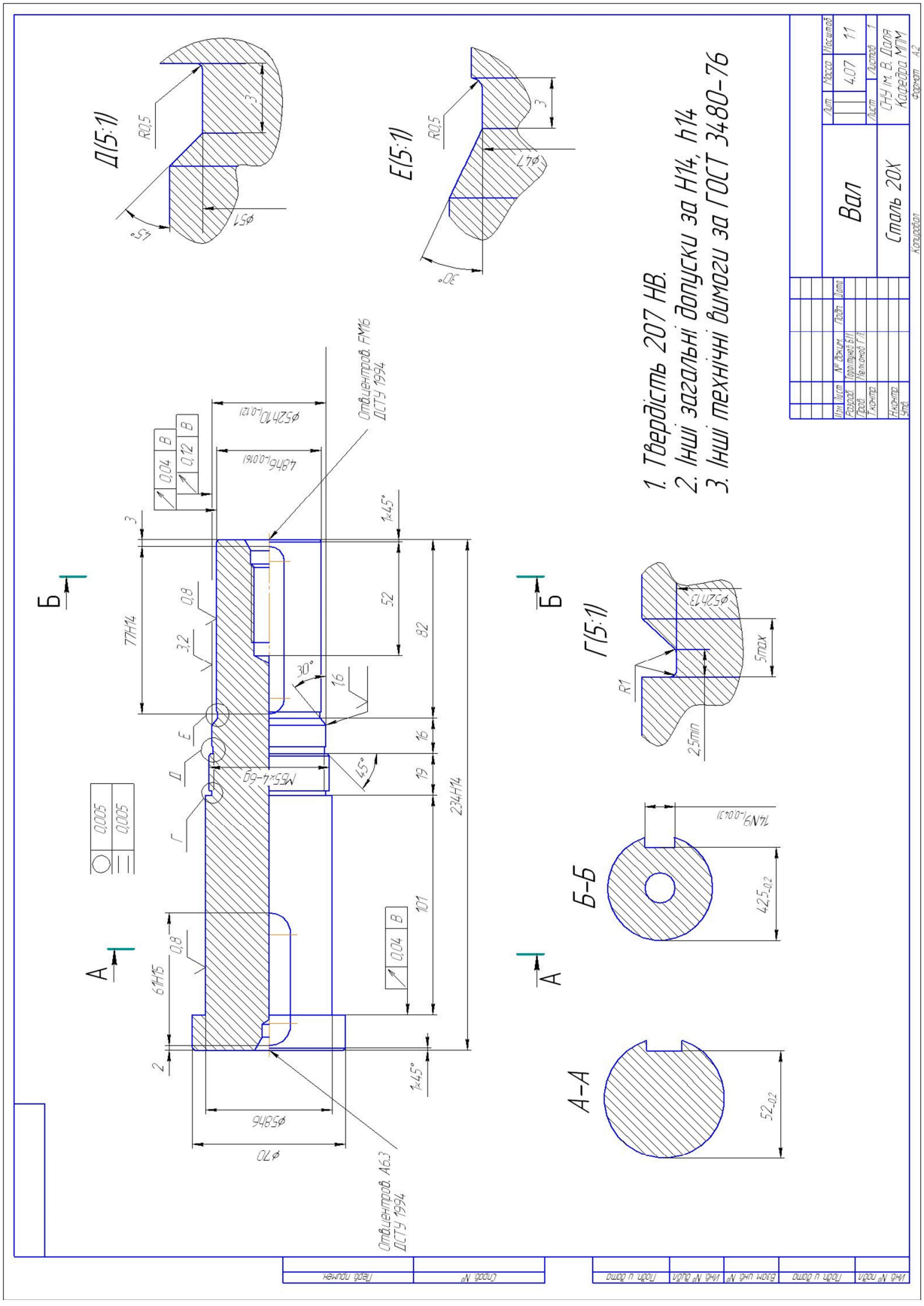


Рис.1.1. Креслення деталі «Вал» з вказанням змінних розмірів

4.1. Опис службового призначення деталі, аналіз креслення і технічних умов на її виготовлення.

Службового призначення деталі Вал – передача крутного моменту, базування і координації положення зубчастих коліс.

В якості заготовки використовуємо штамповку (наприклад, штамповка на КГШП).

Деталь являє собою ступінчастий вал, у якого діаметри збільшуються від одного торця до іншого. На валу розташовані три шпонкових паза для установки призматичних шпонок. На одній з ступінчастих поверхонь нарізана різьба М55х2-6g.У правому торці валу є центровий отвір FM16. У лівому торці валу розташовано центровий отвір А 6,3.

При виготовлені деталі «Вал» необхідно витримати допуски циліндричності та паралельності поверхні Ø58h6(-0,019) *мм* у межах 0,005 *мм*. Допуск биття циліндричних поверхонь діаметрами Ø48 h6(-0,016) та Ø52 h10(-0,12) *мм*, та допуск биття торцевої поверхні 0,04 відносно бази Г - осі деталі.

Згідно технічних вимог вал виготовлюємо з конструкційної легованої вуглецевої сталі 20Х ГОСТ 4543-71. Вихідна твердість сталі НВ 179. Деталь піддається нормалізації та загартуванню з подальшим високим відпусканням. Група металу – М 1.

Механічні властивості і хімічний склад стали 20Х наведені в таблиці 2.1 і 2.2.

Таблиця 2.1

Механічні властивості стали 20Х

$\sigma\tau$, *МПа*	σ_B , *МПа*	δ,%	ψ,%
640	780	11	40

Таблиця 2.2

Хімічний склад стали 20Х, %

C	Fe	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu

0,17-0,23	□ 97	0,17-0,37	0,5-0,8	0,7-1	<0,3	<0,035	<0,035	<0,3

4.2. Визначення типу виробництва.

У зв'язку з відсутністю норм часу в базовому технологічному процесі і неможливістю визначення коефіцієнта закріплення операцій тип виробництва попередньо визначаємо за річним випуском деталей та їхньою масою.

Згідно з завданням при річному випуску $N = 7000$ *штук* і масі $M_д = 4,07$ *кг* тип виробництва визначаємо відповідно до рекомендацій.

У багатосерійному виробництві деталі виготовляють партіями. Розмір партії розраховуємо за формулою

$$n = \frac{N \cdot a}{Ф} = \frac{(7000 \cdot 6)}{256} = 164,$$

де a – кількість днів запасу деталей на складі; $Ф$ – кількість робочих днів у році.

За розміром партії n встановлюємо, що виробництво буде середньосерійне. Остаточно тип виробництва буде уточнений після розрахунку норм часу.

.3. Вибір виду заготовки і обґрунтування методу її отримання.

В умовах середньо серійного виробництва заготівля валу в проектованому варіанті доцільно отримувати штампуванням на кривошипному гарячештампувальному пресі (КГШП).

Цей метод забезпечує високу точність заготовок, мінімальні припуски і високу продуктивність.

Для розрахунків припусків і визначення граничних відхилень розмірів заготовки визначаємо індекс заготовки за ГОСТ 7505-89.

Розрахункова маса поковки

$$M_p = M_д \cdot K_p = 4,07 \cdot 1,5 = 6,1$$

де $M_д$ – маса деталі, задається в завданні (табл. 1.1); K_p – коефіцієнт, що залежить від характеристики деталі, при виготовленні заготовки за типом «Вал» з прямою віссю, для наведеного креслення приймається $K_p = 1,3...1,6$ (Пр.3, табл. 20, стр. 20 ГОСТ 7505-89).

Знайдемо габаритні розміри фігури (циліндра), яка описує поковку.

Діаметр фігури

$$D_ф = D_д \cdot 1,05 = 70 \cdot 1,05 = 73,5$$

Довжина фігури

$$L_ф = L_д \cdot 1,05 = 234 \cdot 1,01 = 236,4$$

де $D_д$ – максимальний діаметр деталі за кресленням, $L_д$ –довжина деталі за кресленням.

Визначаємо масу фігури, яка описує поковку

$$M_ф = \frac{3,14 \cdot D_ф^2}{4} \cdot L_ф \cdot \rho = \frac{3,14 \cdot 0,0735^2}{4} \cdot 0,2457 \cdot 7830 = 8,16$$

де ρ – щільність

Відношення розрахункової маси поковки до маси фігури

$$C = \frac{M_p}{M_ф} = \frac{6,1}{8,16} = 0,74.$$

Тоді, згідно таблиці 1.3: ступінь складності – С1. Згідно таблиці 1.4 по групі сталі, класу точності і ступеню складності визначаємо вихідний індекс поковки – 8.

.4. Розрахунок припусків на механічну обробку і визначення операційних розмірів.

1.4.1. Розрахунок припуску на діаметральний розмір.

Розрахуємо припуски на обробку поверхні діаметром Ø58h6(-0,019) *мм* для операцій:

– чорнове точіння;

– чистове точіння;

– шліфування.

Розрахуємо значення просторових відхилень для операцій технологічного процесу обробки деталі «Вал». По-перше, знайдемо викривлення поверхні деталі

$$\Delta_{викр} = \Delta_в \cdot l = 0,7 \cdot 60 = 42 мкм = 0,042$$

де $\Delta_в$ – питомий коефіцієнт викривлення, тобто відхилення осі деталі від прямолінійності, *мкм* на 1 *мм*, що залежить від методу її отримання $\Delta_в = 0,7 мкм / мм$;

$l = 60$ *мм* – відстань від оброблюваного перетину до найближчої опори, є однаковим для всіх варіантів, оскільки не змінюється положення люнету при обробці всіх наведених варіантів деталей.

По-друге, знайдемо похибку центрування

$$\Lambda = \sqrt{\left(\frac{\delta_з}{}\right)^2 + 0,25^2} = \sqrt{\left(\frac{1900}{}\right)^2 + 0,25^2} = 950 \text{ мкм} = 0,95 \text{ мм}$$

де $\delta_з$ – допуск заготовки, *мм*;

Далі знайдемо сумарне відхилення розташування поверхонь (просторове відхилення) заготовки при обробці в центрах

$$\Delta_з = \sqrt{\Delta_{зм}^2 + \Delta_ц^2 + \Delta_{викр}^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,95^2 + 0,042^2} = 1,07 \text{ мм} = 1070 \text{ мкм}$$

де $\Delta_{зм}$ – зміщення одних ділянок поверхні відносно інших, у випадку заготовки поковки – зміщення осей поковок при штампуванні в різних половинах штампа; $\Delta_{зм}^2 = 0,5$ *мм.*

Розрахуємо величини залишкових викривлень після переходів, використовуючи K_y – коефіцієнт уточнення, значення якого приведені в таблиці 1.6, та $\Delta_з$ – сумарне відхилення розташування поверхонь заготовки. Після чорнової обробки

$$\Delta_1 = K_y \cdot \Delta_з = 0,06 \cdot 1,07 = 0,064 \text{ мм} = 64 \text{ мкм}$$

Після чистової обробки

$$\Delta_2 = K_y \cdot \Delta_з = 0,04 \cdot 1,07 = 0,042 \text{ мм} = 42 \text{ мкм}$$

Після шліфування

$$\Delta_3 = K_y \cdot \Delta_з = 0,02 \cdot 1,07 = 0,021 \text{ мм} = 21 \text{ мкм}$$

Розрахуємо мінімальні припуски на всі операції технологічного процесу, знаючи R_{zi-1} – висоту мікронерівностей, отриманих на попередній операції, h_{i-1} – глибину дефектного шару, отриманого на попередній операції, величини залишкових викривлень після переходів. Під чорнове точіння

$$2 \cdot z_{\min} = 2\left(R_{zi-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) = 2 \cdot (150 + 250 + 1070) = 2 \cdot 1470$$

мкм.

Під чистове точіння

$$2 \cdot z_{\min} = 2\left(R_{zi-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) = 2(50 + 50 + 64) = 2 \cdot 164 \ \ мкм.$$

Під шліфування

$$2 \cdot z_{\min} = 2\left(R_{zi-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) = 2(30 + 30 + 42) = 2 \cdot 102 \ \ мкм.$$

Для подальших розрахунків складаємо таблицю 2.3.

Таблиця 2.3

Розрахунок припусків та граничних розмірів за операціями на обробку поверхні Ø58h6(-0,019) мм

Найменування операції	Елементи припуску, *мкм*			Припуск $2 \cdot z_{\min}$, *мкм*	d_p, *мм*	Допуск, δ, *мкм*	Граничні розміри, *мм*		Граничні припуски, *мкм*	
	R_z	T	Δ				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2 \cdot z_{\min}^{пр}$	$2 \cdot z_{\max}^{пр}$
Заготовка (h16)	150	150	1070	-	63,289	1900	63,289	65,189	–	–

Точіння чорнове (h12)	50	50	64	$2 \cdot 1470$	60,349	300	60,349	60,649	2940	4540
Точіння чистове (h9)	30	30	42	$2 \cdot 164$	60,021	74	60,021	60,095	328	554
Шліфування (h6)	5	15	21	$2 \cdot 102$	57,981	19	57,981	58	2040	2095
Разом									5308	7189

Графа в таблиці 5 «Розрахунковий діаметр» (d_p) заповнюється, починаючи з кінцевого розміру, шляхом послідовного додавання розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу.

Для шліфування

$$d_{\text{р3}} = d_{\min 3} = 58 - 0,019 = 57,981 \ мм.$$

Для чистового точіння

$$d_{\text{р2}} = d_{\min 2} = d_{\min 3} + 2 \cdot z_{\min 2} = 57,981 + 2 \cdot 1,02 = 60,021 \ мм.$$

Для чорнового точіння

$$d_{\text{р1}} = d_{\min 1} = d_{\min 2} + 2 \cdot z_{\min 1} = 60,021 + 2 \cdot 0,164 = 60,349 \ мм.$$

Для заготовки

$$d_{\text{рз}} = d_{\min з} = d_{\min 1} + 2 \cdot z_{\min з} = 60,349 + 2 \cdot 1,47 = 63,289 \ мм.$$

Далі знайдемо найбільші діаметри.

При шліфуванні

$$d_{max3} = 57,981 + 0,019 = 58 \ мм.$$

При чистовому точінні

$$d_{max2} = d_{min2} + \delta_2 = 60,021 + 0,074 = 60,095 \ мм.$$

При чорновому точінні

$$d_{max1} == d_{min1} + \delta_1 = 60,349 + 0,30 = 60,649 \ мм.$$

Для заготовки

$$d_{max\ з} = d_{min\ з} + \delta_з = 63,289 + 1,9 = 65,189 \ мм.$$

Визначимо граничні значення припусків.

Для шліфування

$$2 \cdot z^{пр}_{max} = \mathrm{d}_{max2} - \mathrm{d}_{max3} = 60,095 - 58 = 2,095 \ мм = 2095 \ мкм \ ;$$

$$2 \cdot z^{пр}_{min} = \mathrm{d}_{min2} - \mathrm{d}_{min3} = 60,021 - 57,981 = 2,04 \ мм = 2040 \ мкм \ .$$

Для чистового точіння

$$2 \cdot z_{max}^{np} = \mathrm{d}_{\max 1} - \mathrm{d}_{\max 2} = 60,649 - 60,095 = 0,554 \text{ мм} = 554 \text{ мкм};$$

$$2 \cdot z_{min}^{np} = \mathrm{d}_{\min 1} - \mathrm{d}_{\min 2} = 60,349 - 60,021 = 0,328 \text{ мм} = 328 \text{ мкм}.$$

Для чорнового точіння

$$2 \cdot z_{max}^{np} = \mathrm{d}_{\max з} - \mathrm{d}_{\max 1} = 65,189 - 60,649 = 4,54 \text{ мм} = 4540 \text{ мкм};$$

$$2 \cdot z_{min}^{np} = \mathrm{d}_{\min з} - \mathrm{d}_{\min 1} = 63,289 - 60,349 = 2,94 \text{ мм} = 2940 \text{ мкм}.$$

Визначаємо загальні припуски

$$2 \cdot z_{o\,max} = 4540 + 554 + 2095 = 7189 \text{ мкм};$$

$$2 \cdot z_{o\,min} = 2940 + 328 + 2040 = 5308 \text{ мкм}.$$

Визначаємо загальний номінальний припуск

$$z_{o\ \text{ном}} = z_{omin} + EI_{\text{з}} - \delta_{\text{д}} = 5308 + 800 - 19 = 6089 \text{ мкм} = 6,1 \text{ мм},$$

де $EI_з$ – нижні відхилення діаметра заготовки; $\delta_д$ – допуск на деталь

Визначаємо номінальний діаметр заготовки:

$$d_{\text{з ном}} = d_{\text{д ном}} + z_{o\ \text{ном}} = 58 + 6,1 = 64,1 \text{ мм}.$$

Виконуємо перевірку правильності розрахунків

$z^{пр}_{max3} - z^{пр}_{min3} = 2095 - 2040 = 55$ *мкм*; $\delta_2 - \delta_3 = 74 - 19 = 55$ *мкм*;

$z^{пр}_{max2} - z^{пр}_{min2} = 554 - 328 = 226$ *мкм*; $\delta_1 - \delta_2 = 300 - 74 = 226$ *мкм*;

$z^{пр}_{max1} - z^{пр}_{min1} = 4540 - 2940 = 1600$ *мкм*; $\delta_з - \delta_1 = 1900 - 300 = 1600$ *мкм*

.

Отже, розрахунки припусків виконані правильно.

1.4.2. Розрахунок припусків на лінійний розмір.

Розрахуємо припуски на обробку поверхні $234_{-1,15}$.

Заготівля виробу одержуємо штампуванням на КГШП. Маршрут обробки поверхні складається з фрезерно-центрувальної операції.

Виписуємо значення R_z і Т для всіх операцій:

– для заготовки: $R_z = 150$ *мкм*, Т = 150 *мкм*;

– для фрезерно-центрувальної операції: $R_z = 5$ *мкм*, Т=15 *мкм*.

Розраховуємо просторове відхилення:

– для заготовки

$$\Delta_з = \Delta_{викр} = \Delta_в \cdot L = 0,7 \cdot 234 = 163,8 \text{ мкм.}$$

Розрахуємо залишкове просторове відхилення після фрезерування торців

$$\Delta_{зал} = K_у \cdot \Delta_з = 0,12 \cdot 163,8 = 19,66 \text{ мкм.}$$

Розрахуємо припуски на фрезерування торців

$$z_{min} = R_{Zi-1} + T_{i-1} + \Delta_{i-1} + \varepsilon_i = 150 + 150 + 163,8 + 0 = 463,8$$

Для подальших розрахунків складаємо таблицю 2.5.

Таблиця 2.5

Розрахунок припусків та граничних розмірів за операціями на обробку поверхні $234_{-1,15}$

Найменування операції	Елементи припуску, *мкм*			Припуск $2 \cdot z_{\min}$, *мкм*	l_p, *мм*	Допуск, δ, *мкм*	Граничні розміри, *мм*		Граничні припуски, *мкм*	
	R_z	T	Δ				$l_{\min}$	$l_{\max}$	$2 \cdot z^{пр}_{min}$	$2 \cdot z^{пр}_{\max}$
Заготовка	150	250	163,8	-	234	2000	228	236	5	-
1. Фрезерно-центрувальна	5	15	19,66	$2 \cdot 463,8$	226,85	1150	232,85	234	1150	2000

Графа «Розрахунковий розмір» в таблиці 2.5 (l_p) заповнюється, починаючи з кінцевого розміру, шляхом послідовного додавання розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу.

Для фрезерно-центрувальної операції

$$l_{p1} = l_{\min 1} = 234 - 1,15 = 232,85 \ мм.$$

Для заготовки

$$l_{рз} = l_{\min з} = l_{\min 1} + z_{\min 1} = 232,85 + 0,5638 = 233,41 \approx 234 \ мм.$$

Граничний лінійний розмір ($l_{\max}$) обчислюємо додаванням допуску до округленого найменшому граничного розміру. Розрахуємо найбільші лінійні розміри. При фрезерно-центрувальної операції

$$l_{\max 1} = 232,85 + 1,15 = 234 \ мм.$$

Для заготовки

$$l_{max3} = l_{\min з} + \delta_з = 234 + 2 = 236 \ мм.$$

Розрахуємо граничні значення припусків під фрезерування торців

$$z^{пр}_{max} = l_{\max з} - l_{\max 1} = 236 - 234 = 2 \ мм;$$

$$z^{пр}_{min} = l_{\min з} - l_{\min 1} = 234 - 232,85 = 1,15 \ мм.$$

Знайдемо загальний номінальний припуск

$$z_{0\ ном} = z_{0\min} + EI_з - \delta_д = 1150 + 1000 - 1150 = 1000 \ мкм.$$

Знайдемо номінальний розмір заготовки

$$l_{з\ ном} = l_{д\ ном} - z_{о\ ном} = 234 + 1 = 235 \ мм.$$

Виконаємо перевірку правильності розрахунків

$$z^{пр}_{max1} - z^{пр}_{min1} = 2000 - 1150 = 850 \ мкм; \ \delta_з - \delta_1 = 2000 - 1150 = 850 \ мкм.$$

Отже, розрахунки припусків виконані правильно.

На інші поверхні припуски і граничні відхилення призначаємо по ГОСТ 7505-89 і результати зводимо в таблицю 2.6.

Приклад креслення заготовки деталі «Вал» наведено на рис. 2.1.

Таблиця 2.6

Припуск і допуски на оброблювані поверхні валу

Розмір деталі	Припуск		Граничні відхилення
	табличний	розрахунковий	
$\varnothing 58^{-0.019}$	–	$2 \cdot 1{,}9$	$^{+0,8}_{-0,4}$
$\varnothing 64$	2·1	–	$^{+0,8}_{-0,4}$
$234^{-1{,}15}$	–	1	$^{+1,1}_{-0,5}$
10	0,9	–	$^{+0.7}_{-0,3}$

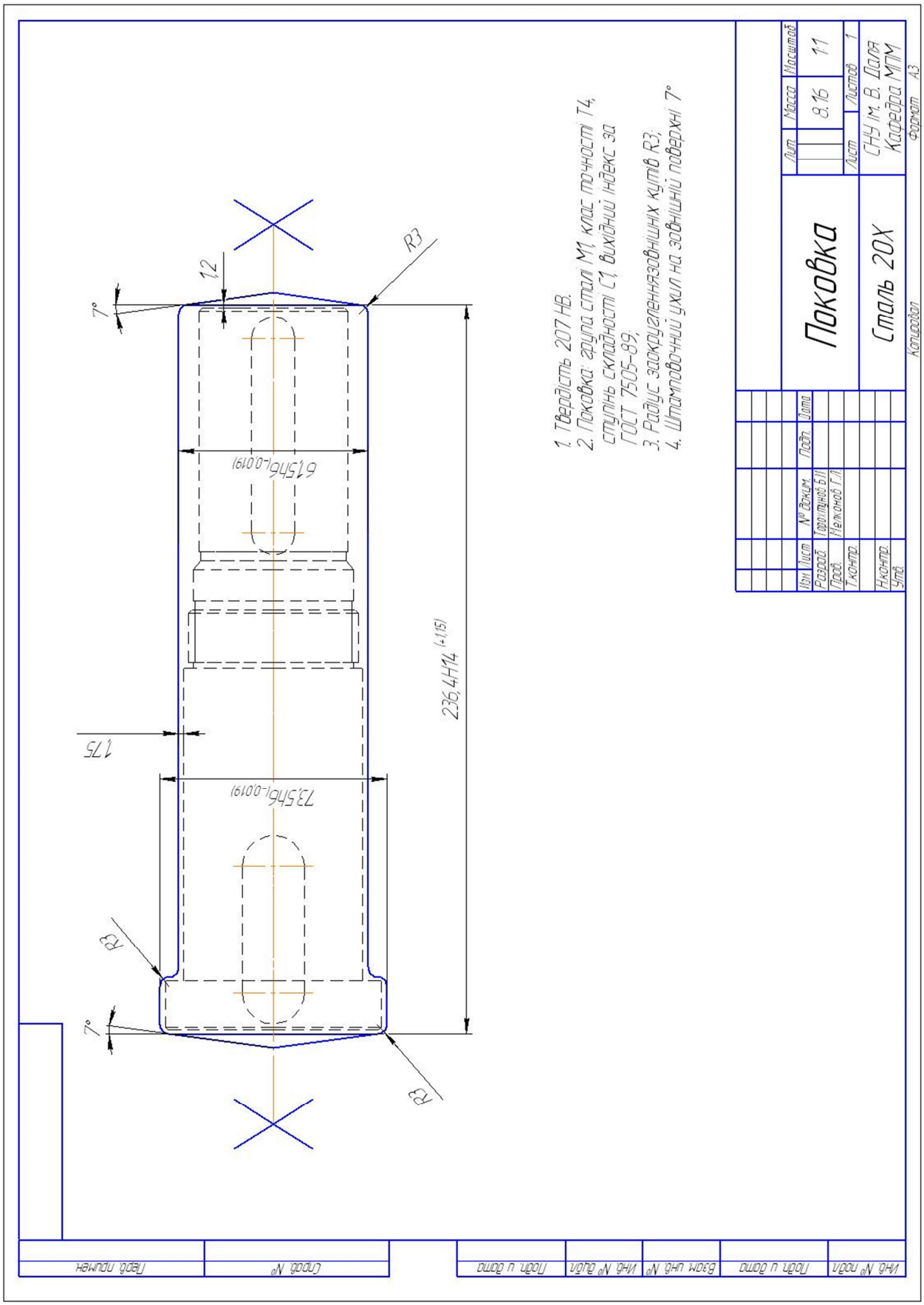


Рис. 2.1. Приклад креслення заготовки деталі «Вал»

4.5. Розробка та аналіз маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі.

Відповідно до креслення деталі і річним обсягом випуску приймаємо наступний маршрут її обробки (таблиця 2.7).

Таблиця 2.7

Маршрутний технологічний процес

№ операції	Найменування операції, її зміст	Базові поверхні	Модель верстата	Робочий інструмент	Установочні пристосування
005	Пресова		КГШП		
010	Фрезерно-центрувальна 1. Фрезерувати торці 2. Свердлити центрові отвори	Поверхні Ø58, Ø48 і торець валу	МР77	Фреза торцева Ø100; Т15К6 Свердел центрувальне Ø6,3; Р18	Захват 7808-4013
015	Токарна с ЧПК 1. Чорнове точіння поверхонь Ø48, Ø52, Ø58, Ø70 і торця. 2. Чистове точіння поверхонь Ø48, Ø52, Ø58, торця 10 і фасок. 3. Точити 2 канавки b = 3 4. Точити канавку b = 2,5 5. Нарізати різьбу М55х2-6g	Центрові отвори	16К20. Т1	Різець прохідний Т15К6 Різець канавковий Т15К6 Різець різьбонарізний	Патрон повідковий 7108-0022 ГОСТ 25-71-71; центр плаваючий 7032-0171 ГОСТ 18259-72
020	Вертикально-фрезерна ЧПК 1. Фрезерувати шпонкові паз 14N9 2. Фрезерувати шпонкові паз 16N9	Поверхні Ø58, Ø48 і торець валу	6Р13Ф 3-01	Фрези кінцеві Ø16, Ø14	Призми 7033-0109 ГОСТ 12195-66; прихват 7011-0477 ГОСТ 4734-69
025	Вертикально-свердлувальний з ЧПК 1. Свердлити отвір Ø16	Поверхні Ø58, Ø48 і	2Р135 Ф2-1	Свердло Ø 15 Зенкер	Призми 7033-0109 ГОСТ 12195-66; прихват 7011-0477

	2. Зенкерувати отвір 3. Зенкувати фаску 2. Нарізати різьбу М16	торець валу		Зенківка Мітчик Ø 16	ГОСТ 4734-69
030	Слюсарна 1. Обпиляти задирки після попередніх операцій, очисти глухі отвори від стружки		Верстак слюсарний	Напилок	
035	Термічна				
040	Торцекруглошліфувальна 1. Шліфувати поверхностьØ58, Ø48 і торець	Центров і отвори	3Т161Е	Круг шліфувальний	Патрон повідковий 7108-0022 ГОСТ 25-71-71; центр плаваючий 7032-0171 ГОСТ 18259-72
045	Контрольна				Стіл контрольний

У розробленому, технологічному процесі, заготовкою є поковка, форма якої максимально наближена до форми деталі, що дозволяє прискорити і знизити витрати на обробку деталі. Більшість операцій ведеться на верстатах з ЧПК, що забезпечує найбільш високу продуктивність і точність оброблюваних поверхонь. При обробці даної деталі діє принцип сталості і суміщення баз, що так само забезпечує точність оброблюваних поверхонь. Застосовуються стандартні пристосування, і використовується високопродуктивний ріжучий інструмент.

Розрахунок необхідної кількості операцій проведемо по поверхні $\varnothing 58^{-}_{(-0,019)}$. Розмір заготовки $\underline{\varnothing 64,1^{+0,8}_{-0,4}}$.

Розрахуємо коефіцієнт уточнення

$$K_{у.о.} = \frac{T_з}{T_д} = \frac{1,9}{0,019} = 100 \text{ мкм},$$

$T_з$ – допуск на заготовку на оброблювану поверхню, *мкм*; $T_д$ – допуск на оброблену поверхню деталі, *мкм*.

Для обробки поверхні $\varnothing 58^{-}_{(-0,019)}$ приймаємо наступний маршрут: чорнове точіння, чистове точіння, шліфування.

Розрахуємо проміжні значення коефіцієнту уточнення

$$K_{у1} = \frac{\delta_з}{\delta_1} = \frac{1,9}{0,3} = 6,3,$$

E

M

де δ_1, δ_2, δ_3 – допуски розмірів, отриманих при обробці деталі на першій, другій і третій операціях.

Перевіримо виконання умови $K_{y.o.} \le \prod_{i=1}^{n} K_{yi}$

$$K_{y.o.} \le K_{y1} \cdot K_{y2} \cdot K_{y3},$$

$$100 < 102,06$$

Отримане значення добутку коефіцієнтів уточнення показує, що при прийнятому маршруті точність обробки поверхні $\varnothing 58_{(-0,019)}$ забезпечується.

4.6. Розрахунок режимів різання.

Розрахуємо режими різання аналітичним методом для операції технологічного процесу обробки деталі «Вал» 015 – токарна ЧПК.

Операція виконується на верстаті моделі 16К20.Т1. Інструменти – різці з платівкою з твердого сплаву Т15К6.

Зміст операції:

– чорнове точіння поверхонь Ø52, Ø48, Ø58, Ø70 і торця.

– чистове точіння поверхонь Ø52, Ø48, Ø58, торця і фасок.

– точити 2 канавки b = 3 мм;

– точити канавку b = 2,5 мм;

– нарізати різьбу М55х2-6g.

Розрахунок ведемо для чорнового точіння $\varnothing 58_{(-0,019)}$ мм, для глибини різання $t = 1$ мм.

Рекомендована і прийнята за паспортом верстата подача: $S_0 = 1$ мм/об.

Розрахуємо коефіцієнт, що враховує влив якості оброблюваного матеріалу на швидкість різання

$$K_{\text{Mv}} = \left(\frac{750}{\sigma_{\text{в}}} \right)^{\text{n}} = \frac{750}{610} = 1,23,$$

де n – показник ступеня при визначенні складової сили P_z при обробці різцями дорівнює $n = 0,75$; $K_{\text{φр}}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив головного кута на силу різання; $K_{\text{γр}}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив переднього кута в плані на силу різання; $K_{\text{λр}}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив кута нахилу головного леза на силу різання; $K_{\text{гр}}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив радіусу при вершині різця.

Знайдемо поправочний коефіцієнт

$$K_v = K_{\text{Mv}} \cdot K_{\text{Пv}} \cdot K_{\text{Иv}} = 1,23 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,98.$$

Знайдемо швидкість різання за аналітичним розрахунком

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} \cdot K_v = \frac{340}{30^{0,2} \cdot 1^{0,15} \cdot 1^{0,45}} \cdot 0,98 = 169$$

де C_v – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу; m – показник ступеня по стійкості T; x – показник ступеня при глибині різання t; y – показник ступеня при подачі S; T – значення стійкості; t – глибина різання; S – подача.

Обираємо значення коефіцієнтів для умов обробки валу, а саме зовнішнє поздовжнє точіння прохідними різцями: $C_v = 340$; $m = 0,2$; $x = 0,15$; $y = 0,45$; $T = 30$ хв.

Знайдемо за формулою частоту обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 169}{3,14 \cdot 58} = 928\ хв^{-1}.$$

Приймається за паспортом верстата частота обертання $n_{пр} = 800\ хв^{-1}$.

Знайдемо дійсну швидкість різання

$$n = V = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{пр}}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 58 \cdot 800}{1000} = 146\ м/хв.$$

Розрахуємо поправочний коефіцієнт, що враховує вплив механічних властивостей оброблюваного матеріалу на силу різання

$$K_{\text{Мр}} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n == \left(\frac{780}{750} \right)^{0,75} = 1,03\ ,$$

де σ_B – межа міцності при розтягуванні, $МПа$, n – показник ступеня при визначенні складової сили P_z при обробці різцями дорівнює $n = 0,75$.

Знайдемо поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання

$$K_p = K_{\text{Мр}} \cdot K_{\varphi\text{р}} \cdot K_{\gamma\text{р}} \cdot K_{\lambda\text{р}} \cdot K_{\text{гр}} = 1,03 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,97 .$$

Розрахуємо силу різання

$$P_z = 10 C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 1^1 \cdot 1^{0,75} \cdot 146^{-0,15} \cdot 0,97 = 1,38 \ кН,$$

де C_p – постійний коефіцієнт, що залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу; t – глибина різання; S – подача; V – швидкість різання. K_p – поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання.

Визначимо потужність різання за формулою

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1378 \cdot 146}{1020 \cdot 60} = 3,3 \ кВт.$$

Виконаємо перевірку потужності двигуна головного приводу верстата $N_в = 11 \ кВт$

$$N < N_в$$

$$3,3 < 11$$

Таким чином, привід верстата забезпечує обробку при заданих режимах.

Визначаємо хвилинну подачу

$$S_{хв} = S \cdot n = 1 \cdot 800 = 800 \ мм/хв.$$

Визначаємо величину врізання

$$y = y_{підв} + y_{вріз} + y_n = 4 + 6 + 0 = 10\ мм.$$

Знайдемо довжину робочого ходу інструмента

$$L = l + y = 224 + 10 = 234\ мм.$$

Розрахуємо основний час

$$T_o = \frac{L}{s} \cdot i = \frac{234}{800} \cdot 1 = 0,29$$

Визначення режимів різання для всіх наступних операцій виконаємо табличним методом за допомого довідникової літератури, результати зведемо в таблицю 2.8.

Таблиця 2.7

Зведена таблиця режимів різання для технологічного процесу обробки деталі «Вал»

№ операції	Найменування операції, переходу	Глибина різання t, *мм*	Довжина різання, $l_{різ}$, *мм*	Подача So, *мм/об*		Швидкість V, *м/хв*		Частота обертання, *хв*$^{-1}$		Хвилинна подача Sхв, *мм/хв*	Основний час, To, *хв*
				розрахункова	прийнята	розрахункова	прийнята	розрахункова	прийнята		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
010	Фрезерно-центрувальна 1. Фрезерувати торці 2. Свердлити центрові отвори	1 3,15	66 13,8	1 0,12	1 0,12	120 29	101 25	579 1453	500 1250	2000 150	0,15 0,1

015	Токарна с ЧПК 1. Чорнове точіння поверхонь Ø58	1 0,9	218 117	1 0,6	1 0,6	169 125	146 109	979 724	800 630	800 378	0,29 0,34
	Ø52	1	98	0,6	0,6	125	103	766	630	378	0,29
	Ø48	1,3	82	0,6	0,6	125	121	829	800	480	0,23
	Ø70	1	10	0,6	0,6	125	101	622	500	300	0,04
	2. Чистове точіння поверхонь Ø58,	0,6	101	0,3	0,3	163	138	944	800	240	0,46
	Ø52,	0,5	16	0,3	0,3	150	131	919	800	240	0,11
	Ø48	0,8	82	0,3	0,3	150	121	995	800	240	0,39
	3. Точити 2 канавки b=3 Ø51 Ø47	0,25	3	0,2	0,2	77	65	476	400	80	0,05
		0,25	3	0,2	0,2	77	75	516	500	100	0,04
	4. Точити канавку b=2,5 Ø52	1,5	2,5	0,2	0,2	77	65	472	400	80	0,05
	5. Нарізати різьбу M55x2-6g	2	16	2	2	13	11	75	63	126	0,28
020	Вертикально-фрезерна ЧПК 1. Фрезерувати шпонковий паз 14N9	5,5	77	0,015	0,015	27	22	614	500	25	3
	2. Фрезерувати шпонковий паз 16N9	6	61	0,02	0,02	27	25	537	500	25	2,6
025	Вертикально-свердлильна з ЧПК 1. Свердлить отв. Ø14	7	53	0,3	0,3	25	22	569	500	150	0,38
	2. Зенкерувати отвір	1	6,5	0,3	0,3	22	20	438	400	120	0,05
	3. Зенкувати фаску	1	1	0,1	0,1	36	34	674	630	63	0,01
	2. Нарізати різьбу M16	1,25	47	1,25	1,25	10	8	199	160	200	0,47
040	Торцекруглошліфувальна 1. Шліфувати поверхню Ø58	0,3	101	-	-	25	22	145	125	0,4	1
	Ø48	0,4	82	-	-	25	24	166	160	0,5	1,04

4.7. Розрахунок точності операції.

Розрахунок точності виконуємо на операцію 015 – Токарну з ЧПК, чистове точіння поверхонь Ø58, Ø52, Ø48. Допуск на оброблювану поверхню $\delta = 120$ *мкм*.

Визначимо похибку, яка обумовлена зносом різального інструмента. Для цього знайдемо шлях різання при $S_0 = 0{,}2$ *мм / об.*

$$l = \frac{\pi \cdot D \cdot L \cdot n}{1000 \cdot S_0} = \frac{3{,}14 \cdot 58 \cdot 234 \cdot 146}{1000 \cdot 0{,}2} = 31110 \text{ м}.$$

Тоді похибку, яка обумовлена зносом різального інструменту, визначимо за формулою

$$\Delta i = \frac{i_o \cdot l}{1000} = \frac{5 \cdot 31110}{1000} = 155 \text{ мкм},$$

де i_o – відносний знос інструмента на 1000 *м* шляху різання, для різців з матеріалу ріжучої частини Т15К6 при обробки деталі з вуглеродистої сталі $i_o = 5$ *мкм/км*.

Визначимо похибку настройки верстата.

Знайдемо $\Delta_{зм}$ – зміщення центру групування розмірів пробних деталей щодо середини поля розсіювання розмірів. Приймемо миттєву похибку обробки, $\Delta_{мп} = 10$ *мкм*; кількість пробних деталей, $m = 5$. Тоді

$$\Delta_{зм} = \frac{\Delta_{мп}}{\sqrt{m}} = \frac{10}{\sqrt{5}} = 4{,}4 \text{ мкм}.$$

Приймемо похибку регулювання положення ріжучого інструменту на верстаті, $\Delta_{рег} = 15$ мкм, похибку вимірювання пробних деталей $\Delta_{вим} = 8$ мкм. Тоді

$$\Delta_н = \sqrt{\Delta_{зм}{}^2 + \Delta_{рег}{}^2 + \Delta_{вим}{}^2} = \sqrt{4,4^2 + 15^2 + 8^2} = 17 \ мкм,$$

де $\Delta_{рег}$ – похибка регулювання положення ріжучого інструменту на верстаті; $\Delta_{вим}$ – похибка вимірювання пробних деталей; $\Delta_{зм}$ – зміщення центру групування розмірів пробних деталей щодо середини поля розсіювання розмірів, *мкм*.

При установці деталі в центрах: $\varepsilon_у^2 = 0$. Знайдемо сумарну похибку обробки

$$\Delta_\Sigma = \Delta_і + \Delta_н + \sqrt{\Delta_{сл}^2 + \varepsilon_у^2} = 76 + 17 + \sqrt{15^2 + 0^2} = 108 \ мкм,$$

де $\Delta_і$ – похибка, обумовлена зносом різального інструменту, *мкм*; $\Delta_н$ – похибка настройки верстата, *мкм*; $\Delta_{сл} = 15$ *мкм* поле розсіювання похибок обробки, обумовлених дією випадкових факторів, *мкм*; $\varepsilon_у$ – похибка установки заготовки, *мкм*.

Виконаємо перевірку забезпечення необхідної точності обробки обох поверхонь

$\Delta_\Sigma < T$ тобто $108 < 120$ *мкм*,

Точність обробки деталі «Вал» при спроектованому технологічному процесі забезпечується.