

ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ РОБЕРТА ЕЛЬВОРТИ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри прикладної  
механіки

 Пузирьов О.Л.

«12» 06 2023р.

**Кваліфікаційна робота**  
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»  
зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему:

«Конструкторсько-технологічне забезпечення технологічного процесу  
виготовлення деталі «черв'ячного вала» до мотор-редуктора NMRV110.

Вітер Євгеній Сергійович

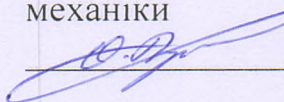
Керівник кваліфікаційної  
роботи:

Неділько Віталій Миколайович,  
кандидат технічних наук, доцент  
кафедри прикладної механіки

Роботу рекомендовано до захисту  
на засіданні кафедри прикладної  
механіки

Протокол № 10 від «9» 06.2023р.

Завідувач кафедри прикладної  
механіки

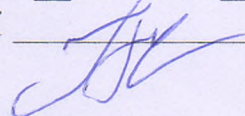
 Пузирьов О.Л.

Роботу захищено на засіданні ЕК  
з оцінкою

задовільно E / 61  
(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)

Протокол № 5 від «23» 06 2023р.

Голова ЕК



Кропивницький – 2023



Завідувачу кафедри прикладної  
механіки

**к.т.н. Пузирьову О.Л.**

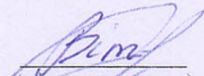
студента IV курсу групи ПМ-19

**Вітер Євгеній Сергійович**

### ЗАЯВА

Прошу затвердити тему кваліфікаційної роботи «Конструкторсько-технологічне забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «черв'ячного вала.» до мотор-редуктора NMRV110 та керівника Неділько Віталія Миколайовича кандидата технічних наук, доцента кафедри прикладної механіки

З графіком виконання кваліфікаційної роботи ознайомлений

  
(підпис студента)

« 2 » лютого 2023р.

ПОГОДЖЕНО

Керівник кваліфікаційної роботи  
Доцент кафедри прикладної  
механіки

Неділько В.М.

« 3 » 02 2023р

СХВАЛЕНО

Завідувач кафедри прикладної  
механіки

Пузирьов О.Л.

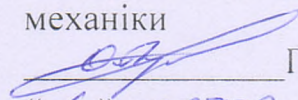
« 3 » лютого 2023р



ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ РОБЕРТА  
ЕЛЬВОРТИ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ

Рівень вищої освіти бакалавр  
Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри прикладної  
механіки

 Пузирьов О.Л.  
« 6 » лютого 2023 р.

ЗАВДАННЯ  
для кваліфікаційної роботи студентів  
Вітер Євгеній Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Конструкторсько-технологічне забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі «черв'ячного вала.» мотор-редуктора NMRV110

Керівник роботи Неділько Віталій Миколайович, к.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання )

2. Строк подання роботи до захисту \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: Деталь «Черв'ячний вал»

Річний обсяг випуску: 2000 шт.

Тип виробництва - серійне

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1) аналітичний огляд і постановка задачі; конструкторські розділи – 2) технологія виготовлення черв'ячного вала; 3) проектування верстатного пристрою; додаткові розділи – 4) питання охорони праці; 5) захист навколишнього середовища.

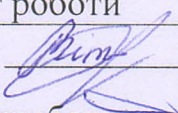
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): креслення черв'ячного вала; креслення вилівка для заготовок черв'ячного вала; креслення конструкції верстатних пристроїв – 1-2 аркуші.

Дата видачі завдання: 6 лютого 2023 р.



## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
		Етапів роботи	
1	Складання плану виконання роботи	6.02.2023-10.02.2023	
2	Підбір та вивчення літературних джерел з метою кваліфікаційної роботи	10.02.2023-15.02.2023	
3	Підготовка та подання науковому керівнику: - вступу - першого розділу - другого розділу - третього розділу - четвертого розділу - п'ятого розділу - висновків	1.03.2023-15.03.2023 17.04.23-12.05.2023 22.05.2023-26.05.2023 29.05.2023-31.05.2023	
4	Подання робочого варіанту роботи керівнику	1.06.2023-2.06.2023	
5	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень керівника. Одержання відгуку	2.06.2023-5.06.2023	
6	Подання роботи завідувачу кафедри на перевірку	6.06.2023-7.06.2023	
7	Рецензування роботи. Підготовка документів, що подаються до ЕК(листи, довідки, інформаційний листок, висновок-виписка, опубліковані статті). Нормо-контроль секретаря ЕК	7.06.2023-9.06.2023 7.06.2023-8.06.2023  9.06.2023	
8	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень завідувача кафедри. Допуск роботи до захисту	12.06.2023	
9	Подання роботи та супровідних документів до ЕК	14.06.2023	
10	Захист роботи	23.06.2023	

Студент  Вітер Є.С.

Керівник роботи  Неділько В.М.

## АНОТАЦІЯ

Конструкторсько - технологічне забезпечення технологічного процесу виготовлення деталі черв'ячного вала. – Кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 «Прикладна механіка». – Економіко - технологічний інститут імені Роберта Ельворті, Кропивницький, 2023.

с. 83, рис. 10, табл. 23.

Ключові слова:

деталь, технологія виробництва, токарна операція, фрезерна операція, свердлувальна операція, верстат з ЧПК.

detail, production technology, turning operation, milling operation, drilling operation, CNC machinetool.

Мета роботи: дослідити технологію машинного виробництва на прикладі деталі «черв'ячний вал».

Об'єкт дослідження: технологія машинного виробництва.

Предмет дослідження: черв'ячний вал.

Основні результати роботи:

- огляд сучасних технологій виробництва черв'ячного вала;
- аналіз призначення та конструкції деталі черв'ячного вала;
- розробка технологічного процесу виготовлення черв'ячного вала;
- вибір технологічного обладнання;
- проведені загальні розрахунки для характеристик черв'ячного вала;
- проведені розрахунки вилівка для черв'ячного вала (усадка, припуски, ливарні ухили);
- розроблено операції обробки заготовки для черв'ячного вала;

коротко розглянемо питання охорони праці та захист навколишнього середовища.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	11
1.1. Огляд сучасних технологій виробництва черв'ячного вала.....	11
1.2. Аналіз призначення та конструкції деталі черв'ячного вала.....	13
1.3. Розробка технологічного процесу виготовлення черв'ячного вала... 19	
1.4. Вибір технологічного обладнання.....	23
1.5. Аналіз функціонального призначення верстатного, роботехнічного обладнання.....	25
1.6. Експлуатаційні умови роботи верстатного, роботехнічного обладнання.....	27
1.7. Аналіз аналогів верстатного, роботехнічного обладнання, що проектується.....	29
1.8. Розробка та оформлення комплекту технологічної документації, необхідної для виготовлення деталі черв'ячного вала.....	31
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЧЕРВ'ЯЧНОГО ВАЛА.....	
2.1. Загальні розрахунки для характеристик черв'ячного вала.....	34
2.2. Вибір вилівки для заготовок черв'ячного вала.....	36
2.3. Усадка металу вилівки для черв'ячного вала.....	38
2.4. Припуски на механічну обробку.....	43
2.5. Ливарніухили.....	46
2.6. Попередня обробка заготовок.....	50
2.7. Обробка шпонкових канавок для черв'ячного вала.....	52

2.8. Нарізання різьби на валу.....	53
2.9. Шліфування шийок та торців вала.....	54
2.10. Остаточна обробка черв'ячного вала.....	55
2.11. Контроль якості виготовлення черв'ячного вала.....	56
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ .....	58
3.1. Технічні вимоги до верстатних пристроїв.....	58
3.2. Розрахунок точності параметрів пристрою.....	59
3.3. Оцінки економічної ефективності верстатних пристроїв.....	62
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66
ДОДАТКИ.....	70

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВТК — відділ технічного контролю.

ВП — верстатний пристрій.

ЕТД — електронний технічний документ.

ЄСКД — єдина система конструкторської документації.

КЗпП — Кодекс Законів про працю.

ККД — коефіцієнт корисної дії.

ОМР — обробка металів різанням.

ПБ — пожежна безпека.

РТК — роботизований технологічний комплекс.

МК — маршрутна карта;

ОК — операційна карта;

КТО — карта типової (групової) операції;

КТП — карта технологічного процесу;

КТТП — карта типового (групового) технологічного процесу;

КК — комплексна карта.

До допоміжних документів належать:

КП — карта погодження технологічного процесу;

КЗ — карта замовлення на проектування та виготовлення технологічного оснащення.



## ВСТУП

Швидкий еволюційний розвиток усіх елементів машинобудівної промисловості сприяв науковому розширенню, послідовному вдосконаленню техніки, організації виробництва, що сприяло підвищенню його ефективності й різноманітності.

Сьогодні у технології машинобудування існують дві важливі тенденції: 1) створення нових чи вдосконалення існуючих виробних засобів поряд із підвищенням вимог до них; 2) необхідність перегляду особливостей вивчення машинобудування та створення нових чи вдосконалення існуючих методів виробництва.

Кожна з цих тенденцій включає цілу низку більш вузьких і конкретних задач, такі як: довговічність і надійність, геометрична та функціональна взаємозамінність, створення нових матеріалів та способів їх оброблення, технологічність, автоматизація в усіх видах виробництва, можливість підвищити продуктивність праці, зменшити собівартість продукції а також найголовніше завдання максимального збільшення кількості дослідних і наукових робіт, їх ефективність.

Розробка і впровадження у виробництво най різноманітних методів виробництва деталей дозволяють успішно здійснювати розробку технологічного процесу виготовлення тієї чи іншої деталі.

Об'єктом роботи є проектування (розробка) технологічного процесу виготовлення деталі, а предметом буде безпосередньо аналітичний огляд та виробництво черв'ячного вала.

Метою дипломної є засвоєння ключових уявлень про сучасні технології виробництва, розвиток проектно-технологічної діяльності, самоосвіти, прагнення до соціально-професійного самовизначення, формування творчої особистості.

Також метою кваліфікаційної роботи є проведення детального аналізу технологій виробництва черв'ячного вала на основі сучасних досягнень науки й техніки. Розроблення та порівняння технологічного процесу виготовлення деталі, що забезпечив би можливість для підвищення якості, збільшення продуктивності праці, зменшення її собівартості, тобто такого який був би більш прогресивнішим, продуктивнішим чи економічнішим.

Досягнення мети дипломної роботи зумовило необхідність постановку та розв'язання таких завдань:

- 1) огляд сучасних технологій виробництва черв'ячного вала;
- 2) аналіз призначення та конструкції деталі черв'ячного вала;
- 3) розробка технологічного процесу виготовлення черв'ячного вала;
- 4) вибір технологічного обладнання;
- 5) проведення розрахунків для характеристик черв'ячного вала;
- 6) вибір вилівка для заготовок черв'ячного вала;
- 7) вибір способів обробки металу різанням;
- 8) проектування верстатного пристрою;
- 9) розгляд питань охорони праці;
- 10) вивчення захисту навколишнього середовища при виробництві деталей.



## РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

### 1.1 Огляд сучасних технологій виробництва черв'ячного вала

Виготовлення тієї чи іншої деталі складається з багатьох етапів, кожен з яких відіграє ту чи іншу роль в остаточному результаті [1, с. 7].

Етапи вибираються, зважаючи на певні чинники, таких як:

- матеріал деталі;
- розміри деталі чи складна форма поверхонь;
- виробництво: одиничному і дрібносерійному чи серійному ;
- вимоги до експлуатації деталі;
- наявність обладнання на підприємстві тощо.

Основні етапи виготовлення деталей [1, с. 8]: 1-й етап — отримання матеріалу; 2-й етап — виготовлення заготовок; ; 3-й етап — обробка заготовок.

Деталь - це виріб, який зроблений з однорідного матеріалу без застосування складальних операцій. Тому 4-й етап — складання вузлів застосовують для виробництва різних виробів, агрегатів (верстатів, двигунів, підшипників, інструментів і т.д.).

Матеріал для валу в більшості випадках є сталь чи інші метали, але останнім часом часто стали використовувати матеріали, основою яких є полімер (реактопласти, поліпропілен і т.д.) коли вага вала має важливе значення, або як гнучкі вали, що складається з декількох шарів і останній шар — еластична захисна оболонка, котра обмежує, захищає від ушкоджень і забруднень, зберігає на ньому консистентне змащення.

Технологічне виробництво чи процес одержання сталі дуже різноманітний і передбачає два основних способи :

1) Пряме отримання сталі із залізних руд, так званим сиродутним процесом, це так зване однокрокове виробництво за схемою залізна руда – сталь.

2) Отримання сталі шляхом рафінування чавуну, це дво-крокове виробництво за схемою залізна руда – чавун – сталь[2, с. 205].

Конверторний спосіб. Суть конверторного способу полягає в тому, що через рідкий чавун, залитий у конвертор, продувається повітря, кисень якого окислює вуглець та домішки.

Бесемерівський процес Суть цього процесу полягає в тому, що кисень повітря, яке вдувається через рідкий чавун, окислює його домішки і при цьому відбувається реакція з інтенсивним перебігом. Під час утворюється така кількість тепла, якої цілком досить для перетворення чавуну на сталь (протягом 10-13 хв). Вихідним матеріалом для ведення процесу є переробний чавун.

Томасівський процес, це процес який дає можливість переплавляти чавуну з високим вмістом фосфору (до 1,5-2,5%) і низьким вмістом кремнію (від 0,2 до 0,9%).

Мартенівський спосіб. Цей спосіб буває кислим або основним. На металургійних заводах мартенівська сталь виробляється основним скрап-рудним процесом, металева шихта якого складається з 55-65% рідкого чавуну і 45-35% залізо сталюого лому.

Заготовки для деталей можуть бути отриманими литтям (лиття в піщані форми; лиття під тиском; лиття в кокіль; відцентрове лиття; лиття за виплавленими моделями; лиття за газифікованими (випалюваними) моделями; лиття в оболонкові форми тощо) або пластичним деформуванням[3, с. 21]. Процес поверхневого пластичного деформування поділений на два основних види: кування (у підкладних штампах; вільне; на пресі) й штампування (холодним листовим; холодним об'ємним; валковим; гарячим об'ємним; магнітно-імпульсним) [3, с. 22].



У більшості випадків деталі, одержані прокаткою, куванням, литтям чи будь якому штампуванням, піддають обробці. Розрізняють обробку металів різанням та фізико-хімічні методи обробки металів (електроіскровий, електро імпульсний, електро контактний і анодно-механічний тощо) .ОМР буває механічною, коли припуск зрізують на металорізальних станках, а також слюсарний, коли припуск видаляють вручну за допомогою необхідного слюсарного інструменту [4, с. 8].

Основними видами ОМР є: довбання; стругання; фрезерування; гостріння; шліфування; свердління (зенкування, розгортання і зенкування) . При цьому верстати та станки поділяють на групи: токарної групи, стругальної та свердлильної, довбальної групи, фрезерної, і розточної групи, шліфувальної та ін. При ОМР використовують різний ріжучий інструмент: зенкера різці, фрези, свердла, розгортки,. Ці інструменти мають спеціально заточену ріжучу частину, а також застосовують шліфувальні абразивні кола, зерна яких мають гострими кутами і гранями. Ріжучий інструмент виготовляють з матеріалу підвищеною міцністю, твердістю, термо- і зносостійкості, різних розмірів і формі [4, с. 8].

Складання вузлів деталей може проводитися за допомогою шліцьових і шпонкових з'єднань, різьбових з'єднань (гайок, шпильок, болтів, гвинтів), при склеюванні, зварюванні, пайкою тощо.

## **1.2 Аналіз призначення та конструкції деталі черв'ячного вала**

Деталь черв'ячного вала відноситься до класу деталей — циліндричні деталі обертання, клас вали[5, с. 8].

Класифікація:

- 1) За формою початкової поверхні черв'яка — циліндричні.
- 2) За формою профілю витків черв'яка у торцевій площині — конволютні (черв'як ZN).
- 3) За кількістю заходів різьби — одно західні.

4) За розташуванням поверхні, на якій нанесена різьба — зовнішня  
Відповідно до ЄСКД на всі деталі машинобудування і приладобудування встановлені шість класів, а черв'ячний вал слід віднести до деталей 72 класу (тіла обертання з елементами зубчастого зачеплення).

Призначення: деталь черв'ячний вал використовують у різних металообробних верстатах для передавання малих та середніх (до 50 кВт) потужностей. Переваги — плавність та безшумність роботи при високих швидкостях. Недоліки — порівняно невисокий ККД, що не перевищує у деяких випадках 0,70-0,85.

Матеріал. Черв'яки швидкохідних високонавантажених передач виготовляють з якісних вуглецевих сталей. Приймаємо вуглецеву сталь марки 45Л, характеристики наведені в таблицях 1.1 та 1.2

Таблиця 1.1

Механічні властивості матеріалу черв'ячного вала.

Марка сталі	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\lambda_n$ , кг·с/см <sup>2</sup>	Відносне звуження, %	Твердість НВ
45Л	360	610	16	50	40	190...240

Таблиця 1.2

Хімічний склад у % матеріалу черв'ячного вала (сталь 45Л ДСТУ 7809:2015)

Fe	C	Cr	Mn	Si	P	S	Ni
<97	<0,5	<0,6	<1	<1	<0,06	<0,05	<0,04

Визначили і сформулювали основні та допоміжні функції вибраного вала у вигляді таблиці 1.3.

Таблиця 1.3



### Функції черв'ячного вала.

Особливість	Основна функція	Допоміжні функції
Односторонній, однозахідний черв'ячний вал	передавання крутного моменту	орієнтування деталей

Зробимо технологічний аналіз окремих частин поверхні деталі, що зображена на рис.1.1. Дані аналізу внесемо до таблиці 1.4.

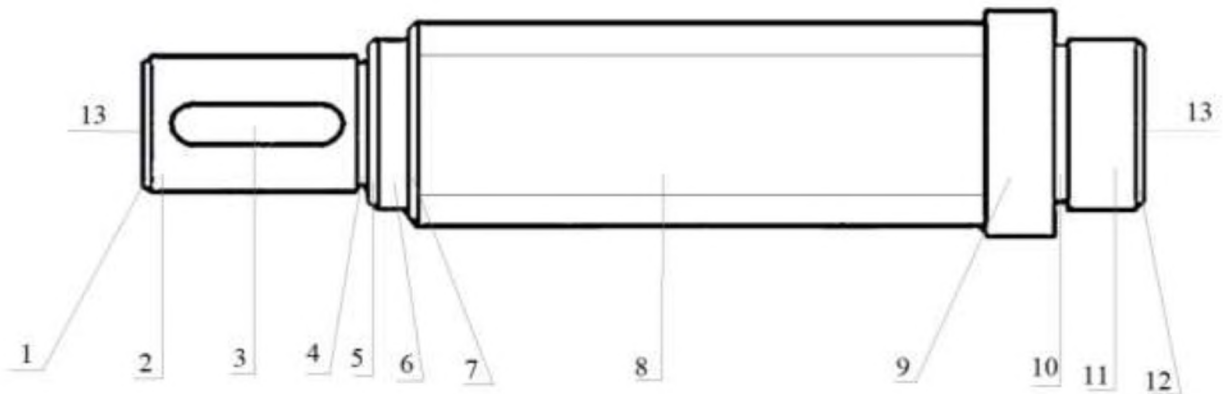


Рис. 1.1. Ескіз деталі черв'ячний вал.

Таблиця 1.4

Технологічний аналіз частин поверхні деталі.

№	Назва	Розмір	Квалітет точності $T_i$	Допуск, мкм	Параметр шорсткості, $R_a$
1	фаска	$\varnothing 60k6$	6	9	1,25
2	цапфа	$\varnothing 70h50$	14	16	2,0
3	шпонковий паз	20N9	6	9	2,0
4	канавка	$\varnothing 60k6$	6	9	1,25
5	фаска	$\varnothing 80k6$	6	9	1,25
6	буртик	$\varnothing 80h6$	9	9	2,0
7	жолобник	$\varnothing 90k6$	6	9	1,25
8	цапфа	$\varnothing 90h100$	3	3	0,50
9	буртик	$\varnothing 100h14$	9	11	2,0

10	канавка	Ø60k6	6	9	1,25
11	цапфа	Ø85h25	12	12	2,0
12	фаска	Ø80k6	6	9	1,25

Продовження табл. 1.4

13	торці	Ø60;Ø75	9	12	2,5
----	-------	---------	---	----	-----

Для повного складання технологічного аналізу частин поверхні деталі розглянемо функціональне призначення окремих поверхонь з поділом поверхонь на виконавчі поверхні, основних і допоміжних у вигляді таблиці 1.5[7]

Таблиця 1.5

Функції поверхонь черв'ячного вала.

Забезпечення сприймання зусиль	Виконавчі поверхні	8
Забезпечення передавання зусиль		7,6,5,4,2
Забезпечення орієнтування інших деталей		2,3,4,5,6,7,8,9, 10,11,12
Забезпечення сталої точності відносного розташування		13,11,9,6,2
Забезпечення напрямком і величиною опорних реакцій		2,5,6,8,9,11,13
Забезпечення упору і обмеження осьового переміщення встановлених на валу деталей		2,5,9,11
Забезпечення упору і обмеження осьового переміщення вала		13,11,9,8,6,2
Визначення положення вала	Основні бази	13,11,9,8,6,2
Визначення положення інших деталей (не вала)	Допоміжні бази	3,4,5,7,10,12
Полегшення монтажу	Вільні поверхні	1,12

Визначаємо тип виробництва за річним обсягом випуску: 2000 шт. Тип виробництва — середньо серійне [8, с. 4].

Якщо виробництво серійне, то необхідно знайти партію запуску деталей за формулою [8, с. 4]:

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

де  $a$  – кількість днів, на які необхідно мати запас деталей на складі (рекомендується приймати  $a = 2 \dots 3$  дня для великих деталей,  $a = 3 \dots 5$  днів для середніх деталей;  $a = 5 \dots 10$  для дрібних деталей.);  $D$  – кількість робочих днів на рік (прийняти  $D = 240$ ).

$$n = \frac{2000 \cdot 5}{240} \approx 41,7$$

Отриману величину округлити до близького більшого числа, яке закінчується на 5 або 0.

Отже приймаємо партію запуску деталей  $n = 45$  шт.

Додатковими показниками при аналізі конструкції деталі на технологічність є коефіцієнти точності обробки, коефіцієнт уніфікації елементів деталі, шорсткості поверхні, коефіцієнт використання матеріалу.

1. Коефіцієнт точності обробки [8, с. 8]:

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{ср}}} \quad (1.2)$$

де  $A_{\text{ср}}$  – середній квалітет точності:

$$A_{\text{ср}} = \frac{\sum A_i \cdot Q_i}{Q} \quad (1.3)$$

де  $A_i = T_i$  – квалітет точності  $i$ -ого розміру;  $Q_i$  – число конструктивних елементів із квалітетом точності  $T_i$ ;  $Q$  – дорівнює загальній квалітетів поверхонь деталі.

$$A_{\text{ср}} = \frac{6 \cdot 7 + 4 \cdot 9 + 12 \cdot 1 + 14 \cdot 1}{14} \approx 7,43$$

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{7,43} \approx 0,87$$

Деталь за цим показником вважається технологічною, якщо  $K_{\text{т.ч.}} > 0,83$ .  
Умова виконується  $0,87 > 0,83$ .

2. Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{u.m.} = \frac{m_d}{m_3} \quad (1.4)$$

де  $m_d$  – маса деталі, кг;  $m_3$  – маса заготовки, кг.

Якщо обрати метод отримання заготовки лиття в кокіль то виливки, отримані в кокілі, мають високу точність розмірів та високу чистоту поверхні, що вимагає меншого припуску на механічну обробку (5-30%)

Орієнтовно приймаємо 20% через наявність витків черв'яка, то  $m_3 = 1,20 m_d$ :

$$K_{u.m.} = \frac{m_d}{1,20 m_d} \approx 0,83$$

3. Коефіцієнт шорсткості поверхні [8, с. 9]:

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} \quad (1.5)$$

де  $B_{cp}$  – середня шорсткість поверхні, обумовлена в значеннях параметра  $R_a$ , мкм:

$$B_{cp} = \frac{\sum B_i \cdot Q_i}{Q} \quad (1.6)$$

$B_i$  – шорсткість поверхні  $i$ -ого конструктивного елемента, обумовлена в значеннях параметра  $R_a$ , мкм;  $Q_i$  – кількість конструктивних елементів із класом шорсткості  $B_i$ .

$$B_{cp} = \frac{1,25 \cdot 6 + 0,50 \cdot 1 + 2,5 \cdot 2 + 2,0 \cdot 5}{14} \approx 1,82$$

$$K_{ш} = \frac{1}{1,82} \approx 0,55$$

Деталь за цим показником вважається технологічною, якщо  $K_{ш} < 0,63$   
Умова виконується  $0,55 < 0,63$ .

4. Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів деталі [8, с. 10]:

$$K_{y.e.} = \frac{Q_{y.e.}}{Q_e} \quad (1.7)$$



де  $Q_{y.e.}$  – кількість уніфікованих конструктивних елементів деталі;  $Q_e$  – кількість конструктивних елементів деталі.

Для поверхонь черв'ячного вала приймаємо  $Q_{y.e.} = 9$  з  $Q_e = 14$ , тоді

$$K_{y.e.} = \frac{9}{14} \approx 0,64$$

Конструкція деталі вважається технологічною.

Розміри деталі можна контролювати прямим методом. Конструкція деталі дозволяє застосовувати принцип суміщення баз. Конструкція деталі забезпечує добру доступність інструменту, що дозволяє застосовувати високо продуктивні режими обробки. Не оброблювальних поверхонь деталі немає.

Зазначимо, що вал п'яти ступінчастий

### **1.3 Розробка технологічного процесу виготовлення черв'ячного вала.**

Технологічний процес виготовлення черв'ячного вала складається з трьох етапів.

1-й етап — отримання матеріалу.

Сталь марки 45Л отримують конверторним способом. Суть цього способу полягає в тому, що через рідкий чавун, що залитий у спеціальний конвертор, продувається звичайне повітря, кисень із якого окислює різноманітні домішки включаючи вуглець. Конвертор представляє собою сталеву ємкість форма якої грушоподібна, всередині викладена спеціальною вогнетривкою кладкою товщиною 27,5-40 см (рис. 1.2).

У самій верхній частині ємності є горловина 1. Середня частина ємності оперезана зовні сталевими ободами-кільцями. До кільця, як правило, приєднано дві цапфи, які спираються на спеціально виготовленні колони, встановлені на фундаменті. За допомогою цапфи 2 в ємкість конвертора надходить повітря з повітропроводу. У кінці іншої цапфи 3 є зубчасте колесо, з'єднане з рейкою 4.

Зубчаста рейка за допомогою електродвигуна або гідроприводу рухається. Під час руху рейки ємкість конвертора повертається на обраний кут, набуваючи вертикального, горизонтального або похилого положення.

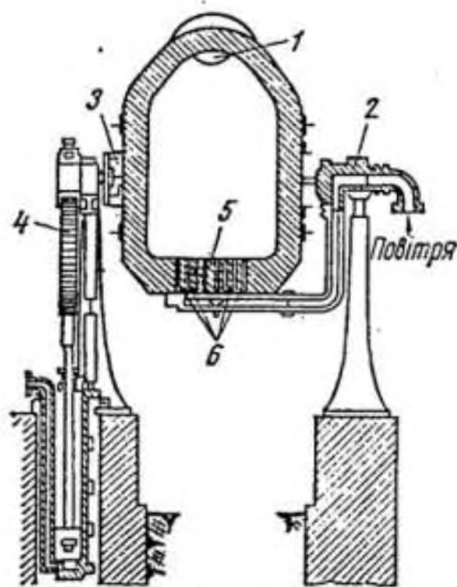


Рис. 1.2. Конвертор(вертикальний перетин).

В нижній частині є змінне днище 5, викладене з вогнетривкою кладкою. У ньому є канали, в яких запресовані труби – фурми 6. Через ці труби в конвертор закачується повітря. [2, с. 210].

Для заливання чавуну і завантаження добавок конвертор повертають у горизонтальне положення, трохи нахиляють вниз горловиною і заливають таку кількість чавуну, щоб рівень його був нижче рівня фурм. Потім починають вдувати повітря, повільно повертаючи конвертор. Тиск повітря поступово збільшують, доводячи до 0,25 МПа (2,5 ат) при вертикальному положенні конвертора.

При продуванні відбувається активне зіткнення рідкого чавуну з киснем повітря і відбувається процес окислення (вигорання) домішок.

Після закінчення процесу конвертор нахиляють у горизонтальне положення, а потім припиняють подачу повітря. Після цього перевіряють склад одержаної сталі і виливають її в ківш [2, с. 211].

2-й етап — виготовлення заготовок.

Найпоширенішим, а тому і найпростішим, способом отримання заготовок для валів є різання циліндричного прокату на заздалегідь вимірні частини, що реалізуються на фрезерних чи фрезерно-абразивних відрізних верстатах іноді здійснюються рубанням на пресах. Головний недолік цих методів є великі витрати на обробку, особливо коли діаметри окремих частин деталі відрізняються на 10 мм і більше.

Вали при різниці діаметрів ступенів від 10 мм доцільно виготовляти способом кування з напусками, але при цьому значно збільшується об'єм механічної обробки.

Оскільки в черв'ячного вала найменше значення діаметра окремої частини  $d_{\min}=\varnothing 60\text{мм}$ , а  $d_{\max}=\varnothing 100\text{мм}$ , тоді різниця сягає 40 мм. І це означає суттєве зменшення ефективності виготовлення заготовок різанням чи рубанням на пресах циліндричного прокату, а також методом поковки, волочіння. Методом штампування тим більш ефективний чим більш дрібнішою є деталь і застосовується переважно при виготовленні найдрібніших деталей.

При масовому та серійному виробництві, особливо коли обробка заготовок проводиться на налагодженому обладнанні (агрегатні верстати, напівавтомати, автомати) важливу роль відіграє саме точність розмірів заготовки, оскільки стабільність припусків для здійснення механічної обробки дозволяє забезпечити високу якість виробу, зменшення енергоресурсів, стійкість інструментів.

Тому розглянемо метод литва.

До прогресивних методів литва відносять лиття у форми, виготовлені з швидко тверднучих сумішей; лиття в оболонкові форми; лиття за моделями, що виплавляються; лиття під тиском; лиття в кокіль та відцентрове лиття.

Лиття в кокіль полягає це метод при якому розплавлена сталь заливається у спеціальну форму виготовлену із термореактивної суміші. Форма — кокіль, виготовляється роз'ємною на нагрітому до 200-250<sup>0</sup>С

модельному оснащенні протягом 15- 25 с., шляхом оплавлення піщаної суміші.

Після кристалізації та охолодження сталі, виливок виймається.

3-й етап — обробка заготовок.

Схема технологічних процесів механічної обробки черв'ячного вала в такій послідовності:

1. Фрезерування торців та зацентрування з боків.
2. Попередня токарна обробка по контуру з 2-х боків.
3. Чорнове нарізання витків (зубів) черв'яка.

Черв'ячні колеса нарізають на зубофрезерних і спеціальних верстатах трьома методами. Обираємо метод фрезерування з радіально - тангенціальної подачею (радіальна подача не підходить бо кут підйому  $>10^\circ$ ; а метод тангенціальної подачі застосовується головним чином для нарізування черв'ячних зубчастих коліс із багато західними черв'якам а в нас одно західні).

4. Термічна обробка (високий відпуск).

Відновлення фізико-механічної характеристики і структури матеріалу.

Поверхнєве загартування: з індукційним та електроконтактним нагріванням

5. Чистова токарна обробка зовнішніх поверхонь
6. Чистове нарізання витків черв'яка.
7. Фрезерування шпонкового паза.
8. Попереднє шліфування зовнішніх поверхонь під цементацію.
9. Попереднє шліфування профілю витків черв'яка під цементацію.
10. Термічна обробка (цементація, загартування).
11. Шліфування центрових отворів.
12. Напівчистове шліфування зовнішніх поверхонь і торців.
13. Напівчистове шліфування профілю витків черв'яка.
14. Термічна обробка (старіння).
15. Друге напівчистове шліфування зовнішніх поверхонь і торців.
16. Друге напівчистове шліфування профілю витків черв'яка.



17. Термічна обробка (старіння).

18. Чистове шліфування зовнішніх поверхонь і торців на круглошліфувальних верстатах особливо високої точності класу А.

19. Чистове шліфування профілю витків черв'яка.

20. Миття.

21. Контроль.

При виготовленні черв'ячних передач через наявність випадкових і систематичних похибок, у оброблених виробів може виникнути ряд похибок. Тому при контролі черв'ячних коліс і черв'яків перевіряють наступні основні параметри:

1) биття базового торця (до нарізування зубів) - за допомогою індикатора і оправлення в центровому пристосуванні;

2) відхилення основного кроку - крокоміром по різниці дійсного і заданої відстані між паралельними дотичними до двох сусідніх однойменною профілів зубів;

3) накопичену похибка окружного кроку - виміром окружних кроків послідовно по всіх зубах;

4) різниця окружних кроків - по різниці відстаней між будь-якими окружними кроками по основному колу вала;

5) похибка профілю - порівнянням дійсного з теоретичним;

6) товщину зуба по початковій окружності - оптичним методом і штангензубоміри;

7) зсув вихідного контуру - тангенціальним зубоміри;

8) радіальне биття зубчастого вінця - на спеціальному приладі - биттеміри за допомогою ролика або кульки.

Правильність зачеплення перевіряють по шуму за допомогою еталонних звукових приладів.

#### **1.4 Вибір технологічного обладнання.**

Потреби в технологічному обладнанні(машинах, верстатах і устаткуванні) повинні визначатися на основі потужності виробництва, відібраної виробничої технології і мінімальними витрати по устаткуванню, продуктивності устаткування, з урахуванням розмірів виробів.

Обране технологічне обладнання повинен включати все обладнання необхідне для виробництва деталі:

- машинне устаткування (верстати, станки тощо);
- механічне обладнання (інструменти, викрутки, плоскогубці, свердла, фрези, шліфувальні круги тощо) ;
- електричне обладнання ( проводи, розетки, щитки тощо);
- контрольно-вимірювальна апаратура;
- промислове конвеєрне і транспортне устаткування;
- інші установки.

Зупинимося на виборі машинного обладнання.

Більшість операцій можна проводити як на токарних і револьверних, так і на центрувальних і фрезерно-центрувальних верстатах. Більшість фрезерно-центрувальних верстатів можна вбудовувати в автоматичну лінію.

Вимоги до машинного устаткування вибору технологічного обладнання виготовлення черв'ячного вала подані в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Вимоги до машинного устаткування

Для фрезерного верстата		
Діаметр оброблюваної заготовки, мм	min	77,8
	max	108,2
Довжина оброблюваної заготовки, мм	min	237
	max	242,9
Номінальна потужність устаткування		2 кВт
Ступінь навантаження на різних технологічних	min	4

етапах виробництва, кількість машино-годин роботи на 1 робочий день	max	7
Ступінь завантаження устаткування, кількість машино-годин роботи кожної з груп обладнання на 1 робочий день	min	4
	max	7

Продовження табл. 1.6

Для шліфувального верстата		
Діаметр оброблюваної заготовки, мм	min	77,8
	max	108,2
Довжина оброблюваної заготовки, мм	min	237
	max	242,9
Номінальна потужність устаткування		1 кВт
Ступінь навантаження на різних технологічних етапах виробництва, кількість машино-годин роботи на 1 робочий день	min	4
	max	7
Ступінь завантаження устаткування, кількість машино-годин роботи кожної з груп обладнання на 1 робочий день	min	4
	max	7

З урахуванням вимог до машинного устаткування вибору технологічного обладнання виготовлення черв'ячного вала приймаємо двосторонній напівавтомат фрезерно-центрувальний послідовної дії МР-71М та круглошліфувальний ЗБ151П.

### **1.5 Аналіз функціонального призначення верстатного, робото технічного обладнання.**

Верстат МР-71М призначений для фрезерування торців заготовки з подальшим зацентруванням заготовок при обробці деталей циліндричної форми з металів та їх сплавів та інших матеріалів. Потужність приводів та висока жорсткість верстатів дозволяють застосовувати фрези, виготовлені з швидкорізальної сталі та інструмент який оснащений пластинками із твердих та надтвердих синтетичних матеріалів.





Найбільша довжина заготовки, що встановлюється, мм.	700
Найбільша довжина шліфування, мм	500
Кут повороту столу, °	±10
Швидкість переміщення столу, м/хв	0,02-5

Продовження табл. 1.8

Частота обертання шпинделя об/хв:	2250-16750
Максимальний розмір шліфувального круга, мм:	500
Частота обертання шпинделя шліфувального круга об/хв:	1900
Потужність електродвигуна, кВт:	7,5
Габаритні розміри верстата, мм:	3100x 2100x 1500
Маса верстата, кг.	4200

### **1.6 Експлуатаційні умови роботи верстатного, роботехнічного обладнання.**

Верстат повинен експлуатуватися при температурі навколишнього середовища від +10° С до +35° С і відносної вологості повітря не більш 80% та при відсутності впливу атмосферних опадів.

Забороняється: самостійно вносити зміни в конструкцію верстата й змінювати його технічні характеристики; залишати без нагляду верстат, який працює або включений в електричну мережу; залучати до виконання пусконалагоджувальних робіт і монтажних, та до роботи в цілому ненавчених фахівців.

А також забороняється: працювати на верстаті при поганому самопочутті; працювати на верстаті в рукавицях (рукавичках) прикрасах, що звисають, і спецодягу зі звисаючими кінцями, без застосування засобів захисту органів зору; стояти в площині подачі або виходу заготовки; захищувати робочий простір у зоні біля верстата тощо.

В процесі експлуатації верстатного, роботехнічного обладнання потрібно керуватися діючими правилами та існуючими нормами в тому числі вимог інструкції до певного верстату.

Для запобігання травматизму при виконанні робіт на металорізальних верстатах необхідно дотримуватися встановлених правил: до початку робіт, під час роботи і після закінчення робочої зміни, профілактичного огляду верстатного обладнання тощо.

*До початку робіт.* Пересвідчитись у справності верстата, а саме: наявності захисних кожухів зубчатих передач, приводних пасів; зручності встановлення світильників місцевого освітлення (світло не повинно сліпити очі); перевірити верстат на холостому ході й переконатися у справності кнопок «Пуск» і «Стоп», органів керування, гальм, систем змащування й охолодження, підйомних і завантажувальних пристроїв. Перевірити надійність заземлення електро двигуна, шафи з електроустаткуванням і станини. Упорядкувати робоче місце – прибрати все зайве з верстата й зони робочого місця, зручно встановити тару для заготовок і деталей.

Про несправність у верстаті та його електроустаткуванні негайно повідомити майстра або чергового слюсаря (електрика), і до усунення несправності до роботи не приступати [10, с. 15].

*Під час роботи.* Захищати очі від стружки захисним екраном або ж окулярами чи щитком. Прикривати патрон слід запобіжним щитком. Слідкувати, щоб охолоджувальна рідина чи мастило не потрапили на поверхню або підлогу в зоні робочого місця; виявивши витікання мастила з картерів верстата, негайно викликати слюсаря; не спиратися на верстат під час його роботи. Міцно закріплювати оброблювані заготовки на верстаті – у патроні, центрах чи на оправці; не нарощувати рукоятки ключа для закріплення заготовок у патроні, а користуватися «самовідкидним» ключем; не застосовувати підкладок між зівом ключа та гранями гайки; правильно й надійно закріплювати інструмент; для встановлення різця застосовувати

мінімальну кількість підкладок. Прибирати стружку лише після зупинки верстата. Видаляти стружку гачком і щіткою.

*Після закінчення робочої зміни.* Слід вимкнути електродвигун верстата, очистити й змастити за необхідністю верстат, заготовки та деталі акуратно скласти на робочому місці, а інструменти – в інструментальну шафу. Про всі неполадки в роботі верстата сповістити майстра[10, с. 16].

Описи відмов електрообладнання та їх можливі причини обов'язково реєструються у відповідному журналі. За результатами аналізу причин у неробочу зміну приймаються рішення про ремонт або заміну електроапаратури. Окрім усунення відмов електрообладнання в обов'язки електрика входить спостереження за температурою працюючих електродвигунів та сигналізацією, контроль надійності заземлення, забезпечення захисту електроапаратів від стружки, бруду, масла тощо.

Під час профілактичного огляду потрібно очистити контакти, продути шафи від пилу та замінити зіпсовану електроапаратуру. Ремонт несправної електроапаратури безпосередньо в електрошафі забороняється[9, с. 84].

### **1.7 Аналіз аналогів верстатного, роботехнічного обладнання, що проектується**

Останнім часом набувають поширення використання роботизованих технологічних комплексів для виготовлення деталей.

Так на рис. 1.3 представлено токарний роботизований комплекс SL-20APL фірми HAAS, що складається з токарного верстата з ЧПК моделі SL-20, дво-захватного промислового робота типу APL, напрямна горизонтального руху якого приєднана до стояків верстата. Допоміжний пристрій у касетного типу розміщено з боку від верстата[11].

Рука робота РТК здійснює горизонтальний і вертикальний рух та забезпечує зміну захватів місцями обертотворним рухом. Промисловий робот комплектується захватними пристроями двох виконань: для затискання валів,

і для затискання деталей типу фланці. Робот програмується через систему керування верстатом. Підвищення продуктивності праці забезпечується перекриттям частини рухів робота, роботою верстата.



Рис. 1.3.Токарний роботизований технологічний комплексSL-20APL

Використання робота РТК дає можливість автоматизувати процес завантаження-розвантаження деталей та їх переустановлення при обробці з двох сторін. Тому РТК має переваги над фрезерно-центрувального верстата МР-71М.

У порівнянні з круглошліфувальним верстатом ЗБ151П, універсальний шліфувальний верстат CORMAK USM5000 має більш широку область застосування: від кругового та внутрішнього шліфування, до шліфувальних конусів і плоских поверхонь, до шліфувальних (заточувальних) інструментів. Також, що досить важливо, дозволяє змінювати в більшому діапазоні нахил

столу та ще за кутом нахилу бабки ніж у верстаті ЗБ151П. Ну не кажучи вже про більш менші габарити верстата [12].

Деякі переваги верстата CORMAK USM5000 (країна виробник — Польща) наведемо в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9

Деякі характеристики CORMAK USM5000

Діапазон нахилу бабки	$\pm 90^\circ$
Вертикальний хід бабки (ручний)	200 мм
Поперечне переміщення бабки (ручне)	200 мм
Шкала регулювання висоти	0,01 мм
Тонке / грубе поперечний масштаб подачі	0,0002 / 0,0005 мм
Діапазон обертання шліфувального шпинделя (в горизонтальній площині)	$\pm 90^\circ$
Глибина шліфування	$\varnothing 25 \times 20 \times \varnothing 6$ мм / $\varnothing 10 \times 10 \times \varnothing 3$ мм
Швидкість подовжнього переміщення столу (гідравлічна)	0,1–6 м / хв
Діапазон нахилу столу	$+ 45^\circ$ — $-30^\circ$
Загальні розміри	1520 × 1142 × 1338 мм

Для більшої надійності черв'ячного вала часто виготовляють як дві деталі: вал та окремо черв'ячну різьбу, а потім складають в складальну одиницю.

### 1.8 Створення та оформлення технологічної документації для виготовлення деталі черв'ячного вала.

У технічному документуванні використовуються насамперед образотворчі засоби (креслення, схеми, діаграми, малюнки, графіки).



Формалізована графічна мова є знаковою системою передачі інформації. Графічний образ включає п'ять елементів: точки, лінії, фігури, кольори, текстури (штрихування). В технічному документуванні також широко використовується і словесна форма, тексти [13, с. 4].

Документація, що необхідна для виготовлення деталі черв'ячного вала:

1) *Конструкторський документ* це документ, який визначає склад і конструкцію виробу та містить необхідні дані. Відповідно до нього розробляють, контролюють, виробляють, постачають, приймають, експлуатують та ремонтують деталь (включають такі одиниці: монтажне креслення; креслення загального вигляду; габаритне креслення; пояснювальна записка; креслення деталі; теоретичне креслення; складальне креслення; схема; специфікація; технічні умови). [13, с. 11].

2) *Проектна конструкторська документація* – складається з технічного проекту, технічної пропозиції, ескізного проекту. Ці документи містять техніко-економічне обґрунтування виробу, порівняльну оцінку різних варіантів. Кожному документу присвоюється шифр з літерою "П"

3) *Робоча конструкторська документація*. Створюється на основі технічного завдання чи проектної конструкторської документації, згідно з яким контролюють, приймають, постачають, виготовляють, експлуатують та ремонтують деталь.

При створенні нового виробу наявність проектної конструкторської документації не є обов'язковим. Документи розробляють у залежності від новизни і складності виробу, що виготовляється, а іноді від програми випуску.

4) *Технологічна документація*: документи загального призначення (для всіх видів різноманітних робіт — комплектувальні карти; маршрутні, ескізні, технологічні інструкції, комплектувальні карти; технологічні інструкції, інструкція із пожежної безпеки, з електробезпеки; відомості расцеховки, оснащення і матеріалів тощо) та документи спеціального призначення (спеціалізовані документи — операційні карти, в яких

технологічний процес ділиться на операції, і технологічні карти за видами окремих робіт тощо).

5) *Документація на ліцензування виробу деталі.* Для ліцензування технології бажано розділяти технологічний пакет на складові частини: сама технологія, пов'язані з нею інженерні служби, поетапна внутрішня інтеграція, поставка постачання устаткування і проміжних продуктів тощо.

6) *Науково-технічна документація.* Це така документація що розробляється та створюється в процесі виготовлення деталі черв'ячного вала.

До технічних описів і пояснювальних записок додається паспорт виробу[13, с. 20-32].

Паспорт це експлуатаційний документ, який засвідчує гарантовані підприємством-виробником основні параметри і характеристики виробу та містить гарантійні зобов'язання і відомості про утилізацію виробу[14].

Виділяють електронний технічний документ (ЕТД) - авторизований набір даних в електронному вигляді.

Технологічні документи залежно від призначення можуть розділятися ще на основні та допоміжні.

Зазначимо, що будь-яка технологічна документація повинна відповідати вимогам ЄСТД.

## РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЧЕРВ'ЯЧНОГО ВАЛА

### 2.1 Загальні розрахунки для характеристик черв'ячного вала

Виконуємо орієнтовний розрахунок умовно тільки на деформацію кручення. Вплив на міцність вала компенсується заниженими значеннями допустимих напружень.

Діаметр вала  $d_B$  визначається за допомогою формули :

$$d_B \geq 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_B}{\pi \cdot [\tau]_{кр}}} \quad (2.1)$$

де  $T_B$  – обертаючий момент на валу, Н×мм;  $[\tau]_{кр}$  – допустимі напруження,  $[\tau]_{кр} = 15 \dots 20$  МПа.

Діаметр вала визначений за цією формулою повинен бути округленим до числа кратного 5-и.

Із цієї формули можна визначити обертаючий момент на валу, що не буде сприяти деформації при обробці вала:

$$T_B \leq \frac{\pi \cdot [\tau]_{кр} \cdot d_B^3}{16000} \quad (2.2)$$

Оскільки вал п'яти ступінчастий і має канавки діаметр приймаємо найменший із діаметрів його частин – 60 мм.

$$T_B \leq \frac{3,14 \cdot 15 \cdot 10^6 \cdot 60^3}{16000} \approx 1,76 \cdot 10^8 \quad (\text{Па})$$

Визначимо жорсткість деталі  $k_{td}$ , використовуючи відношення довжини  $l$  до наведеного діаметру  $d_{пр}$ :

$$k_{td} = \frac{l}{d_{пр}} \quad (2.3)$$

$$d_{\text{пр}} = \frac{\sum d_i \cdot l_i}{\sum l_i} \quad (2.4)$$

де  $d_i$  – діаметр  $i$  частини вала;  $l_i$  – довжина частини вала і діаметра.

$$d_{\text{пр}} = \frac{60 \cdot 6 + 70 \cdot 50 + 60 \cdot 6 + 77 \cdot 6 + 80 \cdot 12 + 90 \cdot 6 + 90 \cdot 100 + 100 \cdot 14 + 60 \cdot 6 + 85 \cdot 25 + 80 \cdot 6}{6 + 50 + 6 + 6 + 12 + 6 + 100 + 14 + 6 + 6 + 25 + 6} = \frac{19565}{237} \approx 82,5$$

$$k_{\text{та}} = \frac{237}{82,5} \approx 2,9$$

Вал є жорстким, тому що відношення довжини до діаметра, менше 12:

$$k_{\text{та}} \approx 2,9 < 12$$

Тому при механічній обробці деталі можна призначати інтенсивні режими різання.

Розміри нарізної частини черв'яка [15, с. 5]:

- ділительний діаметр

$$d_{\text{дч}} = m \cdot q \quad (2.5)$$

де  $m$  — модуль черв'ячної передачі;  $q$  — коефіцієнт діаметра черв'яка.

- діаметр вершин витків

$$d_{\text{вч}} = m \cdot (q + 2) \quad (2.6)$$

- діаметр западин

$$d_{\text{фч}} = m \cdot (q - 2,4) \quad (2.7)$$

- довжина нарізної частини черв'яка

$$d_{\text{ч}} \geq m \cdot (c_1 - c_2 \cdot z_{\text{к}}) \quad (2.8)$$

де  $c_1=12,5$ ,  $c_2=0,09$  при  $z_{\text{к}}=4$  – коефіцієнти.

Коефіцієнт діаметра черв'яка  $q$  вибирають із числа стандартних значень. Більші значення  $q$  рекомендують брати для насадних черв'яків або при великих передаточних числах, щоб забезпечити достатню жорсткість черв'яка.

Модуль  $m$  черв'ячної передачі знаходять, виходячи з формули:

$$m = \frac{2 \cdot a_{\text{wmin}}}{q + z_2} \quad (2.9)$$

Отже, підбираємо число зубців:

$$z_1 = 4; \quad u = 12,5; \quad z_2 = 12,5 \cdot 4 = 50; \quad 28 \leq 50 \leq 80$$

За мінімальне значення міжосьової відстані по ГОСТ 2144-76 приймаємо  $a_{W\min} = a_W = 160$  мм, коефіцієнт діаметра черв'яка приймаємо  $q = 12,5$  по ГОСТ 2144-76.

Модуль  $m$  черв'ячної передачі:

$$m = \frac{2 \cdot 160}{12,5 + 50} = 5,12$$

Довжина нарізної частини черв'яка :

$$d_{\text{ч}} \geq 5,12 \cdot (12,5 - 0,09 \cdot 4) \approx 0,421$$

Приймаємо  $d_{\text{ч}} = 0,6$  мм

Діаметр западин:

$$d_{\text{фч}} = 5,12 \cdot (12,5 - 2,4) = 126,25$$

Діаметр вершин витків

$$d_{\text{вч}} = 5,12 \cdot (12,5 + 2) = 181,25$$

ділительний діаметр

$$d_{\text{дч}} = 5,12 \cdot 12,5 = 64$$

Приймаємо швидкість ковзання  $v \leq 5$  м/с. Передача з середньою швидкістю і середніми вимогами до шуму, габаритів і точності.

Отже допускається черв'як із НВ  $\leq 350$ , не шліфований. Різьбу можна нарізати шліфуючою черв'ячною фрезею. Обкатка під навантаженням.

## 2.2 Вибірвилівка для заготовок черв'ячного вала.

Вибір методу лиття деталі залежить від конкретних вимог, які висуваються до нього. У цьому випадку технічними вимогами до лиття є:

1) геометричний склад вала (хоча й циліндричної форми, проте на кінцях мають вигини, є отвір, діаметр на різних ділянках різний) з можливою мінімально можливою подальшою механічною обробкою (сталь не так легко піддається обробці як алюміній чи інший метал, сплав) поверхні відлитих



заготовок не дозволяє в даному випадку ефективно застосовувати метод відцентрового лиття, а також спосіб безперервного лиття чи лиття безперервним наморожуванням через наявність малих за розміром кількох вигинів та й лиття з протитиском, чи електрошлакове лиття;

2) точність розмірів та чистота поверхні не дозволяє використати метод лиття в піщаній формі;

3) багаторазова форма для лиття, так як є серійність це не дозволяє застосовувати метод лиття по виплавлюваних моделях;

4) відсутність газових пор та тріщин не дає змоги застосовувати метод лиття по моделях, які газифікуються;

5) економічні витрати на виготовлення форми та литва не дають змоги застосовувати метод лиття в оболонковій формі

Орієнтуючись на деталь, масу та серійність виробництва приймаємо спосіб виготовлення заготовки — лиття в кокіль, що має кількісні показники в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Кількісні показники лиття в кокіль.

Тип виробництва	Матеріал вилівка	Маса вилівка, кг	Найменша товщина стінок, мм	Досягнутий квалітет	Шорсткість поверхні $R_z$ , мкм
Серійне	Сталь,	0,1...50	>3	12..15	80...20

Лиття в кокіль один з найбільш вживаних способів лиття, що забезпечує в порівнянні з литтям у піщано-глинисту форму підвищення продуктивності праці, механічних властивостей, точності і якості виливків,

зменшення витрати формувальних матеріалів, поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці [16, с.62].

Підведемо узагальнення у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Виливок. Метод лиття. Ливарні форми.

Виливок П-2	II група – нескладні виливки відкритої коробчастої або циліндричної форми (за складністю конфігурації поділяють на 5 груп); 2 — складається з двох частин.
Маса однієї деталі: 10 кг	За масою виливка відноситься до дрібної групи (є 5 груп для сталі: середні (101... 1000 кг); великі (1001... 5000 кг); дуже великі (5001... 20000 кг); особливо великі (унікальні) (більше 20000 кг))
Метод лиття	Метод лиття в кокіль
Ливарні форми	За терміном служби багаторазові (100-500 раз)
	За станом при заливанні сухі, самотверднучі
	За технологією виготовлення — машинне формування.
	За конструкцією роз'ємні моделі форм із однією горизонтальною поверхнею рознімання
	Виливок розташовується у двохпівформах

### 2.3 Усадка металу виливки для черв'ячного вала.

Ливарні сплави мають певні технологічні ливарні властивості, головними з яких є: рідкотікучість, газопоглинання, об'ємна і лінійна усадка сплаву.

Усадка - властивість металу змінювати (у більшості випадках зменшувати, іноді збільшувати — деякі сплави вісмуту і сурми,) лінійні розміри і об'єм у результаті охолодження й тверднення. Усадка починається при охолодженні виливків при виникненні твердо-рідкого каркасу.

Усадка залежить від [16, с.33]:

- 1) температури заливання;
- 2) хімічного складу сплаву;
- 3) швидкості охолодження;
- 4) ливарної форми, особливостями стрижнів, ливниково-живильною системою;
- 5) тиску та інших характеристик.

Виділяють: вільну усадку — визначається тільки фізико-хімічними властивостями самого сплаву; лінійну усадку — визначається зміною лінійних розмірів (довжини, висоти, ширини, радіуса тощо) під час кристалізації й починається після утворення твердо-рідкого каркасу (вільна усадка триває і до утворення і після появи твердого каркасу); об'ємну усадку — визначається зміною просторового розміру — об'єму й обумовлює утворення усадкових дефектів у місцях виливка, які твердіють в останню чергу; утруднену усадку (ще називають ливарною усадкою чи ускладненою) — визначається тим, що при кристалізації виливків усадка гальмується ливарною формою, формою стрижнів, ливниково-живильною системою тощо [16, с.33].

Оцінюють (вимірюють) усадку у відсотках, часто позначають грецькою  $\epsilon$ . Деякі значення усадок металів та сплавів подані у таблиці 2.3 [16, с.34].

Таблиця 2.3

Усадки деяких металів

Назва	Лінійна усадка	Ливарна усадкою
Вуглецева сталь	2,0 - 2,4 %	1,8 - 2,0%

У різних ливарних сплавах різна об'ємна усадка: найбільшу об'ємну усадку мають алюмінієві бронзи (7,2 - 7,4 %), латуні (5,7 - 6,1 %) і вуглецева

сталь (5 - 6 %). Тому при одержанні литва з цих сплавів необхідно встановити додатки навіть для виливків невеликої маси [16, с.19].

Формули для визначення об'ємної усадки  $\varepsilon_V$  та лінійної усадки  $\varepsilon_l$ , ливарна усадки  $\varepsilon_L$  [16, с.22-23]:

$$\varepsilon_V = \frac{V_{\Pi} - V_B}{V_B} \cdot 100\% \quad (2.12)$$

$$\varepsilon_l = \frac{l_{\Pi} - l_B}{l_B} \cdot 100\% \quad (2.13)$$

$$\varepsilon_L = \frac{l_{\text{мод}} - l_B}{l_B} \cdot 100\% \quad (2.14)$$

де  $V_{\Pi}$ — об'єм порожнини форми;  $V_B$ — об'єм виливка після його охолодження;

$l_{\Pi}$  — лінійні розміри порожнини форми;  $l_B$ — лінійні розміри виливка після його охолодження;  $l_{\text{мод}}$ — лінійні розміри моделі.

Залежність між об'ємною і ливарною усадками виражається емпіричною формулою (ще називають першою наближеною формулою), що наближена до реальних значень об'ємної:

$$\varepsilon_V = 3 \cdot \varepsilon_L \quad (2.15)$$

Оскільки у нас деталь дрібна (по сталевим міркам лиття) й для виливку передбачено одна надлива, то ми б спробували застосувати цей метод. Проте за формулою 2.15 визначимо лінійні розміри моделі з урахуванням ливарної усадки  $\varepsilon_L=2,0\%$  з таблиці 2.3 (дійсне значення ливарної усадки визначають дослідним шляхом для конкретної форми та методу лиття тощо):

$$l_{\text{мод}} = \frac{(100\% + \varepsilon_L) \cdot l_B}{100\%} \quad (2.16)$$

Оскільки вал п'яти ступінчастий, доцільно розрахунки проводити окремо для кожного ступеня, що показано на рис. 2.1.

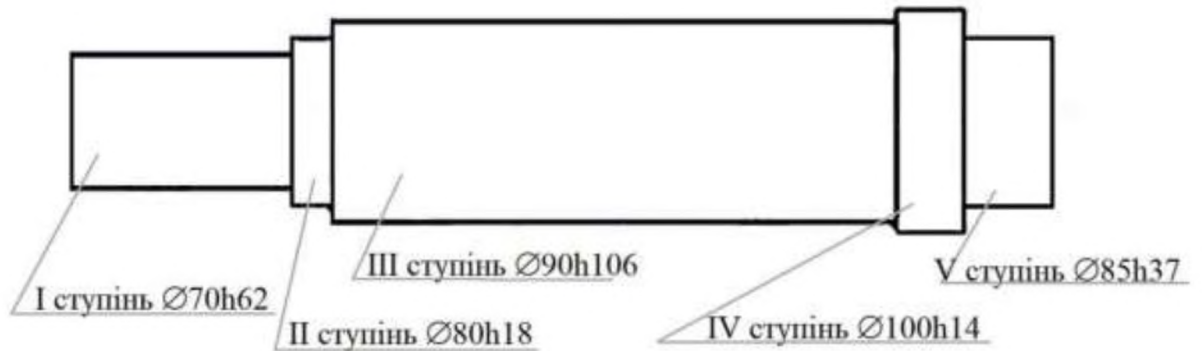


Рис. 2.1.Ескіз п'яти ступінчастого валу.

I ступінь:

$$l_{\text{мод}} = \frac{(100\% + 2,0\%) \cdot 62}{100\%} = 63,24 \quad (\text{мм})$$

Діаметр ділянки 70 мм, тому радіус становитиме  $R=70:2=35$  (мм):

$$l_{\text{мод}} = \frac{(100\% + 2,0\%) \cdot 35}{100\%} = 35,7 \quad (\text{мм})$$

Приймаємо 64мм і 36 мм.

II ступінь:

$$l_{\text{мод}} = \frac{(100\% + 2,0\%) \cdot 18}{100\%} = 18,36 \quad (\text{мм})$$

Діаметр ділянки 80 мм, тому радіус становитиме  $R=80:2=40$  (мм):

$$l_{\text{мод}} = \frac{(100\% + 2,0\%) \cdot 40}{100\%} = 40,8 \quad (\text{мм})$$

Приймаємо 19мм і 41 мм.

III ступінь:

$$l_{\text{мод}} = \frac{(100\% + 2,0\%) \cdot 106}{100\%} = 108,12 \quad (\text{мм})$$

Діаметр ділянки 90 мм, тому радіус становитиме  $R=90:2=45$  (мм):

$$l_{\text{мод}} = \frac{(100\% + 2,0\%) \cdot 45}{100\%} = 45,9 \quad (\text{мм})$$

Приймаємо 109 мм і 46 мм.

IV ступінь:

$$l_{\text{мод}} = \frac{(100\% + 2,0\%) \cdot 14}{100\%} = 14,28 \quad (\text{мм})$$

Діаметр ділянки 100 мм, тому радіус становитиме  $R=100:2=50$  (мм):

$$l_{\text{мод}} = \frac{(100\% + 2,0\%) \cdot 50}{100\%} = 51 \quad (\text{мм})$$

Приймаємо 15мм і 51 мм.

V ступінь:

$$l_{\text{мод}} = \frac{(100\% + 2,0\%) \cdot 37}{100\%} = 37,74 \quad (\text{мм})$$

Діаметр ділянки 85 мм, тому радіус становитиме  $R=85:2=42,5$  (мм):

$$l_{\text{мод}} = \frac{(100\% + 2,0\%) \cdot 42,5}{100\%} = 43,35 \quad (\text{мм})$$

Приймаємо 38мм і 44 мм.

Визначимо об'єм моделі з урахуванням об'ємної усадки  $\varepsilon_V=6\%$  для вуглецевої сталі із формули 2.16(дійсне значення об'ємної усадки визначають дослідним шляхом, бо залежить від форми виробу, використання стрижнів, самого процесу лиття, охолодження тощо, а ми приймаємо орієнтовне значення  $\varepsilon_V=6\%$ ):

$$V_{\text{мод}} = \frac{(100\% + \varepsilon_V) \cdot V_B}{100\%} \quad (2.10)$$

Об'єм циліндра:

$$V=2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h \quad (2.11)$$

$$V_1=2 \cdot 3,14 \cdot 35^2 \cdot 62 = 476966 \quad (\text{мм}^3)$$

$$V_{\text{мод1}} = \frac{(100\% + 6) \cdot 476966}{100\%} = 505583,96 \quad (\text{мм}^3)$$

$$V_2=2 \cdot 3,14 \cdot 40^2 \cdot 18 = 180864 \quad (\text{мм}^3)$$

$$V_{\text{мод2}} = \frac{(100\% + 6) \cdot 180864}{100\%} = 191715,84 \quad (\text{мм}^3)$$

$$V_3=2 \cdot 3,14 \cdot 45^2 \cdot 106 = 1348002 \quad (\text{мм}^3)$$



$$V_{\text{мод3}} = \frac{(100\% + 6) \cdot 1348002}{100\%} = 1428882,12 \quad (\text{мм}^3)$$

$$V_4 = 2 \cdot 3,14 \cdot 50^2 \cdot 14 = 219800 \quad (\text{мм}^3)$$

$$V_{\text{мод4}} = \frac{(100\% + 6) \cdot 219800}{100\%} = 232988 \quad (\text{мм}^3)$$

$$V_5 = 2 \cdot 3,14 \cdot 42,5^2 \cdot 37 = 419700,25 \quad (\text{мм}^3)$$

$$V_{\text{мод5}} = \frac{(100\% + 6) \cdot 419700,25}{100\%} = 444882,265 \quad (\text{мм}^3)$$

## 2.4 Припуски на механічну обробку.

Припуск це шар металу, який потрібно видалити з поверхні заготовки при обробці, щоб отримати заздалегідь задані властивості деталі.

Припуски на механічну обробку встановлюються на всі поверхні, що обробляються.

Величина припуску дуже залежить від способу лиття, матеріалу виливка, розміру виливка і положення поверхні, яка обробляється, при заливанні (верх, низ, бік) тощо.

Найбільш точними і, отже, з найменшими припусками виходять виливки при лиття в оболонкові і металеві форми, при литті під тиском, по моделях, що виплавляються, що дозволяє значно знизити припуски на механічну обробку.

Розрізняють мінімальний, номінальний і максимальний припуск на обробку, а також загальний припуск (сума всіх операційних припусків деталі) та операційний припуск (припуск для певної обробки)

В серійному і масовому виробництві, якщо завищені припуски то можуть невиправдано збільшити собівартість продукції, для більш точнішого визначення припусків бажано використовувати розрахунково-аналітичний метод, запропонований професором В. М. Кованом. Застосування цього методу мінімальний проміжний припуск на обробку заготовок партії для площини визначаємо за допомогою формулою [17, с.16]:

$$z_{\text{min}} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{yi} \quad (2.17)$$

а для обробки циліндричних поверхонь — за формулою:

$$2z_{min} = 2 \left( Rz_{i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2} \right) \quad (2.18)$$

де  $i$  — порядковий номер виконуваного технологічного переходу;  $Rz_{i-1}$  та  $h_{i-1}$  — відповідно, висота мікронерівностей поверхні та глибина дефектного шару. ;  $\rho_{i-1}$  — просторові відхилення оброблюваної поверхні;  $\varepsilon_{yi}$  — похибка установлення заготовки у верстатному пристрої, яка виникає при технологічному переході [18, с.16].

У даному випадку для нас буде не просто визначитись із висота мікронерівностей поверхні та глибина дефектного шару, так і з іншими параметрами формул.

Отже переходимо до більш простішого способу — дослідно-статистичного методу чи табличного методу. Тут вже більш систематизовано і стандартизовано, хоча припуск визначається не враховуючи конкретних виробничих умов, величина припуска завищується для уникнення браку, що приводить до збільшення використання матеріалу в ливарництві.

Ще правда є інтегрально-аналітичний метод, розроблений Д. К. Ліпатовим. Суть методу полягає в тому, що значення припуска визначається по емпіричних формулах, які пов'язують із параметрами деталі й теж у цілому наближені до реальності.

Працюємо по табличному методу, для цього нам потрібен клас точності, визначаємося із технологічним процесом литва — литво під тиском в металеві форми (кокіль), із застосуванням малотерморозширюваних вогнетривких матеріалів (плавленого кварцу, корунду тощо) та з номінальним розміром нашої деталі — 200 мм. Та за таблицею для сталевих сплавів, які термічно оброблюються з урахуванням процесу литва й номінального розміру нашої деталі — клас розмірної точності в межах 5-9т, приймаємо 6 [19, с.17]. Далі за таблицею визначаємо допуск лінійних розмірів вилівка для класу точності 6 із номінальним розміром 200 мм — 1,00 мм (не більше ніж) [19, с.37].

Визначаємося з видом остаточного механічного оброблення — чистове (виділяють чорнове, напівчистове, чистове, тонке).

Для кожного лінійного значення визначаємося з розташуванням: низ, бік, верх та дані систематизуємо в таблицю 2.4. Клас розмірної точності вилівка та ряд припусків на механічне оброблення встановлюємо згідно з ГОСТ 26645-85.

Таблиця 2.4

Припуски і допуски розмірів вилівка для класу точності 6

Розташування	Розмір,мм	Допуск, мм	Припуск,мм	Сумарний розмір, мм
Низ	h64	1,00	1,6	$64+1\cdot 1+1\cdot 1,6=66,6$
Низ	Ø72	1,00	1,9	$72+2\cdot 1+2\cdot 1,9=77,8$
Низ	h19	1,00	1,6	$19+1\cdot 1+1\cdot 1,6=21,6$
Низ	Ø82	1,00	1,9	$82+2\cdot 1+2\cdot 1,9=87,8$
Бік	h109	1,00	2,1	$109+1\cdot 1+1\cdot 2,1=112,1$
Бік	Ø92	1,00	2,1	$92+2\cdot 1+2\cdot 2,1=98,2$
Бік	h15	1,00	2,1	$15+1\cdot 1+1\cdot 2,1=18,1$
Бік	Ø102	1,00	2,1	$102+2\cdot 1+2\cdot 2,1=108,2$
Верх	h38	1,00	2,1	$38+1\cdot 1+1\cdot 2,1=41,1$
Верх	Ø88	1,00	2,3	$88+2\cdot 1+2\cdot 2,3=94,6$

Потім для кожного розміру за загальним допуском елемента поверхні, мм та видом остаточного механічного оброблення, ще й урахуванням розташування та класу точності 6 виставляємо значення припусків до таблиці 2.4. Схема визначення припусків і допуску зображена на рисунку 2.2, при цьому враховано ливарну усадку.



Рис. 2.2.Схема визначення припусків і допуску.

Ну і остаточно визначаємо розмір кожного елемента виливка, мм, врахувавши наявність одностороннього припуску та при паралельній обробці протилежних поверхонь — двосторонній припуск. Дані розрахунків вносимо до таблиці 2.4.

## 2.5 Ливарні ухили

Ливарні ухили й ливарні радіуси - для литих деталей відносять до стандартних технологічних елементів, а також спрощують і здешевлюють процес виготовлення деталі та дозволяють застосувати стандартне устаткування, інструменти й технології.

Ливарні ухили й ливарні радіуси виконуються на всіх поверхнях виливків, перпендикулярних до площини рознімання ливарної форми. Полегшують вилучення моделі із форми й видалення самого виливка з металевої форми. Розмір ливарних ухилів регламентований ГОСТ 3212-92, а вимоги інших стандартів є лише рекомендованими

Ливарні ухили ще часто називають формувальними ухили, але тут є в тлумаченнях різний зміст на який часто не звертають увагу. Якщо виготовлення моделей та стрижнів ухили забезпечують витяг при формуванні, тоді вони є формувальними. У разі металевих форм ухили

забезпечують витяг відливки, тому називаються просто ухилами, або ливарними ухилами.

За ГОСТ 3212-92 існує три види ухилів, що зображені на рисунку 2.3.

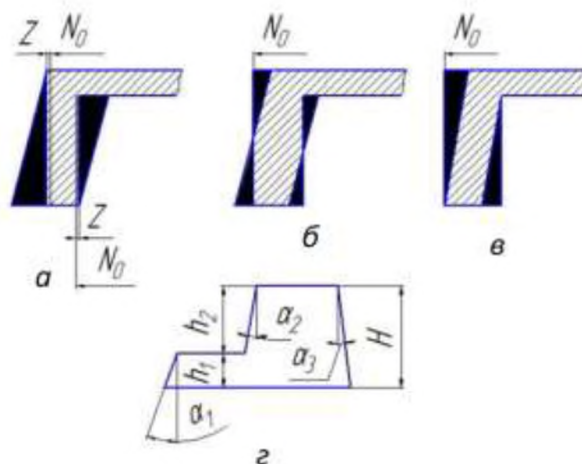


Рис.2.3. Види ливарних ухилів.

Перший вид призначається на оброблювані поверхні деталі ( $N_d$  – розмір деталі) понад припуск на обробку  $Z$  (за рахунок збільшення розмірів і маси виливки) на рисунку 2.3 а.

Другий вид призначається на необроблені поверхні виливки, що не сполучаються по контуру з іншими деталями, за рахунок часткового збільшення (знак «+») і зменшення (знак «-») розмірів виливка  $N_0$  на рисунку 2.3 б.

Третій вид призначається на необроблювані поверхні виливки, що сполучаються по контуру з іншими деталями, за рахунок зменшення розмірів деталі на рисунку 2.3 в та її маси.

Величина ливарного ухилу залежить від висоти, ( $h_1$ ,  $h_2$ ,  $H$ ) формоутворюючої поверхні на рисунку 2.3 г: чим менше висота (наприклад,  $h_1$ ), тим більше ухил (кут  $\alpha_1$ ). Для сирого формування це пов'язано з тим, що поверхневі шари форми більше піддаються підриву ніж глибокі.

Ливарні ухили на кресленнях задаються трьома способами, що зображені на рисунку 2.4.

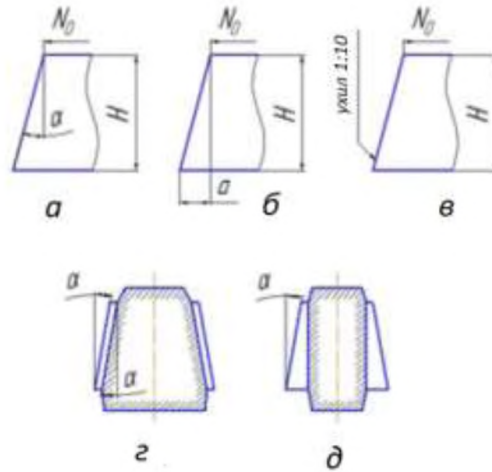


Рис.2.4. Способи позначення на кресленнях ливарних ухилів.

Розглянемо способи позначення на кресленнях ливарних ухилів: 1) найбільш поширений — позначення ливарного ухилу його кутом у градусах чи абсолютною величиною розміру ухилу  $\alpha$ , мм, безпосередньо навпроти зображень на рисунку 2.4 а та б; 2) найменш поширений – відношенням абсолютної величини розміру до висоті формоутворюючої поверхні, шляхом наведення стрілочки в зазначене місце креслення, на рисунку 2.4 в; 3) взаємозв'язок ливарних ухилів форми та стрижня, коли для стрижня необхідний ливарний ухил на рисунку 2.4 г; коли у стрижня немає ливарного ухилу на рисунку 2.4 д.

На кресленні виливки в ТУ ливарні ухили вказуються обов'язковим рядком, наприклад типу: «Незазначені ливарні ухили – не більше  $3^\circ$ », при цьому намагаються обрати найбільш поширені, в даному випадку ухили  $3^\circ$  зустрічаються на кресленні не рідше інших.

Правильно вибрані тип та величина ухилу забезпечують найбільш раціональні значення товщини стінки виливки та її маси. На величину ливарного ухилу впливають такі фактори:

- матеріал та чистота поверхні моделі (стрижневого ящика);
- вид поверхні: внутрішня або зовнішня;
- наявність антифрикційних мастил;



– технологічні властивості формувальних сумішей.

Визначимося із ливарними ухилами для заданого вилівка. При виготовленні вилівоків у металевих формах — кокілях мабуть теж повинні бути ухили для забезпечення (полегшення) вилучення вилівоків, але вони відсутні за ГОСТ 3212-92. Отож приймаємо за ГОСТ 3212-92 ухили для моделей при литті по моделях, що виплавляються, які по суті є вилівками в кокілях, це значення із спеціальної таблиці та лінійні розміри моделі (не деталі) з таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Формувальні ухили.

Поверхня	Висота моделі, мм	Формувальні ухили	
		Градусна міра, <sup>0</sup> та '	мм
Зовнішня	h66,6	10'	0,26
Зовнішня	h21,6	15'	0,10
Зовнішня	h112,1	10'	0,29
Зовнішня	h18,1	15'	0,10
Зовнішня	h41,1	15'	0,18

Щоб одержати на відливках поступальні переходи від однієї поверхні до іншої, передбачають галтелі (радіуси), які підвищують якість відлівоків. Радіуси R галтелей при спряженні стінок відливка залежать від товщини спряжених стінок  $S_1$  та зумовлені величиною  $\frac{S+S_1}{2}$  і визначені експериментально-розрахунковим шляхом. Тобто, все просто складаємо співвідношення  $\frac{S+S_1}{2}$  і для кожного значення своя величина галтелі. Для розрахунку скористаємося схемою на рисунку 2.5 та дані внесемо до таблиці 2.6 (площа круга  $\pi \cdot r^2$ ).

Галтелі.

$\frac{S+S_1}{2} = \frac{3,14 \cdot (3,6^2 + 4,1^2)}{2} \approx 46$	$R_1 = 25 \text{ мм}$
$\frac{S+S_1}{2} = \frac{3,14 \cdot (4,1^2 + 4,6^2)}{2} \approx 59$	$R_2 = 25 \text{ мм}$
$\frac{S+S_1}{2} = \frac{3,14 \cdot (4,6^2 + 5,1^2)}{2} = 74$	$R_3 = 40 \text{ мм}$
$\frac{S+S_1}{2} = \frac{3,14 \cdot (5,1^2 + 4,4^2)}{2} = 71$	$R_4 = 40 \text{ мм}$

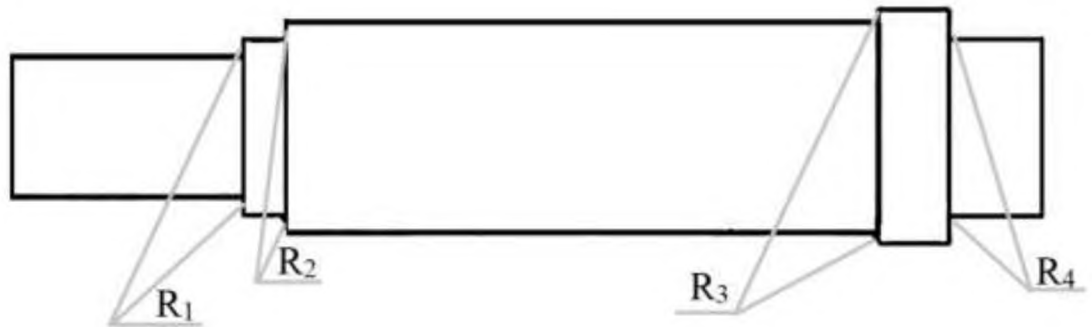


Рис. 2.5. Схема визначення галтелі.

## 2.6 Попередня обробка заготовок

Попередня обробка заготовок полягає в доданні заготівлі такого виду і стану, при яких можлива обробка їх на металорізальних верстатах.

Попередня обробка виливків полягає у видаленні літників і прибутків, очищення виливків і термічній обробці. Для виливка деталі черв'ячного вала вельми ефективна очистка струменем води, в яку додані крупнозернистий абразив і кальцинована сода. Для усунення в відливання поверхневих нерівностей можна використати шліфувально-обдирні верстати, що знімають за один прохід припуск в кілька міліметрів, а також шліфувальні

круги з гнучким валом і пневматичні зубила. Виливки з чавуну, сталі і сплавів кольорових металів піддають термічній обробці з метою зняття внутрішніх напружень і поліпшення оброблюваності в механічних цехах.

Приймаємо за номер операції 000 - виготовлення заготовки.

Маршрут нашої обробки складається із чорнової, напівчистої та чистої обробки, то[21, с.6]:

- 47% припуску відводиться на чорнову обробку;
- 30% – на напівчистову;
- 23% – на чистову.

Припуски і допуски для механічної обробки склали , див. рис.2.2 , склали для низу (I і II ступінь вала) — 2,6 мм , для боку (III і IV ступінь вала) — 3,1 мм, для верху (V ступінь вала) — 3,1 мм та 3,3 мм. Розрахуємо й внесемо до таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

Ширина механічної обробки на сторону (не більше).

Ступінь вала	Вид обробки	У відсотках	У міліметрах
I та II	Чорнова	45%	1,17
	Напівчистова	30%	0,78
	Чистова	25%	0,65
III і IV	Чорнова	45%	1,395
	Напівчистова	30%	0,93
	Чистова	25%	0,775
V	Чорнова	45%	1,395, (1,485)
	Напівчистова	30%	0,93,(0,99)
	Чистова	25%	0,775,(0,825)

Зміст операцій попередньої обробки заготовок технологічного процесу механічної обробки деталі «черв'ячний вал» занесене до таблиці 2.8.

Початок операцій технологічного процесу.

№операції	Найменування операції	Зміст операції	Обладнання
005	Очистка	Ефективна очистка струменем води, в яку додані крупнозернистий абразив і кальцинована сода	Спеціальний насос, шланги.
010	Різання	Відрізання літників і прибутків	Фрезерно-центрувальний верстат МР-71М
015	Термічна обробка	Термічна обробка з метою зняття внутрішніх поверхневих напружень і поліпшення оброблюваності на верстатах	Спеціальна піч
020	Фрезерування	Фрезерування торців і зацентрування з двох боків.	Фрезерно-центрувальний верстат МР-71М

### **2.7 Обробка шпонкових канавок для черв'ячного вала.**

Зміст операцій технологічного процесу механічної обробки шпонкових канавок для деталі «черв'ячний вал» занесене до таблиці 2.9.

## Етап обробки шпонкових канавок.

№операції	Найменування операції	Зміст операції	Обладнання
025	Токарно-револьверна	Чорнове нарізання: передньої канавки (4 на рис.1.1) та задньої (10 на рис.1.1)	Фрезерно-центрувальний верстат МР-71М
035	Термічна обробка (високий відпуск)	Нагрівання до температури 500°-700° С, витримування та повільне охолодження на повітрі.	Спеціальна піч

**2.8 Нарізання різьби на валу.**

Зміст операцій технологічного процесу нарізання різьби для деталі «черв'ячний вал» занесене до таблиці 2.10.

## Етап нарізання різьби.

№операції	Найменування операції	Зміст операції	Обладнання
030	Токарно-револьверна	Чорнове нарізання	Фрезерно-центрувальний верстат МР-71М

035	Термічна обробка (високий відпуск)	Нагрівання до температури 500°-700° С, витримання та повільне охолодження на повітрі.	Спеціальна піч
040	Токарно-револьверна	Чистове нарізання	Фрезерно-центрувальний верстат МР-71М
045	Шліфування	Напівчистове шліфування нарізаної різьби	Круглошліфувальний верстат ЗБ151П
065	Термічна обробка (старіння).	Загартування сталі	Спеціальна піч
070	Шліфування	Чистове шліфування нарізаної різьби	Круглошліфувальний верстат ЗБ151П

### 2.9 Шліфування шийок та торців вала.

Зміст операцій технологічного процесу шліфування шийок та торців вала занесене до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11

#### Шліфування шийок та торців вала.

№операції	Найменування операції	Зміст операції	Обладнання
050	Шліфування шийок	Напівчистове шліфування шийок	Круглошліфувальний верстат ЗБ151П
055	Шліфування торців	Напівчистове шліфування торців	Круглошліфувальний верстат ЗБ151П



060	Шліфування бічної поверхні	Напівчистове шліфування цапф, буртика	Круглошліфувальний верстата 3Б151П
065	Термічна обробка (старіння).	Загартування сталі	Спеціальна піч
075	Шліфування шийок	Чистове шліфування шийок	Круглошліфувальний верстата 3Б151П
080	Шліфування торців	Чистове шліфування торців	Круглошліфувальний верстата 3Б151П
085	Шліфування бічної поверхні	Чистове шліфування цапф, буртика	Круглошліфувальний верстата 3Б151П

### **2.10. Остаточна обробка черв'ячного вала.**

Остаточна обробка черв'ячного вала полягає в миті, а також нанесені на поверхні вала певних візерунків, які несуть інформаційний характер і можуть бути для декору. Вони можуть бути лінійчастими (прямими або навскісними), ялинковими, сітчастими, крапковими та ін. Накатують рифлі на поверхні загартованими роликами з відповідними виступами.

Накатні ролики періодично прочищають сталеву щіткою, видаляючи з канавок металевий пил.

Для того щоб нанесення на поверхню деталі декоративний візерунок використовують метод вібронакаткування кулькою. Кулька яка закріплена в державці спеціального пристрою, який вібрує. Амплітуда вібрації має становити 0,05–0,1мм, а частота – 500...1000 хв<sup>-1</sup>. Привід для вібрації може бути різним як механічним так і пневматичним. Поєднання рухів обертання та поздовжньої подачі і одночасної вібрації ролика створює на поверхні візерунок . [10, с. 184].

Зміст операцій технологічного процесу остаточної обробки черв'ячного вала занесене до таблиці 2.12.

Таблиця 2.12

Остаточна обробка черв'ячного вала.

№операції	Найменування операції	Зміст операції	Обладнання
090	Попереднє миття	Миття	Спеціальний посуд
095	Накатування рифлів	Накатують рифлі на поверхні загартованими роликками з відповідними виступами	Спеціальні ролики
100	Остаточне миття	Миття	Спеціальний посуд
105	Контроль	Деталі перевіряються контролером відділу ВТК	Спеціальні пристрої

### 2.11 Контроль якості виготовлення черв'ячного вала

Контроль повинен здійснювати сам робітник-оператор (наприклад, токар) на робочому місці. Якщо це індивідуальне виготовлення деталі контроль виконується на кожному переході операції. При серійному виробництві деталей контроль здійснюється періодично. Виготовлені деталі перевіряються контролером. Продукція вважається готовою тільки після контрольної перевірки.[10, с. 98].

Найпростіший інструмент для вимірювання — металева лінійка, більш складніші — штангенциркуль звичайний, з індикатором годинникового типу чи електронним індикатором; штангенглибиномір; мікрометр.

На виробництві для необхідності прискорення технологічного процесу і забезпечення дуже високої точності користуються граничними калібрами-скобами.

Отже для спрощення й мінімізування витрат на виготовлення черв'ячного вала приймаємо як обладнання для контролю якості : 1) калібри-скоби; 2) штангенциркуль з індикатором електронного типу; 3) мікрометр.

## РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ

### 3.1 Технічні вимоги до верстатних пристроїв

При створенні верстатних пристроїв вони повинні відповідати технічним вимогам:

-мати як підвищену розмірну точність, похибки базування так і закріплення як деталі, так і самого пристрою на верстаті повинні бути мінімальні;

-мати підвищену точність для можливості повного використання потужності верстата;

-забезпечувати повне і точне базування деталі;

-забезпечувати технологічні переходи механічної обробки, для можливості підводу різального інструменту до усіх поверхонь без перебазування деталі;

-забезпечити мінімальний час на установку, закріплення та зняття деталі;

-забезпечувати зміну заготовки;

-забезпечувати мінімальні витрати часу на установку;

-забезпечувати можливість на переналагодження для обробки деталі іншого типорозміру;

-відповідати умовам безпечної експлуатації.

Загальні вимоги безпеки до роботи верстатних пристроїв:

– зовнішні елементи конструкції ВП не повинні мати гострих країв, виступаючих кутів і т. ін. Радіуси закруглень і фаски повинні бути не менше 1мм;

– конструктивні елементи ВП, які виходять за габарити стола, не повинні бути завадою для роботи верстата або його керуванню;

– засоби з'єднання ВП з верстатом і змінними наладками повинні виключати можливість ослаблення кріплення під час експлуатації;

- конструкція ВП повинна передбачати вільне або примусове ви-ведення мас-тильно-охолоджувальної рідини і стружки;
- в разі імовірності виникнення шкідливих аерозолів або газів в зоні меха-нічної обробки, необхідно оснастити робоче місце системою примусового виведення і нейтралізації шкідливих речовин згідно з ДЕСТ 12.1.005-76;
- якщо заготовка ставиться в пристрій за допомогою наван-та-жувального механізму ( при масі більше 12 кг), то компоновка конструктивних елементів при-строю повинна дозволяти вільне встановлення захватних засобів навантажувального механізму;
- верстатні пристрої масою більше 16 кг повинні мати конструктивні елементи, що забезпечують використання наванта-жу-вальних механізмів при установці пристрою на стіл верстата;
- конструкція верстатного пристрою повинна передбачати надійне змащування.

### 3.2 Розрахунок точності параметрів пристрою

Умови, за яких верстатний пристрій забезпечує необхідну точність обробки, є виконання нерівності:

$$\varepsilon \leq [\varepsilon] \quad (3.2)$$

де  $[\varepsilon]$  - допустима величина похибки пристрою, мкм;  $\varepsilon$  - дійсна величина похибки самого пристрою, мкм.

Величина похибки пристрою залежить від величини допуску на геометричний параметр. Він визначається з урахуванням похибки механічної обробки по формулі:

$$[\varepsilon] = \sqrt{(T - \Delta_{\Sigma \phi})^2 - \Delta_n^2 - \Delta_y^2 - \Delta_u^2 - \Delta_m^2} \quad (3.3)$$

де  $T$  - допуск на геометричний параметр;  $\Delta_n$  - похибка настройки технологічної системи;  $\Delta_y$ - похибка із-за пружних відхилень;  $\Delta_u$  - похибка із-за зношування інструменту;  $\Delta_m$ - похибка із-за теплових деформацій;  $\Delta_{\Sigma\phi}$  – сумарна похибка форми.

Значення складових цієї формули визначити досить складно бо на них значною мірою впливають випадкові фактори. Тому використовують іншу формулу:

$$[\varepsilon] = T - k_y \cdot \omega \quad (3.4)$$

де  $\omega$  – середньо економічна точність виду механічної обробки;  $k_y$  – коефіцієнт запасу (0,6 – 0,8).

Дійсна похибка пристрою вміщує такі складові і розраховується так:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_n^2} \quad (3.5)$$

де  $\varepsilon_6$  – похибка базування;  $\varepsilon_3$  – похибка закріплення;  $\varepsilon_n$  – похибка положення.

При механічній обробці (фрезеруванні, різанні) деталі, див. рис. 2.1, базування буде по торцю та зовнішній циліндричній поверхні вала. Установочний елемент –призма опорна, як показано на рисунку 3.1.

Класифікація баз:

Точки 4,5 – установочна база;

Точка 1,2,3 – направляюча база.

Повне базування досягається в момент докладання сили затиску.

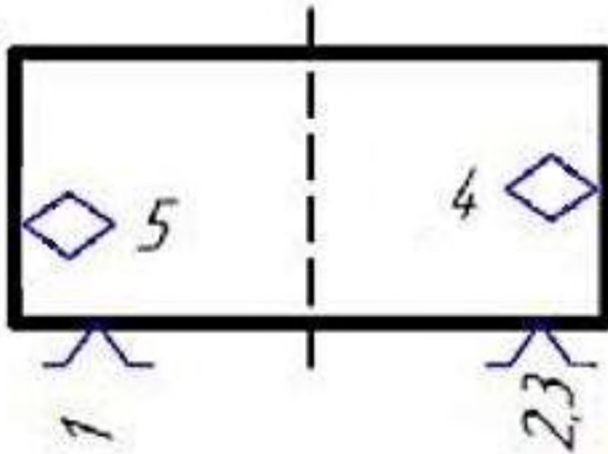


Рис. 3.1.Базування при обробці торців вала.

Розраховуємо похибку базування:  $\varepsilon_6 = \Delta d$ .

Діаметр  $77,8_{-0,05} \Rightarrow \varepsilon_6 = 0,05 \text{ мм} = 50 \text{ мкм}$

Похибка закріплення для установки в пневматичному патроні при розмірі заготовки  $\varnothing 77,8 \text{ мм}$  (установча поверхня — відливка в постійну форму) становитиме  $\varepsilon_3 = 300 \text{ мкм}$ .

Похибка положення (пристрою) приймаємо  $\varepsilon_n = 50 \text{ мкм}$ .

Розраховуємо похибку установки:

$$\varepsilon = \sqrt{50^2 + 300^2 + 50^2} \approx 308 \text{ (мкм)}$$

Перевірку точності базування відносно точності розміру, якого слід дотримуватися при механічній обробці проводимо за нерівністю формули 3.2:

$$308 \leq [\varepsilon]$$

Якщо допуск на розмір взяти  $\delta_p = 0,4 \text{ мм} = 400 \text{ мкм}$ , то умова виконується:

$$308 \leq 400$$

І обрану схему базування слід вважати раціональною.

Визначаємо точність затискного пристрою:



$$\sigma_{\Pi} = \delta_p - (K_1 \cdot \varepsilon_6 + \varepsilon_3 - K_2 \cdot \omega) \quad (3.6)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт зменшення похибки базування - 0,6 ... 0,8;  $K_2$  – коефіцієнт зменшення економічної точності - 0,6 ... 1,0;  $\omega$  – середньо економічна точність обробки.

Економічна точність обробки зовнішніх циліндричних поверхонь деталей при чистовій обробці –  $\omega = 170$  мкм, та прийнявши середні значення  $K_1$  і  $K_2$  маємо:

$$\sigma_{\Pi} = 400 - (0,7 \cdot 50 + 300 - 0,8 \cdot 170) = 201 \text{ (мкм)}$$

Отже, точність пристрою в межах 0,2 мм

### 3.3 Оцінки економічної ефективності для верстатних пристроїв.

Економічне обґрунтування проводиться на оцінці собівартості пристрої та операцій де даний пристрій використовується. Економічний ефект буде за рахунок зниження часу на обробку а також зниження заробітної плати та вартості самого пристрою.

Розрахунок собівартості операції з використанням пристрою :

$$C = 3 \cdot \left(1 + \frac{H}{100}\right) + \frac{S}{\Pi} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{q}{100}\right) \quad (3.5)$$

Таблиця параметрів.

П – річна програма випуску	2000 шт
Н – накладні цехові витрати	400%
q – витрати, пов'язані з експлуатацією пристрою	5%
A – термін амортизації пристрою	1-2 р
t це штучно - калькуляційний час на операцію	10 хв

### Розрахунок.

З – заробітна плата робочого на даній операції;

$$З = t \cdot T, \text{ грн.};$$

T це тарифна ставка робочого, згідно розряду;

$$З = 0,0187 \text{ грн.};$$

S –це вартість виготовлення пристрою;

$$S = \text{const} \times N, \text{ грн.}; S = 30 \times 60 = 1800 \text{ грн.};$$

N це кількість деталей пристрою;

Const це постійна величина, для пристроїв середньої складності.

$$C = 3 \cdot \left(1 + \frac{400}{100}\right) + \frac{1800}{2000} \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{5}{100}\right) \approx 15,5$$

## ВИСНОВКИ

У даній роботі розроблено технологічний процес виробництва черв'ячного вала, а разом з цим одержання виливка литтям в кокіль та проведенні розрахунки на усадку металу виливка, припуски на механічну обробку, визначені ливарні ухилів. Розглянуто обґрунтування обраного технічного процесу виробництва виливків та вибір операцій для обробки заготовок. Здійснено аналіз призначення та конструкції деталі черв'ячного вала, проведені розрахунки на технологічність деталі, розмірів нарізної частини черв'яка тощо.

Було встановлено, що для виготовлення виливків у кокілях відсутні ухили за ГОСТ 3212-92, також відсутні стандарти й для більш ранніх ГОСТів, як от ГОСТ 3608-80. Цю задачу (розрахунки ухилів моделі) вдалося вирішити розглядаючи лиття виливків у металевих формах — кокілях як литті по моделях, що виплавляються, хоча ці методи маю незначні відмінності.

Було встановлено, що для виготовлення виливків у кокілях для порожнин із незначними лінійними розмірами може статися так, що ці порожнини чи отвори литтям не виготовляють, особливо по литті для сталі (призначають напуски). Тому слід спочатку перевіряти на можливість лиття, а потім розробляти стрижні для порожнин чи отворів.

Було встановлено, що для вибору методу виготовлення деталей вал не менш важливою умовою є кількість ступенів вала та різниця діаметрів сусідніх ступенів. Значно легше виготовляти вали із меншою кількістю ступенів та меншою різниця діаметрів сусідніх ступенів.

В результаті ознайомлення з виконанням роботи можна дізналися про:

- 1) огляд сучасних технологій виробництва черв'ячного вала;
- 2) аналіз призначення та конструкції деталі черв'ячного вала;
- 3) розробку технологічного процесу виготовлення черв'ячного вала;
- 4) вибір технологічного обладнання;

5) експлуатаційні умови роботи верстатного, роботехнічного обладнання;

6) комплект технологічної документації, яка необхідна для виготовлення деталі;

7) вибір вилівка для заготовок;

8) розрахунок усадки металу при литті;

9) про ливарні ухили;

І багато іншої інформації необхідної для розробки технологічного процесу виробництва деталі.

Для реалізації представлення матеріалів роботи було виконано наступні завдання:

1) закріплення знань, отримані під час занять;

2) формування умінь знаходити потрібну інформацію серед навчально-методичної та наукової літератури;

3) аналіз знайденої інформації, визначення важливого й суттєвого;

4) виникнення уміння оцінювати конструктивні рішення при написанні роботи;

5) визначення лінійних параметрів деталі для подальших розрахункових дій та аналізу;

6) становлення самостійності, при самостійним вирішення прикладних задач пов'язаних як із розрахунками, так і з аналізом існуючих правил (принципів);

7) надбання теоретичних навичок самостійної розробки процесу лиття.

А в цілому вирішення даних завдань вимагало вивчення та узагальнення знань про фізичні, хімічні властивості різноманітних речовин, бо безпосередньо вони визначають процеси лиття та обробки заготовок.

При виконанні даної роботи набув уміння та навички проектування та розрахунку технологічного процесу виробництва деталі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Марченко С.В., Будник А. Ф., Юскаєв В. Б. Основи виробництва матеріалів та формоутворення об'єктів технологій : навч. посіб. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 232 с. – Режим доступу: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/35554/3/materialoznavstvo.pdf;jsessionid=9E9F9B439FF8D427B13BFD3FCF5FAA3F>
2. Клименко Л.П., Соловійов С.М., Норд Г.Л. Системи технологій: Навчальний посібник. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2007. – 600 с. – Режим доступу: <https://lib.chmnu.edu.ua/index.php?m=2&b=247>
3. Дегтярьов І. М., Нешта А. О., Колесник В. О. Прогресивні технології виготовлення деталей насосного обладнання : навчальний посібник. – Суми : Сумський державний університет, 2021. 256 с. – Режим доступу: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/83766/1/Degtyar%27ov.pdf;jsessionid=E766BD208C42BE6FB7D40D31F19A5EAC>
4. Дорохов М.Ю. Конспект лекцій з дисципліни «Теоретичні основи створення прогресивних конструкцій машин» . – Краматорськ: Донбаська державна машинобудівна академія, 2019 р. – 73 с. – Режим доступу: <http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/ptm/2020.pdf>
5. Доля В.М. Технологія обробки типових деталей. Конспект лекцій. – ХАРКІВ: “Харківський політехнічний інститут”, 2003. – 66 с. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/50575487.pdf>
6. Пасько М.М., Показаньєва С.Л. Скорочений конспект лекцій. «Технологія машинобудування». Машинобудівний коледж ДДМА, 2018. – 289 с. – Режим доступу: [https://pitbddma.org.ua/wp-content/uploads/2018/02/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97\\_%D1%82%D0%B5%D](https://pitbddma.org.ua/wp-content/uploads/2018/02/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97_%D1%82%D0%B5%D)

[1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3.%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD..pdf](#)

7. Технологія механічної обробки на металообробних верстатах. Дистанційне навчання КФКСумДУ. – Режим доступу: <https://dl.kpt.sumdu.edu.ua/mod/book/view.php?id=38279>

8. Ліщенко Н.В. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологічні основи машинобудування» для студентів напряму підготовки 6.050502 денної та заочної форм навчання / Уклад. Н.В. Ліщенко. – Одеса: ОНАХТ, 2013. — 48 с.

9. Севостьянов І. В. Експлуатація верстатних комплексів. Навчальний посібник. Ч. I. Вінниця: ВНТУ, 2005. – 125 с.

10. Вайнтрауб М. А., Засельський В. Й., Пополов Д. В. Технологія верстатних робіт: навч. пос. для проф.-техн. навч. закладів / наук. ред. М. А. Вайнтрауба. – К. : 2015. – 199 с. – Режим доступу: <https://lib.iitta.gov.ua/11066/1/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F%20%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%96%D1%82.pdf>

11. HAAS SL 20 Токарний верстат з ЧПУ- millturn.com.ua. Реклама. URL: <https://millturn.com.ua/haas-sl-20>

12. Верстат круглошліфувальний в Україні - Prom.ua. Реклама. URL: [https://prom.ua/ua/p1155344675-krugloshlifovalnyj-standok-cormak.html?utm\\_source=google\\_product&utm\\_medium=cpc&utm\\_content=pla&utm\\_campaign=KT\\_cpc\\_1&gclid=Cj0KCQjwj\\_ajBhCqARIsAA37s0x7gEaDV2UU0Fat6NMM3v1DFqnKSTOWKboTpMQ0wsTQZaetALFH32YaAvCrEALw\\_wcB](https://prom.ua/ua/p1155344675-krugloshlifovalnyj-standok-cormak.html?utm_source=google_product&utm_medium=cpc&utm_content=pla&utm_campaign=KT_cpc_1&gclid=Cj0KCQjwj_ajBhCqARIsAA37s0x7gEaDV2UU0Fat6NMM3v1DFqnKSTOWKboTpMQ0wsTQZaetALFH32YaAvCrEALw_wcB)

13. Кропівний В.М., Кропівна А.В., Молокост Л.А., Технічна документація: методичні вказівки до вивчення курсу для студентів спеціальностей 7.02010501, 8.02010501 “Документознавство та інформаційна діяльність”. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – 52 с.



14. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. [№ 225 чинний від 08 грудня 2003 р]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 55 с.

15. Методичні вказівки розрахунок закритих черв'ячних передач. URL:

[https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/369322/mod\\_resource/content/1/%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%B0%D1%85%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%BA%20%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B8%D1%85%20%D1%87%D0%B5%D1%80%D0%B2%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D1%87.pdf](https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/369322/mod_resource/content/1/%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%B0%D1%85%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%BA%20%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B8%D1%85%20%D1%87%D0%B5%D1%80%D0%B2%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D1%87.pdf)(дата звернення: 07.06.2023).

16. Хричиков В.Е., Меняйло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 88с.

17. Ключников Ю. В. Методичні вказівки з лабораторних і практичних робіт до вивчення дисципліни: "Технологія конструкційних матеріалів. Ливарне виробництво."/Ю. В.Ключников, П. В. Кондрашев, В. В. Джемелінський, О. Т. Сердітов, А. М. Лутай, О. О. Гончарук. — К: НТУУ"КПІ ім. І. Сікорського", 2017. – 56 с. Електронне видання – Режим доступу: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/20835/1/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96\\_%D0%B2%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D1%96%D0%B2%D0%BA%D0%B8\\_%D0%A2%D0%9A%D0%9C\\_%D0%9B%D0%B8%D1%82%D0%B2%D0%BE.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/20835/1/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96_%D0%B2%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D1%96%D0%B2%D0%BA%D0%B8_%D0%A2%D0%9A%D0%9C_%D0%9B%D0%B8%D1%82%D0%B2%D0%BE.pdf)

18. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П. Особливості визначення похибки установлення як складової припуску для механічної обробки. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2020. № 2. С. 14–20.

19. Національний стандарт України. Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення. – URL: [http://ptima.kiev.ua/images/stories/Standart/persha\\_redaktsiya\\_dstu\\_vilivki\\_z\\_met%20ost-2.pdf](http://ptima.kiev.ua/images/stories/Standart/persha_redaktsiya_dstu_vilivki_z_met%20ost-2.pdf)



20. Афтанділянц Є.Г. Технологічний процес виготовлення ливарних форм і виливків : навчальне видання. / Є.Г. Афтанділянц, О.В. Зазимко, Г.М. Похиленко. – Київ : НУБіП, 2020. – 60 с. – Режим доступу: [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/navchal\\_na\\_praktika\\_tkm\\_litvo.pdf](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/navchal_na_praktika_tkm_litvo.pdf)
21. БулигаЮ. В., Веселовська Н. Р., Міськов В. П. Теорія різання. Розрахунок режимів різання : практикум. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 67 с.
22. ДСанПіН. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [Затвр. Наказ МОЗ України від 08.04.2014 № 248]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 94 с.
23. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 08.06.2023).